VII EnIDI

Septiembre de 2013
Los Reyunos

Encuentro de Investigadores y Docentes de Ingeniería

UNIVERSIDAD MAZA

UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

FACULTAD DE INGENIERÍA

FACULTAD DE CIENCIAS APLICADAS A LA INDUSTRIA

UM
UNIVERSIDAD DE MENDOZA

UTN
Universidad Tecnológica Nacional

UTN
Facultad Regional Mendoza

UTN
Facultad Regional San Rafael

Desarrollos e Investigaciones Científico-Tecnológicas en Ingenierías

2013

Desarrollos e Investigaciones Científico-Tecnológicas en Ingenierías

Copyright @ Universidad Tecnológica Nacional, Universidad Nacional de Cuyo, Universidad Maza y Universidad de Mendoza 2013. Todos los derechos de este volumen están reservados. Sólo está permitida la reproducción parcial o total con fines Académicos siempre que se mencione el origen.

Primera edición: Septiembre de 2013

Diseño de Tapa: Lic. M. Jimena Lloret

ISBN: 978-950-42-0152-6

Editores

Ing. Juan E. Núñez Mc Leod
Dr. Ing. Alejandro P. Arena

Impreso en la Argentina - Printed in Argentina
Queda hecho el depósito que previene la ley 11.723

Responsabilidades: El contenido y opiniones vertidas en los trabajos incluidos en este libro son responsabilidad de sus respectivos autores.

Selección de trabajos presentados en el
Encuentro de Investigadores y
Docentes de Ingeniería

EnlDI 2013, Los Reyunos – San Rafael. Mendoza, Argentina
12 y 13 de Septiembre de 2013

Desarrollos e Investigaciones Científico-Tecnológicas en Ingenierías

Universidad Tecnológica Nacional

UNCUYO UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

Universidad Juan Agustín Maza

Universidad de Mendoza

RECTORES

Universidad Tecnológica Nacional Ing. Héctor C. Brotto

Universidad Nacional de Cuyo Ing. Agr. Arturo R. Somoza

Universidad Juan Agustín Maza Méd. Daniel Miranda

Universidad de Mendoza Dr. Ing. Salvador B. Navarría

DECANOS

Facultad Regional Mendoza – UTN Ing. Eduardo A. Balasch

Facultad Regional San Rafael – UTN Ing. Horacio P. Pessano

Facultad de Ingeniería – UN Cuyo Ing. Marcelo Estrella Orrego

Facultad de Ciencias Apl. a la Ind. – UN Cuyo Mgter. Ing. Roberto Battistón

Facultad de Ingeniería - UMaza Ing. Vicente G. Cremades

Facultad de Ingeniería - UMendoza Mgter. Ing. Alfredo Iglesias

ORGANIZACIÓN GENERAL

Secretario de Ciencia, Tecnología y Posgrado Dr. Ing. Alejandro P. Arena
Facultad Regional Mendoza - UTN

Secretario de Ciencia y Técnica Dr. Ing. Raymundo Forradellas
Facultad de Ingeniería – UN Cuyo

Secretario de Ciencia y Técnica Ing. Felipe Genovese
Facultad Regional San Rafael - UTN

Secretaria de Ciencia y Técnica Dra. Ing. Alicia Ordóñez
Fac. de Cs. Aplicadas a la Industria – UN Cuyo

COMITÉ ORGANIZADOR

Dr. Ing. Alejandro P. Arena
Ing. Felipe Genovese
Ing. Juan E. Núñez Mc Leod
Dra. Ing. Alicia Ordoñez
Lic. Jimena Lloret
Dr. Ing. Raymundo Forradellas

COMITÉ CIENTÍFICO

Directores de Área

Arena, Alejandro Pablo
Frau, Carlos Daniel
Bianchini, Germán
Ordoñez, Alicia
Narvaez, Ana María
Allende, David
Núñez Mc Leod, Juan Esteban

Revisores

Cremades, Pablo
Piastrellini, Roxana
Fernando Castro, Fernando
Ruggeri, María Florencia
Garro, Karina
Guisasola, Luis Enrique
Bay, Cristian Otto
Rivamar, Alfredo Gabriel
Núñez Mc Leod, Juan Esteban
Monetti, Julio
Cabeza, María Silvina
Totter, Eduardo
Césari, Matilde Inés
Di Lello, Federico Antonio
Bianchini, Germán
Airabella, Andrés Miguel
León, Oscar A.
Maldonado, Mariela Beatriz
Martín, Pablo Enrique
Chernikoff, Raúl Ernesto
Flores, Cecilia
Castro, Daniel Alfredo
Sanchez Varretti, Fabricio Orlando
Maldonado, Noemí Graciela
Gardey Merino, María Celeste
Hossian, Alejandro Armando
Balanza, María Esther
Martín, María Carolina
Roggiero, Augusto
Najar, Laura Elizabeth
Bassotti, Ricardo Daniel
Palazzo, Gustavo Luis
Merín, María Gabriela
Allende, David Gabriel
Santillán, María José
Dra. María Laura Gómez, María Laura
Párraga, Cristina Antonia
Azor Montoya, Jesús Rubén
Favier, Jorge Luis
Iglesias, Alfredo Antonio
Tornello, Miguel
Quiroga, Daniel
Torrisi, Gonzalo
Narvaez, Ana María
Arena, Alejandro Pablo

PREFACIO

Una vez más nos encontramos en este espacio de discusión sobre los "Desarrollos e Investigaciones Científico- Tecnológicas en Ingenierías", donde docentes, investigadores, tesistas y estudiantes de ingeniería nos reunimos para presentar nuestras actividades de Investigación en la materia.

Es la segunda Edición en la que participan las instituciones universitarias tanto estatales como privadas de la Provincia de Mendoza, incluyendo las Facultades Regional Mendoza y San Rafael de la Universidad Tecnológica Nacional, de Ingeniería y de Ciencias Aplicadas a la Industria de la Universidad Nacional de Cuyo, y de Ingeniería de la Universidad de Mendoza y de la Universidad Juan Agustín Maza.

Las áreas en que se estructuraron las distintas áreas de la Ingeniería en el VII EnIDI son Química y Biotecnología, Civil y Materiales, Energía, Ambiente y Petróleo, Eléctrica, Mecánica y Mecatrónica, TIC's y Electrónica, Ingeniería Industrial, Nuevas Tecnologías y Enseñanza. Las presentaciones incluyen artículos completos que presentan los resultados de los proyectos de investigación, así como comunicaciones que presentan sintéticamente Proyectos de I+D y proyectos de Cátedra que se encuentran en desarrollo. Para presentar las comunicaciones este año hay dos modalidades: comunicaciones orales breves, o en sesión poster.

Este año destaca la nutrida Sesión para Doctorandos, con una importante cantidad de presentaciones por parte de nuestros estudiantes del máximo nivel académico. Se reúnen aquellos que están recién comenzando su actividad, con las usuales incertidumbres sobre el programa de trabajo, los métodos a seguir, los equipos necesarios, con los que están próximos a finalizar, concentrados en escribir, editar y defender sus trabajos. Promete ser una sesión muy interesante.

El Centro Tecnológico de Desarrollo Regional Los Reyunos es una vez más la sede de ENIDI, algo que podemos ya considerar un clásico. El lugar nos brinda los espacios que precisamos para todas las actividades académicas, en un entorno espectacular que ofrece excelentes oportunidades para la distensión y la camaradería.

Auguramos a todos un provechoso EnIDI

.

Alejandro Pablo Arena

Septiembre de 2013

ÁREA VII EnIDI

CIVIL
Y
MATERIALES

TRABAJOS COMPLETOS

Estudio numérico de los encabezados de neopreno. Comportamiento de una prensa de ensayo de probetas de hormigón.

Héctor RaúlZaradnik Miras[a]
rzaradnik@fing.uncu.edu.ar
[a]FacultaddeIngeniería,UniversidadNacionaldeCuyo.

Resumen. Uno de los métodos de control de calidad del hormigón es el ensayo de probetas cilíndricas en base a las Normas IRAM 1546. Históricamente se ha empleado un encabezado nivelador en forma de pasta que está regulado por la norma IRAM 1553. En Argentina, desde la implementación de la Norma IRAM 1709, se acepta el empleo de un encabezado de neopreno de dureza Shore A entre 50 y 70.Muchas son las ventajas de este procedimiento, pero posee varias desventajas debidas a la violenta liberación de energía de deformación almacenada en las placas. En este trabajo se implementa un método numérico para determinar la relación no lineal entre tensión y deformación del neopreno en compresión y su resultado se aplica al problema del comportamiento dinámico de un equipo de ensayo y la estimación de los asentamientos por compactación de suelo debido a insuficiencia de la fundación.

Palabras clave: Encabezado de neopreno, comportamiento no lineal, energía de deformación elástica, carga impulsiva.

1 Introducción.

Por medio del ensayo a compresión de probetas cilíndricas [1] se determina una de las característicasmás importantes del hormigón: su resistencia. Pero antes de efectuar el ensayo a compresión es necesario tratar las bases de las probetas de hormigón según lo estipulan las normas, de forma tal que las mismas resulten superficies planas y paralelas entre sí y al mismo tiempo normales al eje longitudinal de la probeta.

El método de encabezado tradicional regulado por la norma IRAM 1553 [2] permite obtener superficies planas y paralelas entre sí mediante una pasta en base a un mortero de azufre, arena silícea o cuarzo y grafito, en proporciones adecuadas, al cual se lo somete a una temperatura de (130±5) ºC, con el fin de fundir el azufre. Con el empleo de un alineador se consiguenencabezar las probetas, las cuales deben estacionarse por lo menos dos (2) horas antes de proceder al ensayo.

Este procedimiento posee diversos problemas, ya que el azufre gaseoso en contacto con la humedad higroscópicaproduce ácido sulfúrico, que es particularmente tóxico y peligroso para el medio ambiente.

Además delas razones anteriores, por la demora de tiempo, desde la década de 1990 se hanestudiado diversosmétodosalternativos que permitiesen el uso deelementos para reemplazar el refrentado[1] tradicional con azufre. Han progresado las técnicas que empleandiscos de neopreno o caucho natural, retenidos en platos de acero y basadas en las normas ASTM C 1231-95 y NTC 3708-95. En Argentina se reguló el refrentadoempleando placas elastoméricas, por medio de la norma IRAM 1709 [3]. Según este procedimiento, la preparación de las bases de las probetas que se ensayarán,casi no existe. Sin embargo, se presentan ciertas limitaciones o requisitos en relación a la aceptación de las probetas (y en menor medida a los testigos)que pueden consultarse en las normas y que caen fuera del análisis del presente trabajo.

Empleando este último procedimiento, muchos de los reportes de ensayo manifiestan varios problemas derivados de la violenta liberación de energía de deformación elástica almacenada en las placas. Los discos de caucho natural o neopreno, al deformarse logran acumular energía potencial que, al finaldel ensayo y debido a la pérdida de resistencia de la probeta de hormigón, producen una falla explosiva y fuera del comportamiento típico o tradicional(Figura 1).Esta es la razón, que obliga a que este ensayo sea verificado por la práctica,para comprobar su validez: por la simple comparación de resistencias a la compresión deprobetas cilíndricas de hormigón de muestras gemelas y ensayadasuna por el método de refrentado tradicional y la otra por el método de refrentado empleando placas de neopreno.

[1] En lo que sigue se usará indistintamente refrentado o encabezado

Figura 1. Roturas de las probetas de hormigóncon refrentado de neopreno

En forma simultánea, los equipos de ensayo deben disponer de una jaula de protección y son muchos los reportes técnicos que señalan daño en los equipos de ensayo [4]. La Figura 2 muestra el asentamiento diferencial de casi 30mm producido en una prensa de ensayos después de cinco (5) años de uso de placas de neopreno.

Figura 2. Asentamiento en prensa de ensayo de compresión: Casi 30mm en 5 años

En este trabajo se pretende aplicar un modelo numérico de comportamiento no lineal con grandes deformaciones [12] a las placas de neopreno, empleadas como encabezado de probetas de hormigón, para estudiar el problema de la liberación de energía elástica acumulada en los ensayos a compresión simple y determinar el comportamiento de un equipo de ensayo.

2 Estudio numérico del encabezado de neopreno

En este apartado se analizan las propiedades básicas de los elastómeros empleados en los encabezados. Se estudian los valores más probables a emplear en los parámetros del modelo numérico que será usado para estimar el nivel de deformación de los discos para un estado de carga prestablecido con el objetivo de estimar la energía de deformación elástica acumulada en los mismos encabezados de neopreno y convertirla en una carga impulsiva que represente el impacto que sufren los equipos de ensayo cuando las probetas de hormigón llegan a la carga de rotura.

2.1. Propiedades básicas del elastómero para encabezado

La mencionada norma IRAM 1709 [3] define las propiedades del elastómero a emplearse como encabezado no adherido por medio de la dureza Shore A, limitándola a que se encuentre comprendida entre 50 y 70.En algunos trabajos se menciona que una norma AASHTO [5] determina los valores para el módulo de deformación transversal del neopreno, tal como se indica en la Tabla 1, ya que es un parámetro empleado en la construcción de puentes, pero no se ha encontrado una tabla similar para los demás parámetros mecánicos.

Tabla 1: Módulo de deformación transversal del neopreno

	Dureza Shore A		
	50	60	70
Módulo de corte (MPa)	0.66 a 0.90	0.90 a 1.38	1.38 a 2.07

En el marco del proyecto de investigación 06/B286 [12] se desarrolló un modelo de comportamiento no lineal geométrico con consideración de plasticidad por medio del criterio de Von Mises para considerar las grandes deformaciones. El modelo ha demostrado la rigidización bajo estados de tracción y un ablandamiento en compresión. Sin embargo, se lo utilizará simulando una compresión por medio de una tracción, debido a la reducida esbeltez (por la forma aplanada) de los discos de neopreno que no pueden fallar por inestabilidad elástica. Para la aplicación, lo primero es estimar el módulo de deformación longitudinal, empleando para ello cualquiera de las expresiones que relacionan la dureza Shore A definida por la norma ASTM D 2240 y el módulo de elasticidad [9 y 10]:

$$A = D + 50 \tag{1}$$

$$D = 100 - \frac{20\left(\sqrt{6113.36 + 781.88\,E} - 78.188\right)}{E} \tag{2}$$

$$E = e^{[0.0235\ (D+50)-0.6403]} \tag{3}$$

Donde:
E: Módulo de elasticidad longitudinal, en MPa
A: Dureza Shore A.
D: Dureza Shore D, determinada por la ASTM D 2240.

2.2. Aplicación demodelos de plasticidad.

A partir del valor del módulo elástico E se desarrollan experimentos numéricos, empleando el modelo de plasticidad de Von Mises(equivalente al modelo de Tresca ya que para el caso de compresión simple coinciden) resumido en la Tabla2 y con los resultados expresados en la Tabla 3.

Los experimentos numéricos se usan paraestimar el valor de la deformación de una placa de neopreno sometida a una compresión uniforme normal a sus caras.Se considera válido adoptar como coeficiente de Poissón del neopreno 0.25, corregir la rigidez elástica del modelo de elementos finitos por no linealidad geométrica [11] y adopta como parámetro de endurecimiento, vale decir, la rigidez tangencial en el momento de la fluencia, constante e igual a 60 MPa.

Considerando que el modelo corresponde a una placa de 500mm de largo, 100 mm de ancho y 10mm de espesor, con los valores de cargas de tracción y desplazamientosde los extremos se calculan: la tensión media y la deformación específica, validando los resultados con investigaciones existentes [5]. Los resultados permiten vincular la tensión y la deformación de placas de elastómero de dureza Shore 60, término medio entre los límites definidos por norma IRAM 1709 (Figura 3).

Tabla 2: Modelos de plasticidad empleados

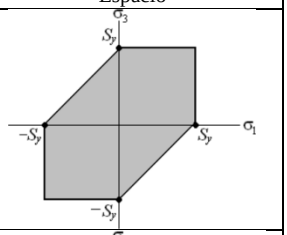
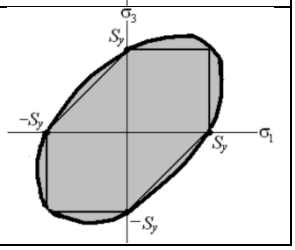
Teoría	Definición y ecuación empleada	Espacio
Tresca	Lafallaseproducirácuandoelesfuerzocortantemáximoabsolutoenlapiezaseaigualomayoralesfuerzocortantemáximoabsolutodeunaprobetasometidaaunensayodetensión en el momento que se produce la fluencia: $s_y = \sigma_3$	
Von Mises	Lafallaseproducirácuandolaenergíadedistorsiónporunidad de volumen debida a los esfuerzos máximos absolutos enel punto crítico sea igual o mayor a la energía de distorsión porunidad de volumen de una probeta en el ensayo de tensión en elmomento de producirse la fluencia: $s_y = \sigma_3$	

Tabla 3: Resumen de resultados de los ensayos numéricos para placas de dureza Shore 60: E=6.99 MPa

Carga normal	Deformación Δe	$\varepsilon = \frac{\Delta e}{e}$; e=500mm	Tensión media		Tensión media incrementada
kgf	mm	mm/mm	kgf/mm2	MPa	MPa
0	0	0.000	0.00	0.00	1.00
50	21	0.042	0.05	0.49	1.49
100	39	0.077	0.10	0.98	1.98
150	54	0.108	0.15	1.47	2.47
200	67	0.134	0.20	1.96	2.96
250	78	0.156	0.25	2.45	3.45
300	87	0.174	0.30	2.94	3.94
350	95	0.189	0.35	3.43	4.43
400	101	0.201	0.40	3.92	4.92
450	105	0.211	0.45	4.41	5.41
500	109	0.218	0.50	4.90	5.90
550	112	0.225	0.55	5.39	6.39
600	115	0.230	0.60	5.88	6.88
650	117	0.234	0.65	6.37	7.37
700	119	0.239	0.70	6.86	7.86
750	122	0.244	0.75	7.35	8.35
800	125	0.250	0.80	7.85	8.85
850	128	0.257	0.85	8.34	9.34
900	133	0.266	0.90	8.83	9.83
950	138	0.277	0.95	9.32	10.32
1000	145	0.291	1.00	9.81	10.81
1050	154	0.308	1.05	10.30	11.30
1100	164	0.328	1.10	10.79	11.79

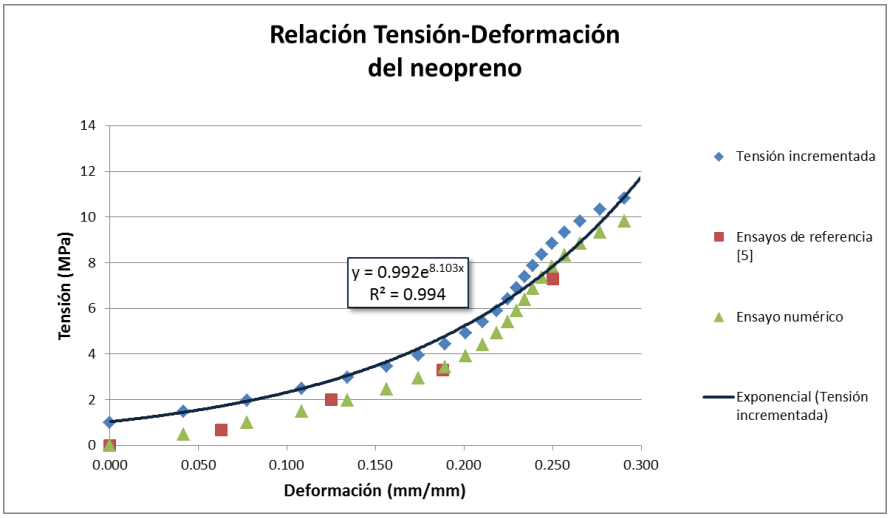


Figura 3. Relación entre tensiones y deformaciones

Ahora, para facilitar la expresión de la regresión, la tensión media obtenida (en MPa) se incrementa en una unidad, obteniéndose:

$$\sigma = 0.992\, e^{8.103\,\varepsilon} - 1 \qquad \textbf{(4)}$$

$$\varepsilon = 0.08 \ln(\sigma) + 0.09 \qquad \textbf{(5)}$$

Donde:

σ: es la tensión de ensayo bajo compresión, en MPa,

ε: es la deformación ingenieril, en tanto por uno.

Ambas expresiones (4) y (5) resultan de regresiones sobre los datos del experimento numérico, que se toman como válidas por la comparación con ensayos experimentales y ayudan a estimar la energía de deformación elástica acumulada en los encabezados de neopreno. Dicha energía,en su cuantificación específica, puede calcularse por medio de:

$$u_n = \int_0^{\varepsilon_{máx}} \sigma \, d\varepsilon \qquad \textbf{(6)}$$

Se aclara que la energía calculada por este método es una aproximación que considera que las placas de neopreno son sometidas a compresión simple sin restricciones laterales. La realidad marca que existe un confinamiento lateral, e incluso un desbordamiento durante el proceso de ensayo de las probetas de hormigón. Sin embargo, esta aproximación se considera válida debido al origen de los datos sobre las propiedades de las placas de neopreno y los métodos empleados para determinarlas.

La energía específica de deformación elástica se libera en forma explosiva en el momento que la probeta de hormigón llega a la carga de rotura, resultando en una carga dinámica de muy corta duración, casi explosiva.Para evaluar el valor máximo de la carga, se impone que el trabajo mecánico que tal impulso realiza en los acortamientos de las placas sea igual a la energía acumulada en ambas placas, por lo cual:

$$P_0\,\delta = 2\,u_n V_n \quad \textbf{(7)}$$

$$\delta = \varepsilon_{máx}\,e \quad \textbf{(8)}$$

$$V_n = \pi\frac{D^2}{4}\,e = \pi\frac{0.155^2}{4}\,0.0121\,m^3 = 2.283\,10^{-4}m^3 \quad \textbf{(9)}$$

En la cuales:

P_0: Valor del impulso como fuerza concentrada, cuya variación se asume según la Figura 4, debido a la similitud con fenómenos explosivos [7] y considerando que la duración de la carga es menor al periodo natural fundamental del modelo (para el ejemplo casi 21%)

δ: Acortamiento experimentado por las placas de neopreno, calculado por medio de la ecuación (8).

$\varepsilon_{máx}$: Máxima deformación de las placas de neoprene durante el proceso de ensayo, calculada por medio de la ecuación (5) para la condición de equilibrio anterior a la rotura de la probeta de hormigón.

V_n: Volumen de cada una de las placas de encabezado, calculado por medio de la ecuación (9).

u_n: Energía de deformación elástica específica (por unidad de volumen), calculada usando la ecuación (6)

e: Espesor medio de las placas de neopreno, 12.1mm

D: Diámetro medio de las placas de neopreno, 155mm

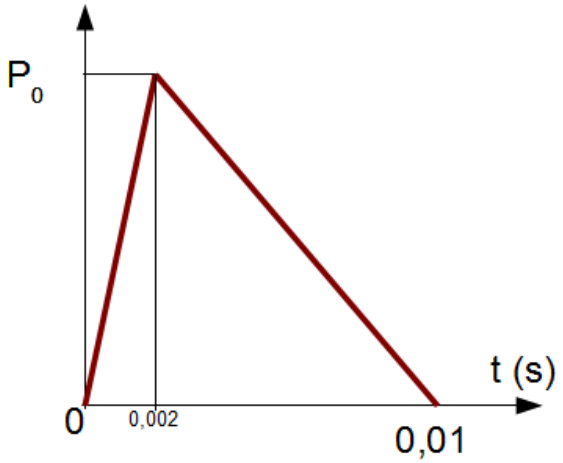


Figura 4. Impulso resultante de la liberación de energía acumulada en los encabezados de neopreno

3 Aplicación de los resultados a un caso real.

Al modelar numéricamente los encabezados de neopreno, se obtiene una relación entre tensiones y deformaciones que permite estimar la energía acumulada en los mismos encabezados durante el proceso de ensayo de las probetas de hormigón. Esa energía es liberada en forma de impulso, cuyo valor máximo está relacionado con la tensión de rotura de la probeta, y que es el causante de los muchos los reportes técnicos de daño en los equipos de ensayo [4].

Por esta razón, en este apartado se aplican los resultados obtenidos a un modelo simple de una prensa de ensayos real con la finalidad de estudiar su comportamiento.

3.1. Modelo dinámico del equipo de ensayo

El modelo dinámico del equipo de ensayo considerado se reduce al modelo con dos (2) grados de libertad esquematizado en la Figura 5 y para el cual son conocidas todas las dimensiones en planta, dejando sólo la profundidad H como parámetro independiente.

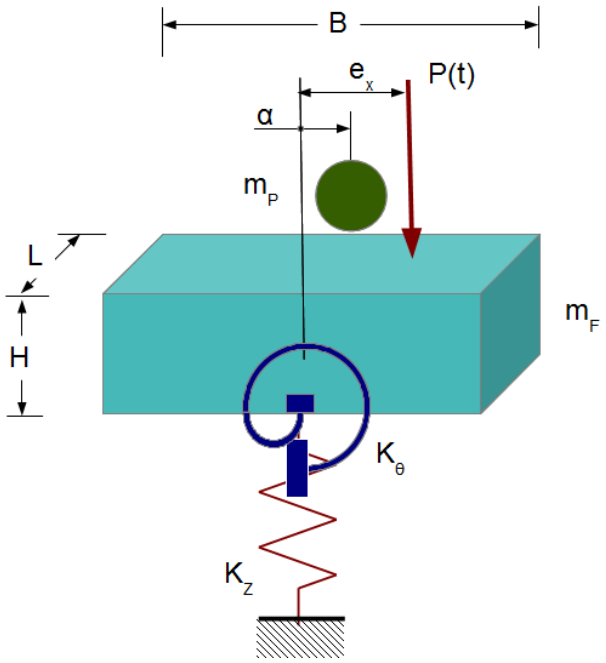


Figura 5. Modelo dinámico básico

Los valores de las rigideces directas a deformación vertical y rotación del suelo se determinan en base a las expresiones (10) y (11) extraídas de la directiva Di 5.1.2.1 del CCSRM-87[6] y ajustadas en su notación a la Figura 5.

$$K_z = \frac{E_0}{2(1-\mu^2)}\beta_z\sqrt{B\ L} \quad \textbf{(10)}$$

$$K_\theta = \frac{E_0}{2(1-\mu^2)}\beta_\theta\ L\ B^2 \quad \textbf{(11)}$$

Para las constantes del suelo se adoptan las correspondientes a una grava fina con arena fina (considerando acciones dinámicas), por similitud del suelo debajo de la fundación producto del relleno de los ambientes de trabajo:

$$E_0 = 98\,000\ \frac{kN}{m^3}\ H \quad \textbf{(12)}$$

$$\mu = 0.35 \quad \textbf{(13)}$$

3.2. Matriz de rigidez y matriz de masas concentradas

La respectiva matriz de rigidez se ensambla según:

$$K = \begin{bmatrix} K_Z & 0 \\ 0 & K_\theta \end{bmatrix} \quad \textbf{(14)}$$

Por su parte, la matriz de masas concentradas, asociada a la matriz de rigidez anterior, puede ponerse como:

$$M = \begin{bmatrix} m_F + m_P & 0 \\ 0 & m_F\frac{B^2 + 4\,H^2}{12} + m_P\alpha^2 \end{bmatrix} \quad \textbf{(15)}$$

En la cual:

m_P: representa la masa total de la prensa, es decir del equipo de ensayo, incluyendo la consola de control y la prensa hidráulica propiamente dicha;

m_F: representa la masa total de la fundación.

Debe observarse que ambos valores de la matriz de rigidez, así como los coeficientes de la matriz de masas son dependientes del parámetro "H", es decir de la profundidad de implante de la fundación.

Dadas las aproximaciones impuestas anteriormente, no se ha de considerar el amortiguamiento, por lo cual el problema dinámico simplemente resulta:

$$\begin{bmatrix} m_F + m_P & 0 \\ 0 & m_F\frac{B^2 + 4\,H^2}{12} + m_P\alpha^2 \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} \ddot{u} \\ \ddot{\theta} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} K_Z & 0 \\ 0 & K_\theta \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} u \\ \theta \end{Bmatrix} = P(t)\begin{Bmatrix} 1 \\ e_x \end{Bmatrix} \quad \textbf{(16)}$$

3.3. Resultados para las condiciones iniciales

Acontinuaciónseanaliza el comportamiento del equipo de ensayos considerando las condiciones iniciales de fundación.Para determinar la fuerza impulsiva se adopta como tensión de compresión del neopreno 40 MPa; que representa bien una tipología media de los ensayos normales.La Tabla 4muestra los datos y cálculos básicos.

En base a estos datos se puede escribir:

$$\begin{bmatrix} 5178 & 0 \\ 0 & 1758.8 \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} \ddot{u} \\ \ddot{\theta} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} 87406890 & 0 \\ 0 & 50200580 \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} u \\ \theta \end{Bmatrix} = P(t)\begin{Bmatrix} 1 \\ 0.70 \end{Bmatrix} \quad \textbf{(17)}$$

Los periodos naturales no amortiguados resultan: 0.048s y 0.037s, ambos superiores al tiempo de actuación de la carga definido en 0.01s.

El valor de la carga P_0 han sido obtenido considerando que se ensayan probetas de 150mm de diámetro, y sólo como referencia se indica que en caso de ensayar probetas de 100mm de diámetro, el resultado sería 104 kN, es decir el 46% del impulso de diseño:

$$P_0 = \frac{u_n \, \pi \, D^2}{2 \, \varepsilon_{máx}} = \frac{2283 \, \pi \, 0.105^2}{2 \, 0.38} kN = 104 \, kN \qquad \textbf{(18)}$$

Tabla 4: Datos iniciales de la fundación unificada existente

B (m)	2.30
L (m)	0.80
H (m)	0.50
$m_T = m_P + m_F$(kg)	(600+2370)+(0.8 0.5 2.30 2400)=5178
α (m)	0.45
ex (m)	0.70
E_0 (kN/m^2)	49000
β_Z (adimensional)	0.425
β_θ (adimensional)	2.308
K_Z (kN/m)	87406.89
K_θ (kN m)	50200.58
$\varepsilon_{máx}$ (%)	38.5
u_n (kJ/m^3)	2283
P_0 (kN)	223.8 (aproximadamente 22.4 Tnf)

3.4. Solución de las ecuaciones de movimiento.

El estudio del sistema (17)en realidad puede realizarse por separado, ya que la variable "u" se modela como independiente de la variable "θ".

Aplicando el método de Duhamel [8], o el método numérico RK44, es posible determinar la máximadeformación vertical dinámica (asentamiento) provocado por la rotura explosiva de una probeta a 40 MPa (aproximadamente 800 kN de carga de rotura)y el máximo ángulo de inclinación bajo la misma carga. Ambos se han representados en función del tiempo en la Figuras 6, y resultan ser:

$$u_{máx} = 19.2 \, mm \qquad \textbf{(19)}$$

$$\theta_{máx} = 0.0293 \, rad = 1º \, 40' \qquad \textbf{(20)}$$

La rotación máxima provoca un desplazamiento máximo en sentido horizontal que supera los 67mm en el extremo superior de la prensa de ensayo.

Cuando se compara el asentamiento dinámico máximo con el provocado por el peso propio del equipo de ensayo, resulta 33 veces superior; mientras que cuando la comparación se realiza en rotaciones, la relación es 64 veces superior. Estos resultados son coherentes con la evidencia física del asentamiento provocado por compactación dinámica (Figura 2).

3.5. Primera modificación

Existiendo la posibilidad de refundar la prensa de ensayo, se propone una fundación de mayores dimensiones, de tal forma que los parámetros de cálculo sean los mostrados en la Tabla 5.

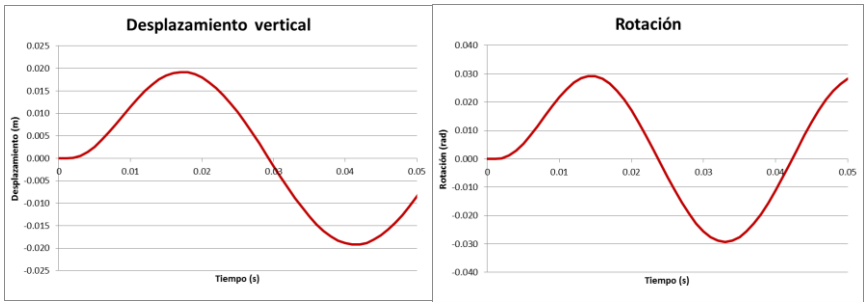


Figura 6. Variación del desplazamiento vertical y del ángulo respecto a la vertical con el tiempo

Tabla 5: Datos para la nueva fundación unificada

B (m)	3.00
L (m)	2.00
H (m)	1.15
$m_T = m_P + m_F$ (kg)	(600+2370)+(3 2 1.15 2400)=19530
α (m)	0.55
ex (m)	0.80
E_0 (kN/m^2)	112700
β_Z (adimensional)	2.173
β_θ (adimensional)	0.469
K_Z (kN/m)	341780.00
K_θ (kN m)	541981.47
$\varepsilon_{máx}$ (%)	38.5
u_n (kJ/m^3)	2283
P_0 (kN)	223.8

En base a estos nuevos datos se puede escribir:

$$\begin{bmatrix} 19530 & 0 \\ 0 & 20619 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{u} \\ \ddot{\theta} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} 341780000 & 0 \\ 0 & 541981470 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u \\ \theta \end{Bmatrix} = P(t) \begin{Bmatrix} 1 \\ 0.80 \end{Bmatrix} \quad \textbf{(21)}$$

Entonces, el máximo asentamiento dinámico provocado por la rotura explosiva de una probeta a 40 MPa, y el máximo ángulo de inclinación bajo la misma carga, ahora resultan ser:

$$u_{máx} = 5\ mm \quad \textbf{(22)}$$

$$\theta_{máx} = 0.003\ rad = 0º\ 10' \quad \textbf{(23)}$$

3.6. Ajuste final

La peor condición es la impuesta por las inevitables excentricidades de una fundación unificada. Por tal motivo, se separarán las fundaciones de la prensa propiamente dicha y de la consola de control. Entonces, los parámetros de cálculo serán los mostrados en la Tabla 6.

Tabla 6: Datos para la fundación final con bases separadas

B (m)	1.50
L (m)	2.00
H (m)	1.15
$m_T = m_P + m_F$ (kg)	2370+(1.50 2 1.15 2400)=10650
α (m)	0
ex (m)	0
E_0 (kN/m^2)	112700
β_Z (adimensional)	2.159
β_θ (adimensional)	0.535
K_Z (kN/m)	240162.37
K_θ (kN m)	154609.45
$\varepsilon_{máx}$ (%)	38.5
u_n (kJ/m^3)	2283
P_0 (kN)	223.8

En base a estos datos se puede escribir:

$$10650\,\ddot{u} + 240162370\,u = P(t) \quad \textbf{(24)}$$

Como no existe excentricidad, se concluye en:

$$u_{máx} = 8\,mm \quad \textbf{(25)}$$

$$\theta_{máx} = 0.0\,rad \quad \textbf{(26)}$$

4 CONCLUSIONES

En elpresente trabajo se implementa un procedimiento para considerar el comportamiento no lineal con grandes deformaciones que usa el criterio de plasticidad de Von Mises, sobre modelos numéricos de las placas de neopreno empleadas como encabezado de probetas de hormigón ycon el cualse estudia el problema de la liberación de la energía elástica acumulada en los ensayos a compresión simple para comprender el comportamiento de un equipo de ensayo

Con los resultados del ensayo numérico, se ha estimado una relación entre las tensiones y las deformaciones que resulta ser coherente con resultados de investigaciones existentes.

También se ha calculado la energía acumulada por deformación durante el ensayo de compresión simple de probetas de hormigón, y se la expresa por medio de un impulso triangular de tipo explosivo ya que la energía de deformación acumulada se libera en forma muy violenta.

Todo esto ha permitidodefinir un procedimiento con el cual valorizar los problemas derivados de la violenta liberación de energía de deformación elástica almacenada en las placas de neopreno, cuando éstas son empleadas como encabezamiento de probetas cilíndricas de hormigónsegún la norma IRAM 1709.

Tomando como tensión de referencia 40 MPa, se estima que el equipo de ensayo de probetas normalizadas de hormigón de 150 mm de diámetro, puede recibir una carga impulsiva cercana a los 220 kN; que para el equipo estudiado representa más de nueve (9) veces su propio peso. Este resultado no ha podido contrastarse con otras investigaciones.

Especialmente, para considerar las posibles acciones dinámicas inevitables durante el ensayo a compresión con encabezados de neopreno, es recomendable que los equipos de ensayo de probetas de hormigón posean fundaciones separadas para la prensa propiamente dicha, separando la misma de cualquier consola de control o dispositivo auxiliar.

El empleo del mismo tipo de refrentado no adherido sobre probetas de 100mm de diámetro produce mucho menores problemas dinámicos, especialmente porque es menor la energía almacenada en las placas de neopreno.

Referencias

1. IRAM 1546/1992: Hormigón de cemento portland. Método de ensayo de compresión.
2. IRAM 1553/2008: Preparación de las bases de probetas cilíndricas y testigos cilíndricos, para ensayo de compresión.
3. IRAM 1709/2008: Hormigón de cemento. Método para el uso de placas de elastómero no adheridas en la determinación de la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de hormigón endurecido.
4. Cifuentes, G: “Uso del refrentado no adherido, en la determinación de la resistencia en probetas cilíndricas de hormigón”, Facultad de Ingeniería, Universidad de Magallanes, Punta Arenas, Chile, 2010.
5. Correa, EH: “Análisis de los elementos elastómeros utilizados en aisladores y neoprenos”, Escuela politécnica del Ejército, Sangolquí, Ecuador, Mayo 2011.
6. CCSSRM-87: Código de Construcciones Sismorresistentes de Mendoza de 1987, Mendoza, Argentina, 1987.
7. Jacinto, A.; Ambrosini, R. y Danesi, R: “Análisis computacional y experimental de la respuesta de placas metálicas sometidas a cargas explosivas”, MECOM, Septiembre de 1999, Mendoza, Argentina, 1999.
8. Chopra, A: “DynamicsofStructures – TheoryandApplicationstoEarthquakeEngineering”, ISBN 0-13855214-2, 1995
9. Avallone , E; Baumekter, T. ySadegh, A.: “Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers”; 11ª Edición, Mc Graw Hill, ISBN 13-978-0-07-142867-5, 2007
10. ASTM D2240 - 05(2010) Standard Test Method for Rubber Property—Durometer Hardness.
11. Zienkiewicz, O y Taylor, R.: “El método de los elementos finitos”, 4ª Edición, Volumen 2, Mecánica de Sólidos y fluidos. Dinámica y no linealidad”, Mc Gaw Hill – CIMNE, ISBN 84-481-1760-3, 1994.
12. Zaradnik, et al.: “Estudio e implementación de modelos por elementos finitos de materiales compuestos con grandes deformaciones para el análisis de interacción fluido-estructura”. Proyectobianual 2011-2013 (06/B286), SECTYP UNCuyo, Mendoza, Argentina.

Detección Metalográfica y Fractográfica de Fallas Originadas por Corrosión en Varillas de Bombeo

Ana María Furlani[a], Federico Gabriel Martinez[a], Sergio Ricardo Santamarina[a], Marcelo del Pópolo[a],

[a] Área de Metales, Maderas y Materiales Especiales, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo, Centro Universitario,
Mendoza, Argentina
amfurlani@uncu.edu.ar

Resumen. El principal mecanismo de falla en varillas de bombeo que trabajan en presencia del efecto combinado de tensiones cíclicas en un ambiente corrosivo, corresponde a fatiga por corrosión. Los pits producidos por el medio corrosivo actúan como concentradores de tensión que promueven la fisuración del material en presencia de tensiones fluctuantes. Para su identificación, se analiza la topografía de fractura y se realizan exámenes visuales, estudios metalográficos, aplicando técnicas de observación macro y microscópicas y análisis fractográfico. Esta metodología, se puede extender además a la detección de otros tipos de falla, que podrían presentar las herramientas en servicio de la industria del petróleo.

Palabras Clave: Varillas de Bombeo – Análisis de Falla - Corrosión.

1 Introducción

Dentro de los mecanismos de fallas que presentan las varillas de bombeo se encuentran las fallas de tensión o fatiga.

Las fallas de tensión corresponden a un mecanismo de falla no habitual, con muy bajo porcentaje de incidencia. Generalmente causado por operación de pulling (por ejemplo bomba atascada). Ocurren cuando la carga aplicada excede la resistencia a la tensión de la varilla. Cuando se aplica una excesiva carga en la sarta de varillas, se crea una apariencia de encuellado en torno a la circunferencia de la varilla y ocurre una fractura, como se observa en la figura Fig**. 1** a la izquierda, donde se puede notar la reducción del diámetro de la zona transversal en el punto de fractura. Las fallas típicas por tensión tienen mitades de fractura cónica [1].

Fig. 1. Fallas por tensión

La varilla de la derecha de la **Fig. 1** también tiene un aspecto típico de falla por tensión. Las fracturas de fallas por tensión se producen en ángulos de 45° a los esfuerzos aplicados. El cuerpo de la varilla es principalmente responsable de esta falla aunque la fractura haya ocurrido mientras se trata de sacar, en este caso particular, una bomba atascada. El examen visual de la superficie de la fractura revela una pequeña grieta semielíptica por fatiga de esfuerzo. Esta varilla de bombeo tiene grietas preexistentes de fatiga tipo esfuerzo transversal. Una de las grietas por fatiga de esfuerzo se abrió durante la carga axial y constante aplicada al tratar de desalojar la bomba y entonces ocurrió la fractura. La falla por tensión es secundaria y resulta en el aspecto inusitado de la superficie de fractura con la parte pequeña de fatiga, la parte grande de tensión y desgarramientos dobles por esfuerzos cortantes inusitadamente grandes de 45°.

En la **Fig. 2** se presenta otro ejemplo de falla por alta solicitud de tensiones. La imagen corresponde al cuadrante de la varilla de bombeo.

Fig. 2. Corte por alta solicitud de tensiones.

En la **Fig. 3** se muestra otro ejemplo de falla por tensión excesiva.

Fig. 3. Tensión excesiva en el cuerpo de la varilla.

Para evitar las fallas de tensión, siempre se debe controlar el indicador de peso. Por ejemplo para una sarta de varillas en condición “nueva” (clasificación según su uso) no se debe exceder 90% de la resistencia a la fluencia.

Las fallas por fatiga son más frecuentes que las fallas de tensión. Son progresivas y empiezan como grietas pequeñas por esfuerzo que crecen bajo la acción de esfuerzos cíclicos. La resistencia a la fatiga tiene un valor menor que la resistencia a la tensión.

Una grieta pequeña por fatiga se forma en una zona de concentración de esfuerzos y se propaga perpendicular a la línea de esfuerzo o al eje del cuerpo de la varilla. A la vez que la grieta de fatiga avanza, se reduce la zona transversal efectiva de la varilla de bombeo hasta que no queda suficiente metal para sostener la carga y la varilla de bombeo simplemente se fractura en dos pedazos. Las superficies de fractura típicas tienen una parte de fatiga, una parte de tensión y un desgarramiento por cizalladura final. En la **Fig. 4** y en la **Fig. 5** se presentan ejemplos de falla por fatiga.

Fig. 4. Falla por fatiga en el cuadrante de la varilla.

Fig. 5. Fatiga por corrosión en varillas.

Las fallas de fatiga tienen características peculiares visibles o macroscópicas que sirven para identificar la ubicación de zonas de concentración de esfuerzo, estas son discontinuidades visibles o microscópicas que ocasionan un aumento en el esfuerzo local sobre la sarta de varillas durante la carga y dan inicio a la falla por fatiga. Las más comunes son las entallas, marcas, golpes, corrosión, grietas, daño mecánico, improntas de herramientas, flexión, roce y desgaste o cualquier combinación de los anteriores.

Las marcas de estrías y marcas de playa son aspectos importantes en la identificación de fallas de fatiga. Las marcas de trinquete son líneas que resultan de la intersección y conexión de grietas múltiples de fatiga por esfuerzo, son paralelas a la dirección del crecimiento de la grieta y conducen al punto de inicio de la falla, mientras que las marcas de playa indican la posición sucesiva de la grieta por fatiga y son anillos elípticos o semielípticos irradiantes al exterior del origen de la fractura. La falla por fatiga se puede identificar claramente en la superficie de rotura, por una zona grisácea de grano fino y relativamente pulida (donde se inició la falla) y otra superficie de grano grueso y rugosa de rotura franca.

En la **Fig. 6** se observan fallas por fatiga, de izquierda a derecha se tiene: varillas de bombeo endurecidas superficialmente, varillas de bombeo normalizadas y templadas y vástagos enfriados y templados [2].

Fig. 6. Fallas por fatiga.

El ejemplo de la izquierda es una falla por fatiga torsional de una bomba de cavidad progresiva. Las marcas de trinquete encontradas en la parte grande de fatiga y originadas en la superficie del cuerpo de la varilla, circundan completamente la superficie de la fractura y se muestra la parte de desgarradura pequeña por tensión un poco fuera del centro medio.

El cuerpo del medio es una varilla endurecida superficialmente y corresponde a una falla por fatiga. La carcasa que circunda el diámetro del cuerpo de la varilla soporta la carga para esta varilla de bombeo de alta resistencia a la tensión y si uno penetra la carcasa, se destruye efectivamente la capacidad de soportar carga que tiene este tipo de varilla. La grieta por fatiga de esfuerzo avanza alrededor de la carcasa y progresa a través del cuerpo de la varilla. Una falla por fatiga en una varilla de bombeo endurecida superficialmente generalmente presenta una pequeña parte de fatiga y un desgarramiento grande por tensión.

La tercera varilla a la derecha de la figura Fig**. 6** tiene un aspecto típico de falla por fatiga. Las fallas típicas por fatiga tienen una parte de fatiga, una parte de tensión y un desgarramiento por cizalladura final. El daño mecánico puede impedir o perjudicar el análisis de falla al destruir los indicios visuales y características identificadoras que se hallan normalmente en una superficie de fractura por fatiga. Se debe tener cuidado al manejar las mitades de la fractura [3].

1.1 Fallas por Corrosión

La corrosión representa alrededor de la mitad de todas las fallas de las varillas de bombeo. Es el resultado destructivo de una reacción electroquímica entre el acero de las varillas de bombeo y el ambiente operativo al que se las somete. El hierro elemental en el acero se combina con la humedad o ácidos para formar otros compuestos tales como sulfuro, carbonato, óxido de hierro, etc. Los gases ácidos comunes en la mayoría de los pozos son el ácido carbónico (por la presencia de CO_2 y agua) y el ácido sulfhídrico (H_2S). Estos son sumamente solubles en agua y se disuelven rápidamente en la misma, lo que tiende a bajar su pH. La corrosividad del agua es función de la cantidad de estos dos gases que se mantienen en solución. Todas las aguas con valores pH bajos se consideran corrosivas al acero [4].

Dos varillas de bombeo con el mismo análisis químico formarán una celda de corrosión galvánica si el estado físico de una es diferente de la otra. Puesto que las varillas de bombeo nuevas entran en el pozo sin depósitos de corrosión, a menudo se corroen preferentemente en relación con las varillas que están revestidas de depósitos de corrosión, como el generado por el CO_2 que es una escama de carbonato de hierro. Si este depósito es agrietado continuamente por un movimiento de flexión o eliminado por abrasión, la corrosión local agresiva continua en la zona con la escama eliminada y da lugar a una picadura profunda de corrosión.

Generalmente, las varillas blandas toleran la corrosión mejor que las varillas duras y en general se debe usar la varilla más blanda que pueda manipular la carga. Los materiales más blandos con bajo nivel de esfuerzo toleran picaduras mayores que los materiales más duros con esfuerzo más alto; las picaduras pequeñas pueden ser perjudiciales a las varillas de bombeo de alta resistencia a la tensión en comparación a una varilla más blanda que no tenga tanta resistencia. Si los requisitos de carga dictan el uso de las varillas de alta resistencia, es importante proteger las varillas con una película superficial de inhibidor aumentando la frecuencia del programa de aplicación del inhibidor de corrosión.

1.1.1 Corrosión por ácidos

Para la estimulación y labores de limpieza de pozos se usan ácidos. Todas las labores de ácido deben tener un inhibidor mezclado con el ácido antes de la inyección en el pozo. En raros casos, algunas aguas producidas contienen ácidos orgánicos que se han formado pozo abajo, como los ácidos acético, sulfhídrico y sulfúrico. La corrosión de ácido es un adelgazamiento de metal, que deja la superficie con el aspecto de nódulos metálicos residuales agudos, plumados o como telaraña. Las escamas metálicas no se formarán en las picaduras [4]. La muestra de la **Fig. 7** es un ejemplo de corrosión por ácidos.

Fig. 7. Corrosión por ácidos.

1.1.2 Corrosión por Cloruros

El poder corrosivo del agua aumenta con la concentración de cloruros. Los inhibidores de corrosión tienen más dificultad en llegar y proteger la superficie de acero en pozos con altas concentraciones de cloruros. La corrosión de las aguas con altas concentraciones de cloruros tiene la tendencia de ser más agresiva a las varillas

de bombeo de acero al carbono que a las varillas de bombeo de acero aleado. Pica uniformemente toda la superficie de la varillas de bombeo con picaduras someras con fondo plano y de forma irregular. Las características de forma de picaduras incluyen paredes empinadas y bordes afilados de picaduras. En la **Fig. 8** se observa una falla por corrosión de cloruros [5].

Fig. 8. Corrosión por cloruros.

1.1.3 Corrosión por CO_2

El dióxido de Carbono no es corrosivo sin la presencia de agua. Cuando el agua está presente el CO_2 se disuelve y forma ácido carbónico.

$$CO_2 + H_2O \leftrightarrow H_2CO_3 \text{ (Ácido Carbónico) .} \quad \textbf{(1)}$$

$$Fe + H_2CO_3 \leftrightarrow FeCO_3 \text{ (Carbonato de Hierro) .} \quad \textbf{(2)}$$

El ácido carbónico es muy agresivo al acero y resulta en grandes zonas de pérdida rápida de metal que pueden desgastar completamente las varillas de bombeo y cuplas. La severidad de la corrosión aumenta con el aumento parcial de presión y temperatura del CO_2.

Las **Fig. 9** y 23 muestran ejemplos típicos de corrosión por CO_2 en varillas [2].

Fig. 9. Corrosión por CO_2 en varilla.

Fig. 10. Corrosión por CO_2 en varillas.

El presente trabajo consiste en el análisis de varillas de bombeo de uso corriente en la industria petrolera, con el objeto de estudiar el motivo de falla de las mismas en condiciones de servicio.

Para ello se realizan una serie de determinaciones que se detallan a continuación: examen visual, ensayos de tracción, determinaciones de dureza, análisis químico, estudios metalográficos y fractográficos. Remarcando la importancia de estos dos últimos, para la identificación del mecanismo de falla actuante.

2 Metodología Experimental

Se realizaron las siguientes determinaciones: examen visual, ensayos de tracción, determinaciones de dureza, análisis químico, estudios metalográficos y fractográficos; remarcando la importancia de estos dos últimos para la identificación del mecanismo de falla actuante. Dichos ensayos se aplicaron sobre dos muestras extraídas de las varillas de bombeo. Las mismas, pertenecen a sartas de pozos diferentes, pero al mismo yacimiento. Una de ellas habría fallado durante el servicio, ocasionando problemas de pesca y su correspondiente reemplazo. Por lo tanto, se analizarán las posibles causas de su falla en servicio.

En ambas barras, se prepararon cortes transversales de las varillas para su observación metalográfica. Además, se practicó un corte longitudinal en una sección de la varilla de bombeo fallada, cerca a la cara de fractura, para realizar el correspondiente análisis de falla.

Se identificaron las probetas como nº 1 y nº 2, siendo esta última la fallada.

3 Resultados Experimentales y Análisis

3.1 Examen visual

La muestra de la varilla de bombeo fracturada se puede observar en la **Fig. 11**. En ella, se muestra en forma macroscópica la morfología de una de las caras de fractura. Cabe destacar, también, que no se observaron marcas de herramientas en la superficie de la varilla.

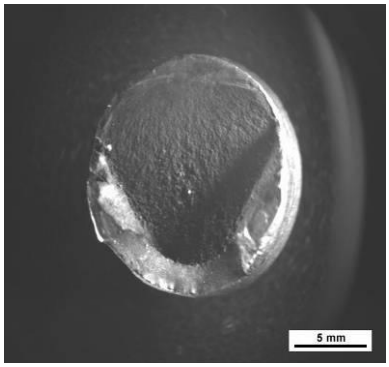


Fig. 11. Cara de fractura de la varilla de bombeo que falló.

La muestra recibida, correspondía a una de las dos mitades, en las que se había fracturado la varilla de bombeo. Por lo tanto sólo se contaba con una superficie de fractura. En base a un examen visual de la superficie de fractura, se concluyó que no había evidencia significativa de deformación plástica. Esta falta de estricción de la sección transversal es una característica típica de la fractura frágil. La fractura se produjo, principalmente, en un plano transversal al eje de la varilla; excepto en aquellas regiones en las que la fractura se produjo en forma oblicua.

La textura de la superficie de fractura, en la región de fractura plana es característica, excepto por un aumento en la rugosidad a medida que nos acercamos a la zona de la fractura inclinada (ver Fig. 11). Esta última zona, es típica en los materiales dúctiles que fallan a la tracción [6].

Una comparación visual de la sección transversal entre el área de fractura dúctil y el área de fractura frágil indicó que el factor de seguridad de diseño de la varilla de bombeo, era el correcto. Por lo tanto, el examen de la varilla de bombeo recibida no reveló ningún cambio dimensional que hubiera podido provocar la fractura.

3.2 Ensayo de tracción

Se mecanizaron dos probetas una de cada barra y se ensayaron a la tracción [7] según Norma ASTM A-370. Los resultados están expuestos en la siguiente tabla.

Tabla 1. Resultados del ensayo de tracción en ambas barras según ASTM A-370.

	PROBETA Nº 1	**PROBETA Nº 2**
Diámetro inicial	12,8 mm	12,7 mm
Longitud inicial	50,7 mm	50,7 mm
Sección inicial	128,68 mm^2	126,68 mm^2
Carga máxima	14600 kg	14900 kg
Resistencia estática a la tracción	113,6 kg/mm^2	117,6 kg/mm^2

Responde a los valores especificados por la norma con la cual se llevó a cabo su control de calidad en el momento de su fabricación.

3.3 Ensayo de Dureza

Se determinó dureza Rockwell C sobre la superficie transversal de las dos barras realizando mediciones en forma diametral [7]. Los resultados se pueden observar en la siguiente tabla.

Tabla 2. Resultados de ensayo de dureza Rockwell C sobre las varillas.

PROBETA	**DUREZAS HRC**							**PROMEDIO**
Nº 1	30	38	36	37	36	39	28	35 ± 2
Nº 2	31	40	38	37	36	39	33	36 ± 1

Responde a los valores especificados por la norma con la cual se llevó a cabo su control de calidad en el momento de su fabricación.

3.4 Análisis químico

La composición química responde a la de un acero AISI 1524 Mod. o SAE 1524 [8]. Los resultados se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 3. Análisis químico de las varillas ensayadas.

	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	P
Varilla nº 1	0,24	0,21	1,52	0,56	0,04	0,29	0,07	0,01
Varilla nº 2	0,24	0,25	1,58	0,57	0,05	0,29	0,08	0,02

Responde a los valores especificados por la norma con la cual se llevó a cabo su control de calidad en el momento de su fabricación.

3.5 Estudios metalográficos

Sobre las muestras pulidas metalográficamente, se observaron inclusiones globulares tipo óxido, como se muestra en la **Fig. 12**.

Barra Nº1 Barra Nº2

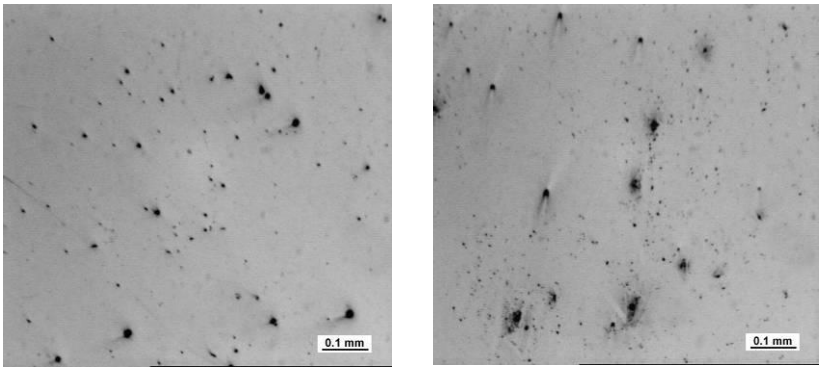


Fig. 12. Inclusiones globulares de óxido en las barras.

En las muestras con corte transversal, el ataque con nital de las secciones previamente pulidas metalográficamente, revelan una estructura martensítica característica de un templado y revenido uniforme. Dicha estructura puede observarse en la Fig. 13.

Barra Nº1 Barra Nº2

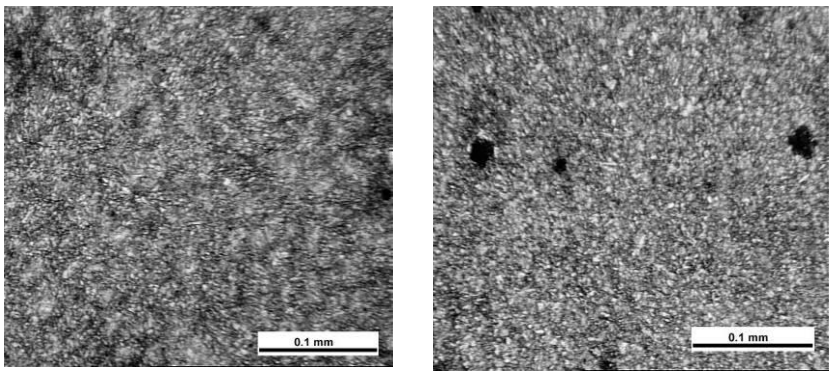


Fig. 13. Estructura martensítica revenida.

Según la estructura observada, el material fue sometido a un tratamiento de temple y revenido. Esto último se determinó, observando la presencia de un carburo fino coalescido en una matriz ferrítica.

Según la estructura observada, el material fue sometido a un tratamiento de temple y revenido. Esto último se determinó, observando la presencia de un carburo fino coalescido en una matriz ferrítica.

3.6 Análisis Fractográfico

Se observó la cara fracturada después de una limpieza química, en el SEM (Microscopía Electrónica de Barrido), con el objeto de comprobar lo analizado por microscopía óptica.

3.7 Análisis de Falla

Analizando un corte longitudinal del perfil de fractura de la varilla de bombeo nº 2 (fallada), se pueden observar las características más importantes de la misma en la Fig. 14, la cual revela una fractura frágil dada por una superficie de fractura plana. El área de separación, que se indica en la figura como fractura inclinada, es característica de un material dúctil sometido a tracción [6] [9].

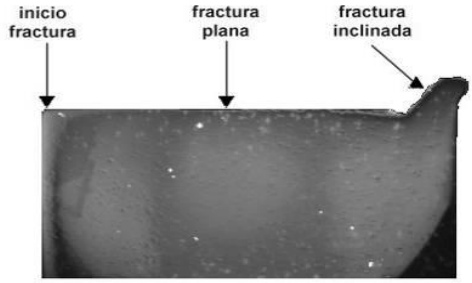


Fig. 14. Perfil de fractura

Sobre el mismo corte, en el área de iniciación de fractura, se señalan las fisuras que se inician a lo largo de la pared exterior de la varilla y en los pits de corrosión, Fig. 15.

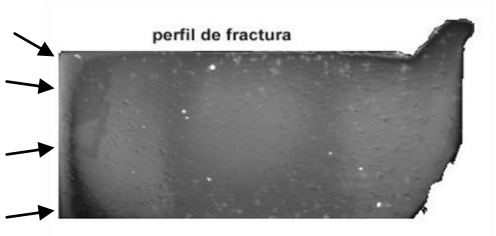


Fig. 15. Perfil de fractura de la varilla nº2 con indicaciones de iniciación de fractura.

Ampliando una de las fisuras señalizadas, se pueden observar las características típicas de fisuración debida al mecanismo de fatiga por corrosión,

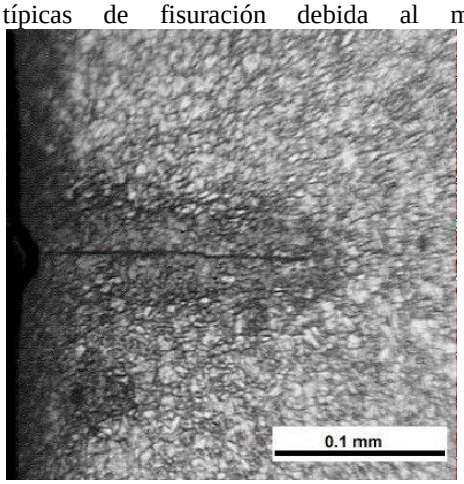


Fig. **16**. En ella, se pueden observar fracturas transgranulares. Éstas últimas, son muy comunes en herramientas que han fallado debido a un mecanismo de fatiga. Como se puede advertir, las fisuras penetran hacia el interior de la varilla pero con un

comportamiento distinto al inicial. La fisura inicialmente transgranular, se propaga en forma en intergranular con pequeñas ramificaciones. Éste comportamiento, es muy común en las fracturas producidas por esfuerzos en medios ricos en sulfuros; aunque no se descarta la posibilidad de que otro mecanismo de corrosión haya actuado. Por lo tanto, se concluye que las fisuras han sido originadas debido a la severidad del medio en que la varilla estaba trabajando.

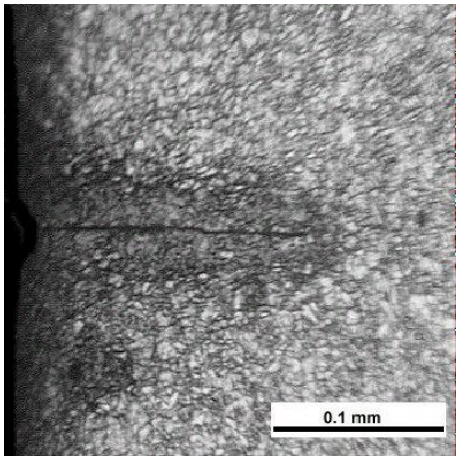


Fig. 16. Detalle de la fisura.

Sobre la superficie de fractura, se observa también la presencia de fisuras que se inician en la parte inferior de los pits de corrosión, como puede verse en la Fig. 17. Esto último se confirma según el examen visual realizado.

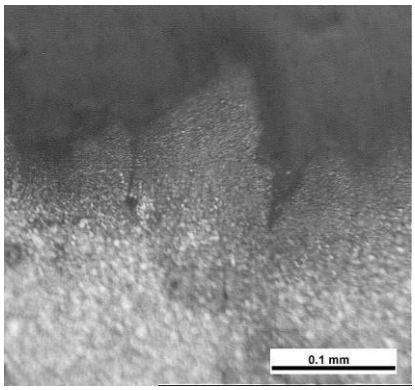


Fig. 17. Fisuras que se inician en los pits de corrosión.

Por Microscopía Electrónica se observa también en la cara plana de fractura la presencia de corrosión intergranular, como se observa en la siguiente figura [9].

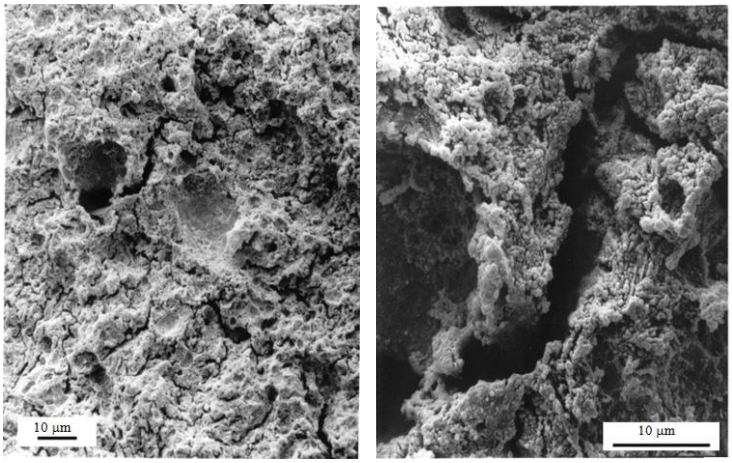


Fig. 18. Corrosión intergranular en la cara plana de la fractura

En la cara inclinada, se puede observar la presencia de dimples característicos de una sobrecarga dúctil, tal como se muestra en la figura a continuación [6].

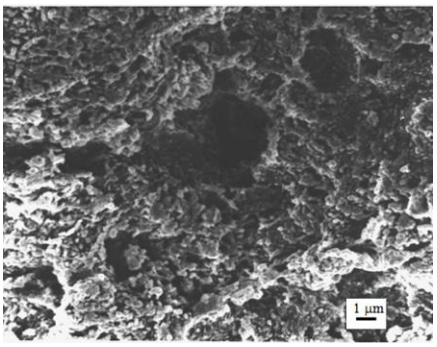


Fig. 19. Dimples en la cara inclinada de la fractura.

5 Conclusiones

El examen de la varilla de bombeo fallada, reveló que la falla se originó debido a un medio corrosivo. La National Association of Corrosion Engineers (NACE), define una fractura originada por un medio corrosivo como: "una fractura frágil de un material normalmente dúctil, en el cual el efecto corrosivo del medio es el causante de la mencionada anomalía". La falla se originó por un comportamiento específico conocido como fatiga por corrosión. El resultado final de dicho mecanismo es la rotura de la herramienta, debido a la combinación de una carga fluctuante y de un medio corrosivo.

La contribución de la corrosión a la fracturación resultó ser evidente por la presencia de pitting, producido por sulfuros, en el área de iniciación de fractura. La fisuración debida a un ambiente corrosivo se pudo verificar por la presencia de fisuras intergranulares en el análisis fractográfico. La fatiga se evidenció, en los ensayos metalográficos, por la presencia de múltiples fisuras que se iniciaron a lo largo de la superficie de la varilla. La propagación incipiente de las fisuras en forma transgranular indicó también que el material falló debido a esfuerzos cíclicos. Las fisuras iniciadas en el fondo de los pits de corrosión, actuaron como concentradores de tensiones, como así también brindaron un medio corrosivo localizado, en el cual se promovió la fractura en presencia de esfuerzos fluctuantes.

6 Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Proyecto de Investigación "Estudio de algunas herramientas de análisis utilizadas para el diagnóstico de falla en componentes metálicos" aprobado por la Secretaría de Ciencia, Técnica y Posgrado (SECTYP) de la Universidad Nacional de Cuyo. Subsidio correspondiente al período 2011-2013.

7 Referencias Bibliográficas

[1] Tenaris: Casos típicos de fallas en campo. Fallas en varillas. (2011)

[2] Norris, http://www.npsdover.com/norrisrods/en/norrisglobal/resources/articles

[3] ASM: Handbook: Volume 12, Fractography. USA (1987)

[4] Tenaris: Prácticas operativas recomendadas para el uso de varillas en campo. (2011)

[5] Fundacion YPF: Exploración y Producción de Petróleo: Bombeo Mecánico. (2010)

[6] Ipohorskiy, M., Acuña, R. J.: Fractografía: Aplicaciones al Análisis de Fallas. CNEA 490, Buenos Aires (1988)

[7] Askeland, D.R., Phulé, P.P.: Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Thomson, Mexico (2004)

[8] ASM: Handbook: Volume 1, Properties and Selection: Irons, Steels, and High Performance Alloys. USA (1993)

[9] ASM: Handbook: Volume 11, Failure Analysis and Prevention. USA (2002)

Análisis de una Riostra Suspendida con un Extremo Desplazable

Marcelo Guzmán[a,b], Marta Rosales[b,c], Carlos Filipich[b,d],

[a] CeReDeTeC, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza. Becario de Doctorado del Programa de Beca para Docentes de la UTN, Coronel Rodríguez 273, 5500 Mendoza, Argentina, mguzman@frm.utn.edu.ar

[b] Departamento de Ingeniería, Universidad Nacional del Sur, Alem 1253, 8000 Bahía Blanca, Argentina, mrosales@criba.edu.ar , cfilipich@gmail.com

[c] CONICET, Argentina

[d] CIMTA, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Bahía Blanca, 11 de Abril 461, 8000 Bahía Blanca, Argentina

Resumen. En la industria de las telecomunicaciones las antenas generalmente son soportadas por mástiles reticulados arriostrados mediante riostras ubicadas a distintas alturas, las cuales suelen ser consideradas en la modelación como resortes elásticos, y con ello, necesitar conocer su rigidez axial. Estas riostras se encuentran con un extremo fijo anclado a la estructura de fundación, mientras que el extremo vinculado al mástil está sujeto a desplazamientos debido a las acciones actuantes sobre dicho mástil. Estos desplazamientos hacen que la riostra se "tense" o se "afloje", modificando con ello su estado tensional y consecuentemente también su rigidez axial. En los sistemas estructurales mástil-riostras, estas últimas presentan una alta pretensión dada en la etapa del montaje, resultando su flecha pequeña y permitiendo ello admitir la representación del perfil mediante la aproximación dada por el modelo parabólico. En el presente trabajo, se analiza el comportamiento de una riostra pretensionada suspendida desde sus extremos pero con la posibilidad de desplazamiento de uno de ellos, determinándose la rigidez axial de la misma así como también, la relación no-lineal entre el esfuerzo de tracción resultante y el desplazamiento producido. Los resultados numéricos obtenidos del comportamiento no-lineal de la riostra son presentados mediante gráficos.

Palabras Clave: Riostras. Respuesta estática. No-linealidad. Rigidez axial.

1 Introducción

En la industria de las telecomunicaciones las antenas generalmente son soportadas por mástiles reticulados arriostrados mediante riostras ubicadas a distintas alturas (ver Fig. 1), las cuales suelen ser consideradas en la modelación como resortes elásticos, y con ello, necesitar conocer su rigidez axial [1], [2], [3] y [4]. Estas riostras se encuentran con un extremo fijo anclado a la estructura de fundación, mientras que el extremo vinculado al mástil está sujeto a desplazamientos debido a las acciones actuantes sobre dicho mástil. Estos desplazamientos hacen que la riostra se "tense" o se "afloje", modificando con ello su estado tensional y consecuentemente la rigidez

axial de la misma. Debido a la configuración geométrica de la riostra, la relación esfuerzo de tracción- desplazamiento resulta fuertemente no-lineal [5] y [6].

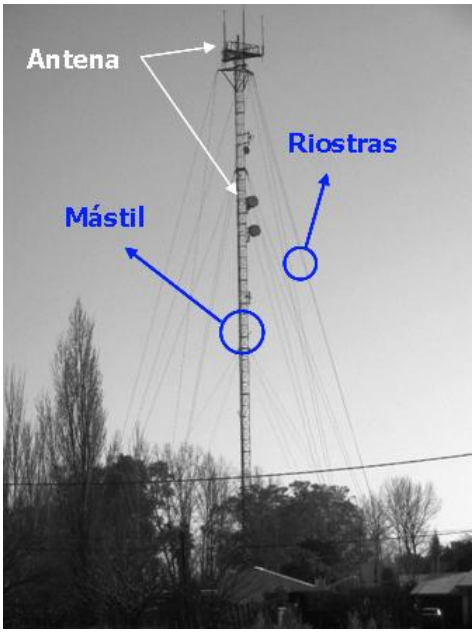


Fig. 1. Sistema de comunicaciones soportado por un mástil reticulado arriostrado.

En el presente trabajo se lleva adelante el planteo matemático de forma explícita, que conduce a la obtención de las formulaciones referidas al incremento de esfuerzo de tracción en la riostra debido al desplazamiento de su extremo móvil, a la expresión de su rigidez axial, y a la relación implícita no lineal entre el esfuerzo de tracción y el desplazamiento, permitiendo de este modo la fundamentación del planteo matemático conducente a las expresiones antes mencionadas.

2 Planteo del problema

Sea una riostra inclinada (ver Fig. 2), de sección transversal A_o y densidad del material $\rho_{r,}$ la cual cuelga de sus extremos los cuales se encuentran a diferentes alturas, haciendo que la cuerda presente una cierta inclinación ϕ respecto de la horizontal. Se define a x como el eje horizontal, y a z como el eje vertical en el sistema de coordenadas globales, mientras que se define a x^* y a z^* como los ejes en el sistema de coordenadas locales, el cual dada su conveniencia será utilizado para la obtención de las ecuaciones del equilibrio estático.

En su condición de elemento estabilizante del sistema estructural mástil-riostras, a las riostras se les debe suministrar en la etapa de montaje de un esfuerzo de pretensión de acuerdo a lo indicado en [1], lo cual da lugar a que la flecha de la misma resulte pequeña y con ello, que la relación entre la flecha d_o a la mitad de la cuerda y la

longitud de la cuerda L_c sea menor que 1/8 (llamada relación de flecha f_o). Esta última condición permite admitir la representación del perfil de la riostra mediante la aproximación dada por el modelo parabólico [5] y [6].

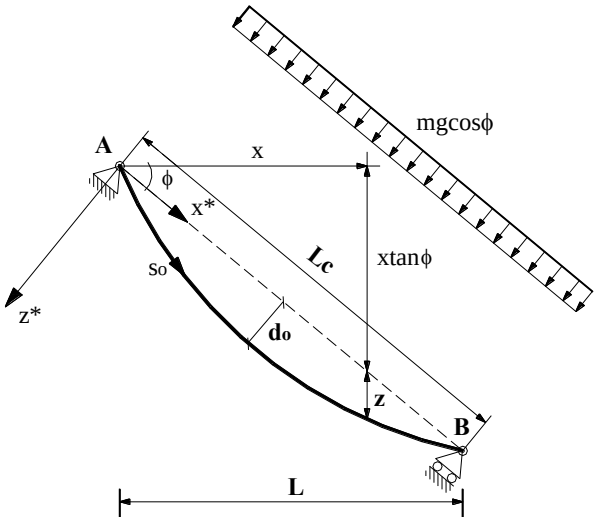


Fig. 2. Geometría de la riostra inclinada con un extremo desplazable.

En la Fig. 3 se presenta un segmento diferencial de riostra tanto en la configuración inicial (previo al desplazamiento del extremo), como en la configuración desplazada. Del equilibrio de fuerzas actuantes en la configuración inicial, resulta:

$$\frac{d}{ds_o}\left(T_o \frac{dx^*}{ds_o}\right) = -mg\,sin\,\phi \qquad \textbf{(1)}$$

$$\frac{d}{ds_o}\left(T_o \frac{dz^*}{ds_o}\right) = -mg\,cos\,\phi \qquad \textbf{(2)}$$

mientras que una vez desplazado el extremo móvil, del equilibrio de fuerzas en dicha configuración se obtiene que:

$$\frac{d}{ds_o}\left[\left(T_o + \tau\right)\left(\frac{dx^*}{ds_o} + \frac{\partial u^*}{\partial s_o}\right)\right] = -mg\,sin\,\phi \qquad \textbf{(3)}$$

$$\frac{d}{ds_o}\left[\left(T_o + \tau\right)\left(\frac{dz^*}{ds_o} + \frac{\partial w^*}{\partial s_o}\right)\right] = -mg\,cos\,\phi \qquad \textbf{(4)}$$

siendo τ el esfuerzo de tracción adicional generado en la riostra como consecuencia del desplazamiento del extremo móvil de la misma.

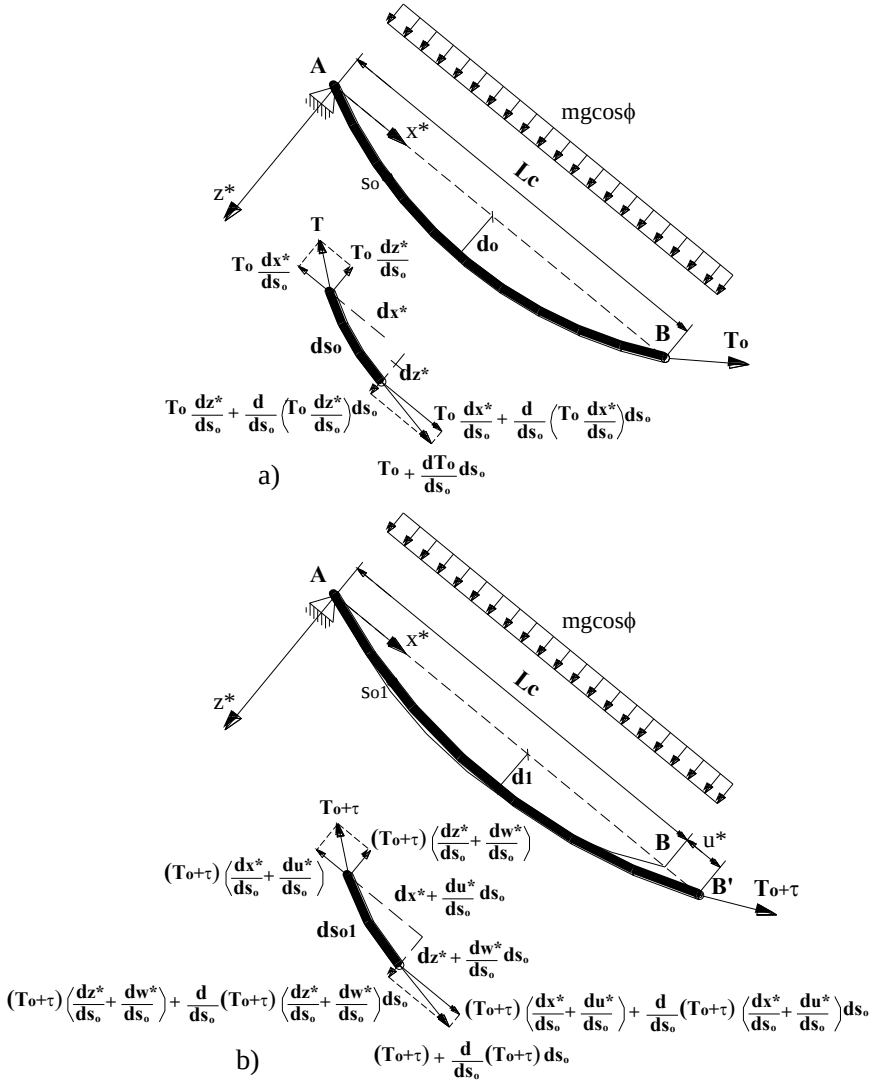


Fig. 3. Segmento diferencial de riostra. a) Configuración inicial. b) Configuración desplazada

Reemplazando ahora las ec. (1) y (2) en (3) y (4), se tiene:

$$\frac{d}{ds_o}\left[\tau\frac{dx^*}{ds_o}+(T_o+\tau)\frac{\partial u^*}{\partial s_o}\right]=0 \qquad \textbf{(5)}$$

$$\frac{d}{ds_o}\left[\tau\frac{dz^*}{ds_o}+(T_o+\tau)\frac{\partial w^*}{\partial s_o}\right]=0 \qquad \textbf{(6)}$$

las cuales resultan ser las ecuaciones diferenciales que gobiernan el equilibrio estático respecto a los ejes locales de la riostra sujeta a un desplazamiento en su extremo.

La proyección de la fuerza tangente a la riostra respecto al eje local *x**, resulta:

$$H_o^* = T_o \frac{dx^*}{ds_o} \tag{7}$$

$$h^* = \tau \frac{dx^*}{ds_o} \tag{8}$$

y luego reemplazando las ec. (7) y (8) en (5) y (6), se obtienen las ecuaciones gobernantes del equilibrio con respecto a las fuerzas proyectadas sobre el eje *x**:

$$\frac{d}{ds_o}\left[h^* \frac{dx^*}{ds_o} + (H_o^* + h^*) \frac{\partial u^*}{\partial s_o} \right] = 0 \tag{9}$$

$$\frac{d}{ds_o}\left[h^* \frac{dz^*}{ds_o} + (H_o^* + h^*) \frac{\partial w^*}{\partial s_o} \right] = 0 \tag{10}$$

La longitud del segmento diferencial de riostra en la configuración inicial, resulta:

$$ds_o^2 = dx^{*2} + dz^{*2} \tag{11}$$

y una vez desplazado el extremo móvil, la longitud del segmento es ahora:

$$ds_{o1}^2 = \left(dx^* + du^*\right)^2 + \left(dz^* + dw^*\right)^2 \tag{12}$$

en tanto que la deformación unitaria experimentada por el segmento diferencial de riostra al pasar de una configuración a la otra, resulta:

$$\varepsilon = \frac{ds_{o1} - ds_o}{ds_o} \tag{13}$$

de donde se obtiene que:

$$ds_{o1} = ds_o\left(1 + \varepsilon\right) \tag{14}$$

y relacionando ahora ds_{o1} con ds_o del siguiente modo [7] y reemplazando por las ec. (11), (12) y (14), se tiene:

$$\frac{ds_{o1}^2 - ds_o^2}{ds_o^2} = 2\varepsilon + \varepsilon^2 = 2\left(\frac{dx^*}{ds_o}\frac{\partial u^*}{\partial s_o} + \frac{dz^*}{ds_o}\frac{\partial w^*}{\partial s_o} \right) + \left(\frac{\partial u^*}{\partial s_o} \right)^2 + \left(\frac{\partial w^*}{\partial s_o} \right)^2 \tag{15}$$

pero dado que la flecha de la riostra es pequeña y asumiendo que se está en el campo de las pequeñas deformaciones, se puede prescindir de los términos cuadráticos, con lo cual resulta:

$$\varepsilon = \frac{dx^*}{ds_o}\frac{\partial u^*}{\partial s_o} + \frac{dz^*}{ds_o}\frac{\partial w^*}{\partial s_o} \tag{16}$$

por lo que aplicando la ley de Hooke, se determina que:

$$\tau = \varepsilon EA_o = EA_o\left(\frac{dx^*}{ds_o}\frac{\partial u^*}{\partial s_o} + \frac{dz^*}{ds_o}\frac{\partial w^*}{\partial s_o}\right) \tag{17}$$

Esta última ecuación define la relación linealizada entre el esfuerzo adicional de tracción y la deformación experimentada por la riostra. Reemplazando ahora a τ por su proyección sobre el eje local x^* y desarrollando, se obtiene:

$$\frac{h^*}{EA_o}\left(\frac{ds_o}{dx^*}\right)^3 = \frac{\partial u^*}{\partial x^*} + \frac{dz^*}{dx^*}\frac{\partial w^*}{\partial x^*} \tag{18}$$

Integrando esta última ecuación a lo largo de la longitud de la cuerda L_c, y dado que h^* y EA_o permanecen invariables a lo largo de la misma, resulta:

$$\frac{h^*}{EA_o}\int_0^{Lc}\left(\frac{ds_o}{dx^*}\right)^3 dx^* = \int_0^{Lc}\frac{\partial u^*}{\partial x^*}dx^* + \int_0^{Lc}\frac{dz^*}{dx^*}\frac{\partial w^*}{\partial x^*}dx^* \tag{19}$$

El integrando ubicado a la izquierda de la ecuación resulta ser la longitud efectiva de la riostra (llamada también S_o), y que para el caso de riostras tensas resulta [5]:

$$L_e = \int_0^{Lc}\left(\frac{ds_o}{dx^*}\right)^3 dx^* \approx L_c\left[1 + 8\left(\frac{mg\cos\phi L_c}{H^*}\right)^2\right] \tag{20}$$

donde m es la masa de la riostra ($\rho_r A_o$) y g la aceleración de la gravedad.
La integración del primer integrando ubicado a la derecha de la ec. (19), resulta:

$$\int_0^{Lc}\frac{\partial u^*}{\partial x^*}dx^* = \int_{u^*(o)}^{u^*(Lc)}\partial u^* = u^*_{(Lc)} - u^*_{(0)} \tag{21}$$

representando los desplazamientos de los extremos de la riostra en la dirección de x^*.
Haciendo uso de la integración por partes, se integra el segundo integrando ubicado a la derecha de la ec. (19):

$$\int_0^{Lc}\frac{dz^*}{dx^*}\frac{\partial w^*}{\partial x^*}dx^* = -\int_0^{Lc}\frac{d^2z^*}{dx^{*2}}w^*dx^* + \frac{dz^*}{dx^*_{(Lc)}}w^*_{(Lc)} - \frac{dz^*}{dx^*_{(0)}}w^*_{(0)} \tag{22}$$

donde los dos últimos términos resultan ser términos en el contorno que naturalmente quedan incorporados debido al proceso de integración.

Ahora bien, del análisis del modelo de perfil parabólico para la riostra [5] y [6], también presentado por estos autores en un trabajo anterior [8], surge que:

$$\frac{dz^*}{dx^*} = \frac{V^*_{(x^*)}}{H_o^*} \tag{23}$$

$$\frac{d^2 z^*}{dx^{*2}} = -\frac{mg\cos\phi}{H_o^*} \tag{24}$$

y dado que:

$$V^*_{(x^*)} = \frac{mg\cos\phi L_c}{2}\left(1 - 2\frac{x^*}{L_c}\right) \tag{25}$$

resulta que en $x^* = 0$ y en $x^* = L_c$ se tiene que:

$$V^*_{(0)} = \frac{mg\cos\phi L_c}{2} \quad ; \quad V^*_{(Lc)} = -\frac{mg\cos\phi L_c}{2} \tag{26}$$

Por lo tanto reemplazando las ec. (23), (24) y (26) en (22), resulta:

$$\int_0^{Lc} \frac{dz^*}{dx^*}\frac{\partial w^*}{\partial x^*} dx^* = \frac{mg\cos\phi}{H_o^*}\int_0^{Lc} w^* dx^* - \frac{mg\cos\phi L_c}{2H_o^*}\left(w^*_{(Lc)} - w^*_{(0)}\right) \tag{27}$$

con lo cual al reemplazar las ec. (20), (21) y (27) en (19), se obtiene:

$$\frac{h^*}{EA_o} L_e = u^*_{(Lc)} - u^*_{(0)} + \frac{mg\cos\phi}{H_o^*}\left[\int_0^{Lc} w^* dx^* - \frac{L_c}{2}\left(w^*_{(Lc)} - w^*_{(0)}\right)\right] \tag{28}$$

quedando entonces por determinar la integral de w^*, para lo cual y dada la condición de riostra tensa, resulta que $ds_o \approx dx^*$, por lo que la ec. (10) puede ser expresada:

$$h^* \frac{d^2 z^*}{dx^{*2}} + (H_o^* + h^*)\frac{\partial^2 w^*}{\partial x^{*2}} = 0 \tag{29}$$

y prescindiendo del término de orden superior por aceptar una respuesta linealizada, resulta:

$$h^* \frac{d^2 z^*}{dx^{*2}} + H_o^* \frac{\partial^2 w^*}{\partial x^{*2}} = 0 \tag{30}$$

con lo cual al reemplazar por la ec. (24), se tiene:

$$\frac{\partial^2 w^*}{\partial x^{*2}} = h^* \frac{mg\cos\phi}{H_o^{*2}} \tag{31}$$

Escribiendo ahora la ecuación diferencial homogénea asociada, resulta:

$$\frac{\partial^2 w^*}{\partial x^{*2}} = 0 \tag{32}$$

y proponiendo la solución exponencial clásica para el corrimiento *w** incognita:

$$w^*_{c(x^*)} = We^{\lambda x^*} \tag{33}$$

Reemplazando luego esta propuesta de solución en la ecuación diferencial homogénea, se tiene que:

$$\lambda^2 = 0 \tag{34}$$

de donde se obtienen las siguientes dos raíces:

$$\lambda_1 = \lambda_2 = 0 \tag{35}$$

De este modo, la solución complementaria para el corrimiento *w** de la riostra resulta:

$$w^*_{c(x^*)} = W_1 + W_2 x^* \tag{36}$$

en donde las constantes W_j (con j=1,2) se determinan a partir de las condiciones de borde del problema.

Como solución particular de la ecuación diferencial no homogénea, se propone a:

$$w^*_{p(x^*)} = \frac{mg\cos\phi}{2H_o^{*2}} h^* x^{*2} \tag{37}$$

con lo cual la solución general, suma de la complementaria más la particular, resulta:

$$w^*_{(x^*)} = W_1 + W_2 x^* + \frac{mg\cos\phi}{2H_o^{*2}} h^* x^{*2} \tag{38}$$

Las condiciones de borde de la riostra suspendida (ver Fig. 4), resultan:

$$u^*_{(0)} = 0 \quad ; \quad u^*_{(Lc)} = \delta\cos\alpha \tag{39}$$

$$w^*_{(0)} = 0 \quad ; \quad w^*_{(Lc)} = -\delta\sin\alpha \tag{40}$$

y partir de éstas, se determinan las constantes de integración, las que resultan:

$$W_1 = 0 \tag{41}$$

$$W_2 = -\frac{mg\cos\phi}{2H_o^{*2}} h^* L_c - \frac{1}{L_c}\delta\sin\alpha \tag{42}$$

Reemplazando ahora las ec. (41) y (42) en (38), se tiene la forma explícita de la solución general de la riostra suspendida y con un extremo desplazable:

$$w^*_{(x^*)} = \frac{mg\cos\phi}{2H_o^{*2}} h^* \left(x^{*2} - x^* L_c\right) - \frac{x^*}{L_c}\delta \sin\alpha \qquad \textbf{(43)}$$

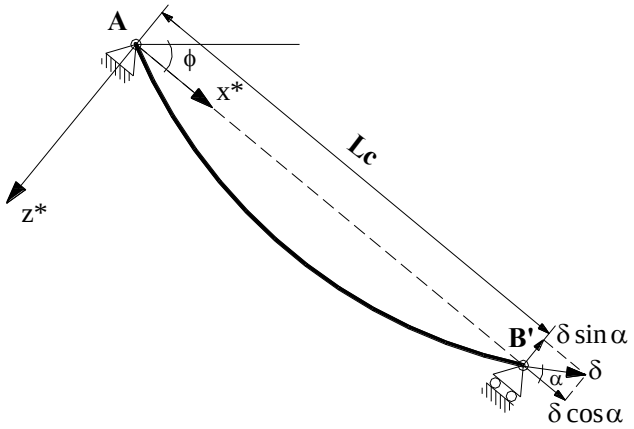


Fig. 4. Riostra suspendida con un extremo desplazado

Integrando ahora a *w** a lo largo de la longitud de la cuerda, se tiene:

$$\int_0^{Lc} w^*_{(x^*)} dx^* = -\frac{mg\cos\phi}{12H_o^{*2}} h^* L_c^3 - \frac{L_c}{2}\delta \sin\alpha \qquad \textbf{(44)}$$

Reemplazando ahora el resultado de esta última integración y las condiciones de borde (39) y (40) en la ec. (28), y desarrollando, se tiene:

$$h^* = \frac{EA_o}{L_e} \frac{12}{12 + \kappa^2} \delta \cos\alpha \qquad \textbf{(45)}$$

en donde se ha definido a:

$$\kappa^2 = \left(\frac{mg\cos\phi L_c}{H_o^*}\right)^2 \frac{EA_o}{H_o^*} \frac{L_c}{L_e} \qquad \textbf{(46)}$$

De este modo, se ha llevado adelante el planteo conducente a la determinación del esfuerzo de tracción adicional *h** actuante sobre la riostra, debido al desplazamiento δ de su extremo móvil.

En cuanto a la rigidez axial estática de la riostra, ésta resulta de la relación entre el esfuerzo adicional de tracción y el desplazamiento del extremo móvil:

$$K_{est} = \frac{h^*}{\delta \cos\alpha} = \frac{EA_o}{L_e} \frac{12}{12 + \kappa^2} \qquad \textbf{(47)}$$

en donde se define como la rigidez axial elástica y lineal de la riostra a:

$$K_{elastica} = \frac{EA_o}{L_e} \tag{48}$$

Tanto el esfuerzo adicional de tracción, como la rigidez estática, dependen del comportamiento geométricamente no-lineal de la riostra, a través del coeficiente κ^2.

2.1 Relación implícita carga-desplazamiento

Como se ha dicho, para el caso de riostras tensas (relación de flecha < 1/8), el modelo parabólico resulta adecuado para la representación del comportamiento de la riostra. La Fig. 5 muestra para las dos configuraciones de la riostra, la inicial y la desplazada, los parámetros que gobiernan el modelo parabólico de representación.

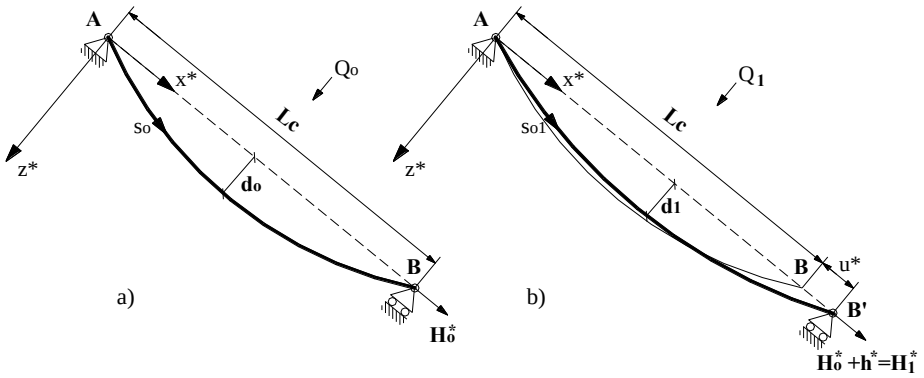


Fig. 5. Modelo parabólico. a) Configuración inicial. b) Configuración desplazada

Las relaciones que gobiernan a dicho modelo de representación, en cada una de las configuraciones, resultan:

$$f_o = \frac{d_o}{L_c} = \frac{Q_o}{8H_o^*} \tag{49}$$

$$S_o = L_e = L_c + \frac{8}{3} L_c \left(\frac{d_o}{L_c} \right)^2 \tag{50}$$

$$f_1 = \frac{d_1}{L_c + u^*} = \frac{Q_1}{8\left(H_o^* + h^*\right)} = \frac{Q_1}{8H_1^*} \tag{51}$$

$$S_{o1} = L_{e1} = \left(L_c + u^*\right) + \frac{8}{3}\left(L_c + u^*\right)\left(\frac{d_1}{L_c + u^*} \right)^2 \tag{52}$$

Q_o y Q_1 (respectivamente p_oL_c y p_1L_c) son las fuerzas totales y transversales que actúan sobre la riostra en cada una de las configuraciones. La relación de flecha f_o (o bien f_1) fue anteriormente definida. La longitud efectiva o total de la riostra S_o (o bien S_{o1}) dada por la ecuación presentada en [6], surge de resolver a la misma del siguiente modo:

$$\frac{S_o}{L_c}=\frac{1}{16\,f_o}\left\{8\,f_o\left[1+(4\,f_o)^2\right]^{1/2}+ln\frac{\left[1+(4\,f_o)^2\right]^{1/2}+4\,f_o}{\left[1+(4\,f_o)^2\right]^{1/2}-4\,f_o}\right\} \qquad \textbf{(53)}$$

El logaritmo natural del cociente puede ser expresado como:

$$ln\frac{\left[1+(4\,f_o)^2\right]^{1/2}+4\,f_o}{\left[1+(4\,f_o)^2\right]^{1/2}-4\,f_o}=ln\left\{\left[1+(4\,f_o)^2\right]^{1/2}+4\,f_o\right\}^2 \qquad \textbf{(54)}$$

y desarrollando el argumento del logaritmo, se tiene:

$$ln\left\{\left[1+(4\,f_o)^2\right]^{1/2}+4\,f_o\right\}^2=ln\left\{1+2(4\,f_o)\left[1+(4\,f_o)^2\right]^{1/2}+2(4\,f_o)^2\right\} \qquad \textbf{(55)}$$

La raíz del argumento del logaritmo puede ser expresada mediante expansión binomial, y dado que se aceptó que la relación de flecha es pequeña ($f_o<1/8$), resulta:

$$\left[1+(4\,f_o)^2\right]^{1/2}=1+\frac{1}{2}(4\,f_o)^2-\frac{1}{8}(4\,f_o)^4+\ldots\approx 1+\frac{1}{2}(4\,f_o)^2 \qquad \textbf{(56)}$$

con lo cual reemplazando en la ec. (55), se obtiene:

$$ln\left\{\left[1+(4\,f_o)^2\right]^{1/2}+4\,f_o\right\}^2\approx ln\left\{1+2(4\,f_o)+2(4\,f_o)^2+(4\,f_o)^3\right\} \qquad \textbf{(57)}$$

Incorporando ahora la variable auxiliar $v=2(4f_o)+2(4f_o)^2+(4f_o)^3$ y desarrollando el argumento del logaritmo mediante serie de Taylor, resulta:

$$ln(1+v)=v-\frac{v^2}{2}+\frac{v^3}{3}-\frac{v^4}{4}+\ldots \qquad \textbf{(58)}$$

Reemplazando ahora a v en la ec. (58) y reteniendo solo hasta el término cúbico:

$$ln\frac{\left[1+(4\,f_o)^2\right]^{1/2}+4\,f_o}{\left[1+(4\,f_o)^2\right]^{1/2}-4\,f_o}\approx 2(4\,f_o)-\frac{1}{3}(4\,f_o)^3 \qquad \textbf{(59)}$$

Reemplazando ahora las ec. (56) y (59) en (53) y desarrollando, resulta:

$$S_o=L_c\left(1+\frac{8}{3}f_o^2\right) \qquad \textbf{(60)}$$

con lo cual se ha desarrollado el planteo necesario para obtener la relación dada por la ec. (50).

Continuando con la determinación de la relación carga-desplazamiento, al pasar la riostra desde la configuración inicial a la desplazada, se produce en la misma una deformación la cual está dada por:

$$\varepsilon = \frac{S_{o1} - S_o}{S_o} = \frac{\left(1 + \frac{u^*}{L_c}\right)\left(1 + \frac{Q_1^2}{24H_1^*}\right)}{\left(1 + \frac{Q_o^2}{24H_o^*}\right)} - 1 \qquad \textbf{(61)}$$

El desplazamiento producido en el extremo móvil da lugar a un esfuerzo adicional de tracción $h^*=H_1^*- H_o^*$, por lo que la tensión adicional sobre la riostra resulta:

$$\sigma = \frac{H_1^* - H_o^*}{A_o} = \varepsilon E \qquad \textbf{(62)}$$

Reemplazando ahora la ec. (61) en (62) y desarrollando, se obtiene:

$$H_1^{*3}\left(1 + \frac{Q_o^2}{24H_o^{*2}}\right) + H_o^{*2}\left[\frac{Q_o^2 EA_o}{24H_o^{*2}} - H_o^*\left(1 + \frac{Q_o^2}{24H_o^{*2}}\right) - \frac{EA_o}{L_c}u^*\right] - \frac{Q_1^2 EA_o}{24}\left(1 + \frac{u^*}{L_c}\right) = 0 \qquad \textbf{(63)}$$

Esta última ecuación algebraica y de tercer orden en H_1^*, es la que define la relación no-lineal entre la carga (H_1^*) y el desplazamiento (u^*) de la riostra para el modelo parabólico. Conociendo las condiciones iniciales sobre la riostra (H_o^*) y conociendo el desplazamiento producido, se determinan las raíces de la ecuación cúbica, siendo aquella real y positiva la que define el valor del esfuerzo H_1^*.

3 Ejemplo numérico

Se analiza el caso de dos riostras iguales y coplanarmente dispuestas, unidas entre sí mediante un vínculo móvil (ver Fig. 6) el cual será sujeto a desplazamientos. Las riostras presentan una sección A_o = 2x10^{-4} m^2, una longitud de cuerda L_c = 40 m, un módulo de elasticidad E = 15x10^4 MPa, una densidad del material ρ_r = 7850 kg/m^3, y una inclinación de la cuerda respecto de la horizontal ϕ = 45º.

De los resultados numéricos obtenidos se observa que, frente a desplazamientos horizontales δ en el extremo móvil que une a las riostras, por como estas están dispuestas, la riostra 1 experimenta un alargamiento en la longitud de su cuerda, mientras que la riostra 2 un acortamiento de la misma. Esto último hace que la riostra que se ”estira” aumente su tensión respecto de la inicial, en tanto que la riostra que se ”afloja” la disminuya.

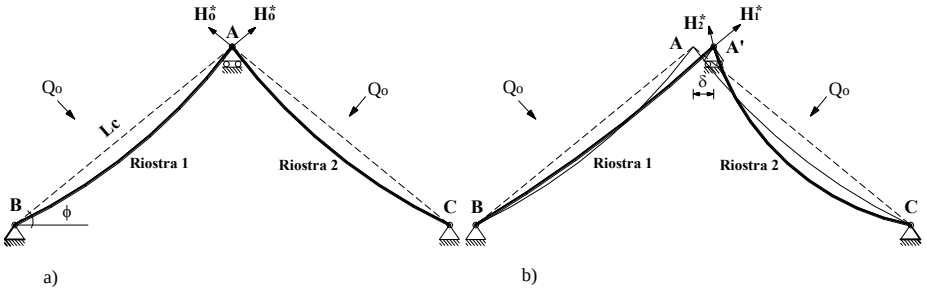


Fig. 6. Riostras coplanares. a) Configuración inicial. b) Configuración desplazada

Los esfuerzos de tracción sobre las riostras y dependientes del desplazamiento del apoyo móvil, han sido determinados mediante la aplicación de la ec. (63), teniendo presente que $Q_o = Q_1 = mgcos\phi L_c$ y que $u^*_1 = \delta cos\phi$ y $u^*_2 = -\delta cos\phi$. En la Fig. 7 se muestra la evolución del esfuerzo de tracción en cada una de las riostras a medida que se incrementa el desplazamiento horizontal del apoyo móvil.

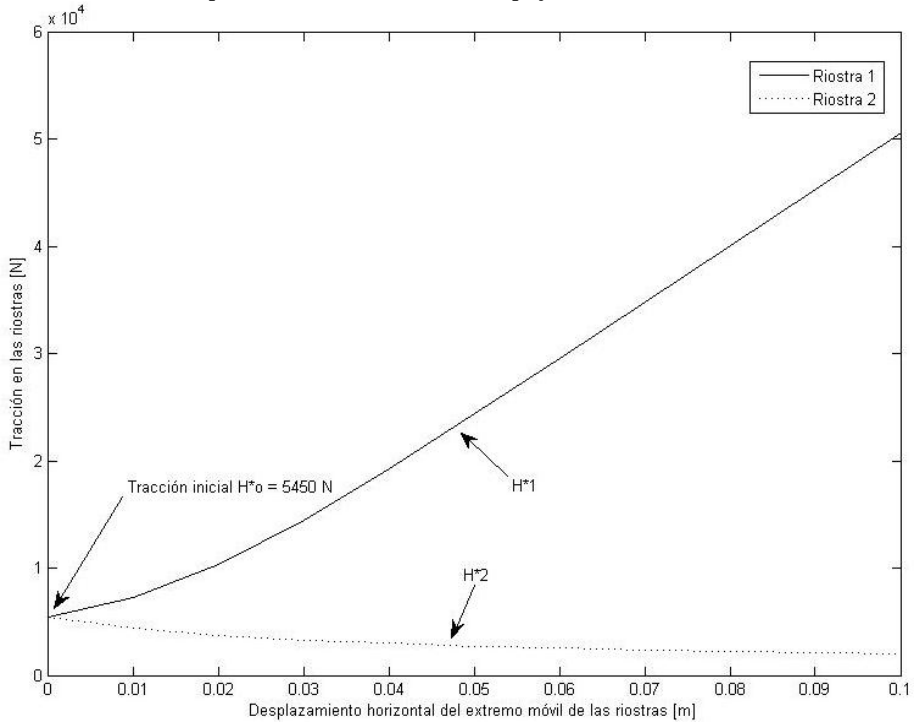


Fig. 7. Evolución del esfuerzo de tracción en las riostras debido al desplazamiento δ

En cuanto a la variación de la rigidez axial estática de las riostras debido al desplazamiento δ, se observa que la riostra 1 al estirarse va incrementando su rigidez respecto de la inicial, es decir que experimenta una suerte de ”endurecimiento” tendiendo al valor de lo que se definió como rigidez elástica de la riostra. En tanto que

la riostra 2 al aflojarse, pierde rigidez respecto de la inicial, experimentando así una suerte de ”ablandamiento” que hace que su rigidez axial tienda a ser nula. En la Fig. 8 se muestra la evolución de la rigidez axial estática en cada una de las riostras a medida que se incrementa el desplazamiento horizontal del apoyo móvil.

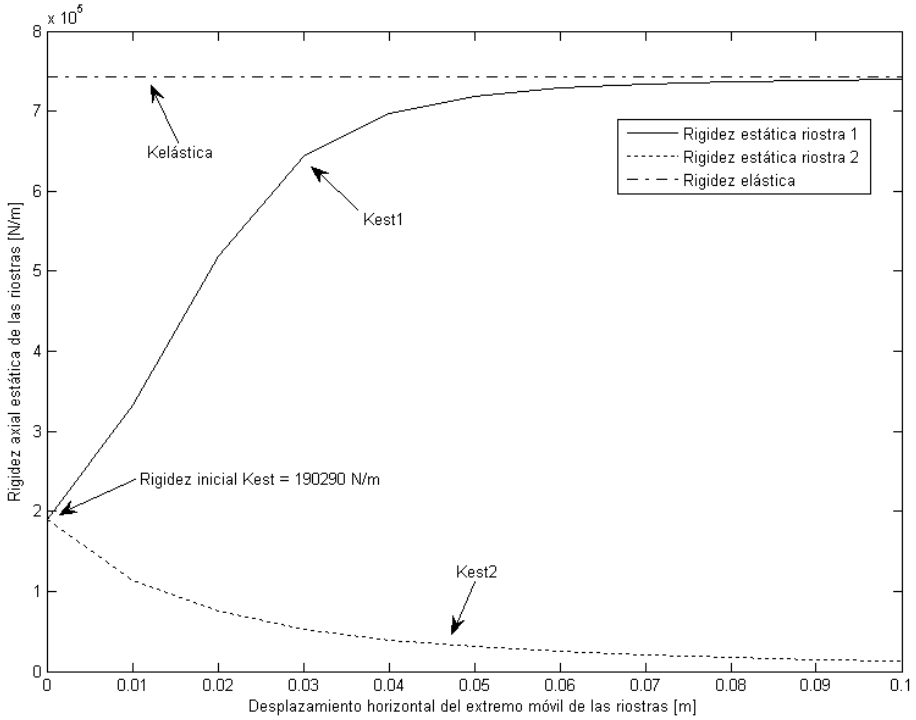


Fig. 8. Evolución de la rigidez axial estática en las riostras debido al desplazamiento δ

4 Conclusiones

El desarrollo detallado de las ecuaciones conducentes a la respuesta estática de una riostra con un extremo desplazable, ha sido abordado en el presente trabajo. Dicho planteo, permitió comprender los desarrollos necesarios para establecer la relación geométricamente no-lineal entre el desplazamiento producido en el extremo de la riostra y la fuerza de tracción actuante en la misma, así como también, para la determinación de la rigidez axial estática, función ésta de la variación del esfuerzo de tracción actuante sobre la misma, es decir, de su estado tensional. La literatura consultada afín a la temática, en el mejor de los casos, suele indicar directamente las expresiones de las relaciones y/o parámetros mecánicos citados, pero dando por sobreentendido los planteos matemáticos conducentes a las mismas.

A partir del ejemplo evaluado, se observó que cuando la riostra se ”estira” se produce una rigidización de ésta o bien una suerte de ”endurecimiento”, tendiendo de este modo al valor de la rigidez elástica. En tanto que cuando la riostra se ”afloja”, la

misma pierde rigidez respecto de la inicial, produciéndose así una suerte de ”ablandamiento” de ésta. Esto último, lo cual claramente es observado en los gráficos presentados, permite comprender de manera muy simple el comportamiento de la riostra cuando la misma gana o pierde pretensión, lo cual muchas veces no alcanza ha ser interpretado de forma clara en la práctica profesional.

Por último, es de destacar que las expresiones presentadas permiten, en el análisis de un sistema mástil-riostras, no solo establecer la rigidez horizontal instantánea del nudo del mástil al cual se toman las riostras y con ello, poder formalizar un modelo del tipo viga-columna (mástil) sobre apoyos elásticos (nudos arriostrados), sino que también, comprender la respuesta del sistema a partir de conocer el comportamiento previsible de las riostras.

Agradecimientos

Para el presente trabajo, se agradece el apoyo brindado por el CeReDeTeC, por el Programa de Becas para Docentes de la UTN - Formación de Posgrado, y por el Departamento de Ingeniería de la UNS., y el mismo forma parte del desarrollo de la Tesis Doctoral “Estática, estabilidad y dinámica de mástiles reticulados arriostrados”.

Referencias

1. Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles. Reglamento CIRSOC 306: Estructuras de acero para antenas. INTI, Buenos Aires, Argentina (1995)
2. Amiri, G.: Seismic sensitivity indicators for tall guyed telecommunication towers. Computers and Structures, vol. 80, 349 a 364 (2002)
3. Hensley, G., Plaut, R.: Three-dimensional analysis of the seismic response of guyed masts. Engineering Structures, vol. 29, 2254 a 2261 (2007)
4. Preidikman, S., Massa, J., Roccia, B.: Análisis dinámico de mástiles arriostrados. Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil, vol. 6, 85 a 102 (2006)
5. Irvine, M: Cable Structures. Dover Publications, New York (1992)
6. Leonard, J: Tension Structures: Behavior and Analysis. McGraw-Hill, United States of America, 1a. edition (1988)
7. Malvern, L: Introduction to the Mechanics of a Continuous Medium. Prentice-Hall, Inc., New Jersey (1969)
8. Guzmán, M., Rosales, M., Filipich, C.: Cable sujeto a su propio peso: análisis de las soluciones exacta y aproximada. EnIDI 2009, Cap. 1: Civil y Materiales, 146 a 160 (2009)

Optimización de Tanques Cilíndricos Flexibles Bajo Carga Sísmica

María E. Compagnoni, Carlos A. Martínez, Raúl O. Curadelli

Área de Dinámica Experimental, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo, CONICET, Centro Universitario - Parque Gral. San Martín, 5500 Mendoza, Argentina

eugeniacompagnoni@hotmail.com

Resumen. Los tanques cilíndricos de acero apoyados en el suelo, se usan tradicionalmente para almacenar agua y líquidos inflamables, debido a su diseño estructural simple, muy buen comportamiento bajo cargas hidrostáticas, bajo costo y fácil construcción. A pesar de estas ventajas, los tanques de acero de pared delgada son sensibles a las cargas sísmicas. El objetivo de este trabajo es el diseño óptimo simplificado de tanques cilíndricos flexibles, sometidos a acciones sísmicas, evitando métodos computacionales complejos. En el mismo, la masa de líquido se representa mediante el modelo de Housner, modificado posteriormente por Malhotra, el cual toma en cuenta la flexibilidad de la pared del tanque considerando dos masas concentradas referidas como masa "convectiva" y masa "impulsiva" y la respuesta sísmica se obtiene mediante un análisis dinámico modal espectral. El método propuesto proporciona las dimensiones más económicas para el tanque, para un volumen de líquido de diseño predefinido. El método propuesto puede ser considerado como una base para el diseño de tanques de acero de pared delgada que satisfacen los requisitos estructurales y de estabilidad.

Palabras Clave: Tanques cilíndricos flexibles; Modelo mecánico equivalente; Optimización.

1 Introducción

Los tanques cilíndricos de acero apoyados en el suelo, son estructuras especialmente construidas con el propósito de almacenar algún material o sustancia fluida tales como agua, combustibles, productos químicos, etc. Sin embargo, este tipo de tanques han sido fuertemente dañados durante los eventos sísmicos ocurridos. El sismo de Alaska en 1964 de gran magnitud (8,4), despertó el interés por un comportamiento seguro bajo cargas sísmicas de los tanques superficiales, este causo daños a contenedores de líquidos que se ubicaron en un radio de 130-160 km del epicentro [1]. En la comunidad de Valdez (Alaska), la falla de algunos tanques ocasiono el derrame de combustible que culmino con un incendio que duro varios días (Figura 1). En Anchorage, de 21 depósitos sólo cuatro no sufrieron daños. Siete tanques que almacenaban combustible, colapsaron derramando su contenido (Figura 2), tres de ellos derramaron casi tres millones de litros de combustible para avión y afortunadamente no se originaron incendios [2].

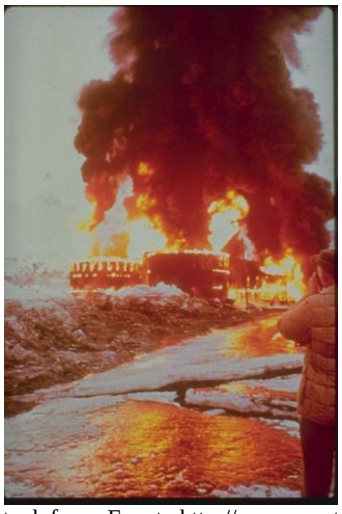


Figura 1: Planta Union Oil tank farm. Fuente:http://www.smate.wwu.edu/teched/geology/ GeoHaz/ eq-Alaska64/eq-Alaska64-17.JPG [consulta: 10/08/2012]

Figura 2: Colapso de tanque de almacenamiento (Fuente U. C. Berkeley)

En los últimos años se han producido numerosas fallas catastróficas de tanques contenedores de líquido debido a eventos sísmicos severos tales como los ocurridos en 1960 en Chile [3]; en 1994 en Northridge, California [4]; en 1995 en Kobe, Japón [5]; y en 1999 en Kocaeli, Turquía, [6, 7].

La experiencia obtenida sobre los desastres naturales en tanques de almacenamiento, revela que para reducir la vulnerabilidad a niveles aceptables se requiere de acciones preventivas y de diseños de ingeniería adecuados. Con el propósito de responder a las necesidades de este sector, en este trabajo se propone un método simple de optimización de diseño sísmico de tanques cilíndricos de acero de pared delgada. La evaluación del comportamiento sísmico de los tanques de acero se realiza en base al modelo mecánicos propuesto por Housner [8, 9, 10] y modificado posteriormente por Malhotra [5]. En el método planteado se evalúa la resistencia y estabilidad del tanque bajo carga sísmica. Por lo tanto, los objetivos de este estudio es determinar los valores óptimos de relación de esbeltez ($S=R/H$) y espesor de cáscara, para volúmenes específicos de almacenamiento de líquidos.

2 Evaluación de las características dinámicas de los tanques de almacenamiento de líquidos cilíndricos.

En este estudio el comportamiento del sistema tanque-líquido, se representa mediante el modelo de Malhotra [5], quien modificó el modelo de Housner [8] para considerar la flexibilidad de la pared del tanque. El Modelo Mecánico Equivalente (MME) desarrollado por Malhotra [5], considera depósitos cilíndricos de pared delgada, de radio *R*, altura total *L*, y espesor *e* parcialmente llenos de líquido hasta una altura *H* (Figura 3).

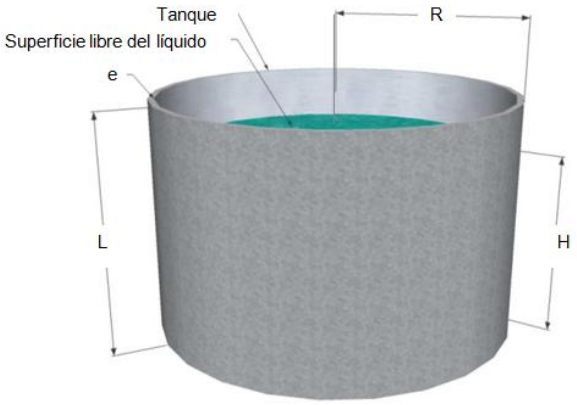


Figura 3: Geometría del Tanque

Según este modelo, para pequeñas oscilaciones, la respuesta característica del sistema tanque-líquido se puede obtener mediante un sistema de dos grados de libertad. En efecto, la masa de líquido durante la excitación sísmica, vibra en dos formas diferentes, asociadas a las dos masas equivalentes, denominadas: masa convectiva m_c, (parte superior de la masa de líquido en donde se producen las olas en la superficie del líquido y cuyos desplazamientos horizontales son equivalentes a la altura de ola) y masa impulsiva m_i, (parte de la masa de líquido que vibra junto a la pared del tanque), como se puede ver en la Figura 4.

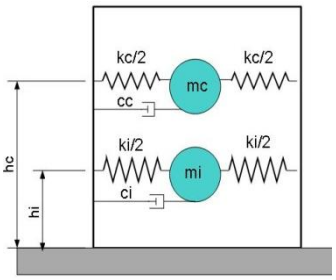


Figura 4: Modelo mecánico del tanque cilíndrico.

Las masas convectiva e impulsiva se determinan a partir de la masa de líquido *m*, como:

$$\begin{matrix} m_c = \gamma_c m \\ m_i = \gamma_i m \end{matrix} \quad (1)$$

con:

$$m = \pi\, R^2\, H\, \rho_l \quad (2)$$

en la cual ρl es la densidad del líquido; γ_cy γ_i, son las relaciones de masa que se obtienen a partir de la relación de aspecto del tanque (*S*).

La frecuencia fundamental de la masa convectiva ω_c, e impulsiva ω_i, se determinan mediante las siguientes expresiones:

$$\omega_c = \frac{2\,\pi}{\mathrm{C_c}\sqrt{\mathrm{R}}} \quad (3)$$

$$\omega_i = \frac{2\,\pi\sqrt{\mathrm{e/R}}\;\sqrt{\mathrm{E}}}{\mathrm{C_i}\;\mathrm{H}\;\sqrt{\rho_\mathrm{l}}} \quad (4)$$

donde *E* es el módulo de elasticidad.

Para determinar las alturas de cada masa se utilizan las siguientes relaciones:

$$\begin{matrix} h_i = \tau_i\, h \\ h_c = \tau_c\, h \end{matrix} \quad (5)$$

Los parámetros *γc, γi, πc, πi, Cc y Ci* son funciones de la relación de aspecto del tanque, S y se determinan mediante la Ec. (6) que surge a partir de la interpolación de las curvas dadas en [5]:

$$\begin{Bmatrix} C_i \\ C_c \\ \gamma_i \\ \gamma_c \\ \tau_i \\ \tau_c \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} -0{,}212 & 2{,}103 & -8{,}243 & 16{,}450 & -16{,}720 & 12{,}942 \\ -0{,}077 & 0{,}743 & -2{,}769 & 5{,}008 & -4{,}420 & 3{,}023 \\ -0.006 & 0{,}045 & -0{,}069 & -0{,}211 & 0{,}850 & -0{,}062 \\ 0{,}005 & -0{,}038 & 0{,}068 & 0{,}169 & -0{,}789 & 1{,}046 \\ -0{,}013 & 0{,}119 & -0{,}394 & 0{,}584 & -0{,}3466 & 0{,}4657 \\ 0 & 0 & -0{,}011 & 0{,}036 & 0{,}101 & 0.489 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} S^5 \\ S^4 \\ S^3 \\ S^2 \\ S \\ 1 \end{Bmatrix} \quad (6)$$

2.1 Respuesta sísmica del modelo mecánico equivalente

Se determina la respuesta sísmica del sistema de depósito-líquido de acuerdo a los siguientes pasos:

2.1.1 Paso 1: Evaluación de las aceleraciones espectrales

La excitación se define a partir del espectro de respuesta de pseudoaceleración dado por el código INPRES CIRSOC 103 [11] admitiendo que el lugar de emplazamiento del tanque corresponde a la zona sísmica IV y el suelo tipo II.

Con base en los valores obtenidos para los periodos convectivo T_c e impulsivo T_i y conocidas las características correspondientes al espectro de diseño, se da lectura a los valores de las pseudoaceleraciones espectrales convectiva Sa_c e impulsiva Sa_i, respectivamente, en la Figura 5 se ilustra el espectro de respuesta de pseudoaceleraciones.

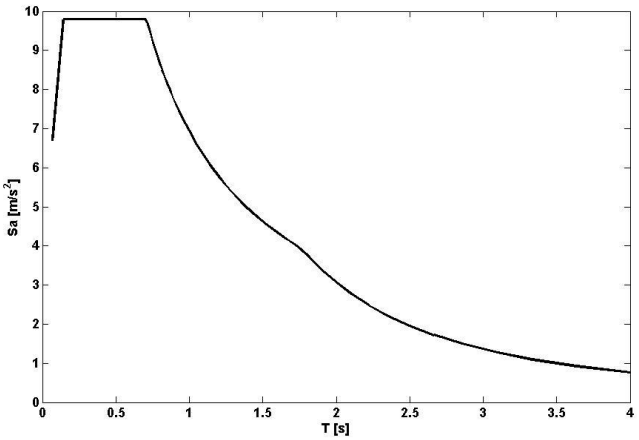


Figura 5: Espectro de respuesta de pseudoaceleración. Zona sísmica IV, tipo suelo II.

2.1.2. Paso 2: Evaluación de los desplazamientos espectrales

El desplazamiento vertical máximo de la superficie del líquido debido al oleaje (d_{max}), según [5], está dada por :

$$d_{max} = R\frac{Sa(T_c)}{g} \tag{7}$$

donde g es la aceleración debida a la gravedad y T_c el periodo convectivo.

2.1.3. Paso 3: Evaluación de las cargas sísmicas máximas

Las respuestas máximas impulsiva y convectiva no ocurren simultáneamente, por lo que la fuerza cortante y el momento de vuelco máximos probables se obtienen mediante la combinación de los efectos impulsivo y convectivo [12]. Por lo tanto, el corte en la base máximo está dado por:

$$Q_{max} = \sqrt{((m_i + m_t)\, Sa_i)^2 + (m_c\, Sa_C)^2} \quad (8)$$

donde m_t es la masa del tanque, Sa_i la aceleración espectral impulsiva y Sa_c la aceleración espectral convectiva.
De la misma manera, el momento de vuelco máximo es:

$$M_{max} = \sqrt{((m_i\, h_i + m_t\, h_t)\, Sa_i)^2 + (m_c\, h_c\, Sa_C)^2} \quad (9)$$

donde h_i y h_c son las alturas de la masa impulsiva y convectiva respectivamente (Ec. (5)), y h_t es la altura del centro de gravedad del tanque.

2.1.4. Paso 4: Evaluación de los esfuerzos sísmicos máximos

La tensión axial sísmica máxima (σ_{max}) desarrollada en la base del tanque, puede ser calculada como:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{\pi\, R^2\, e} \quad (10)$$

La tensión de corte máxima (τ_{max}) está dada según [13] por:

$$\tau_{max} = \frac{Q_{max}}{\pi\, R\, e} \quad (11)$$

2.1.5. Paso 5: Evaluación de la estabilidad del tanque de acero

Las comprobaciones de estabilidad se realizan respecto a un posible modo de falla elástico. De acuerdo con [13, 14], la tensión axial requerida para causar pandeo elástico en una estructura cilíndrica, depende de la variación circunferencial de la presión interna, la amplitud de las imperfecciones y el espesor de la cáscara. El factor de reducción, λ, dado en la Ec. (12) es utilizado para tener en cuenta la amplitud de las imperfecciones [13,14]

$$\lambda = 1 - 1{,}24\, \frac{\delta}{e} \left[\sqrt{1 + \frac{2}{1{,}24\, \frac{\delta}{e}}} - 1 \right] \quad (12)$$

donde δ/e es la relación entre la amplitud de la imperfección máxima y el espesor del depósito, que puede estimarse como [14]:

$$\frac{\delta}{e} = \frac{0{,}06}{a}\sqrt{\frac{R}{e}} \tag{13}$$

con
a = 1 para construcción normal;
a = 1,5 para construcción de calidad;
a = 2,5 para construcción de alta calidad.

Luego, el parámetro adimensional, α^2, se define como [13, 14]

$$\alpha^2 = \frac{\sigma_y}{\lambda\, \sigma_{pr}} \tag{14}$$

donde, σ_y es la tensión de fluencia del acero y σ_{pr} la resistencia al pandeo de un tanque perfecto, que está dado por [13, 14]

$$\sigma_{pr} = 0{,}6\, E\, \frac{e}{R} \tag{15}$$

Con el fin de evitar el pandeo elástico del tanque, la desigualdad siguiente debe ser satisfecha [13,14]

$$\frac{\sigma_b}{\sigma_{pr}} \leq 0{,}19 + 0{,}81\frac{\sigma_d}{\sigma_{pr}} \tag{16}$$

donde σ_b es la tensión máxima membrana vertical en el tanque y σ_d viene dada por [13, 14]

$$\sigma_d = \sigma_{pr}\sqrt{1 - \left(1 - \frac{\bar{\sigma}}{5}\right)^2 \left(1 - \frac{\sigma_0}{\sigma_{pr}}\right)^2} \leq \sigma_{pr} \tag{17}$$

con

$$\begin{aligned} \sigma_0 &= \lambda\, \sigma_{pr} \qquad \alpha^2 \geq 2 \\ \sigma_0 &= \sigma_y \left(1 - \frac{\alpha^2}{4}\right) \quad \alpha^2 < 2 \end{aligned} \tag{18}$$

y

$$\bar{\sigma} = \frac{p\, R}{e\, \sigma_{pr}} \leq 5 \tag{19}$$

donde p es la presión hidrodinámica más baja.

3 Diseño óptimo de tanques cilíndricos flexibles

3.1. Problema de optimización general

El problema de optimización general consiste en minimizar una función objetivo *F* respecto de *n* parámetros:

$$\min_{x_1, x_2, \dots, x_n} F(x_1, x_2, \dots, x_n) \tag{20}$$

sujeta a las siguientes restricciones

$$g_j(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq 0 \quad j = 1, \dots, k \tag{21}$$

siendo *k* el número total de restricciones del problema de optimización

3.2. Función objetivo y restricciones

Para el problema de optimización particular de tanques cilíndricos flexibles sometidos a acción sísmica se define la función objetivo a minimizar como la cantidad total de material a utilizar respecto del radio del tanque (*R*) y el espesor (*e*) del mismo. La altura del tanque queda definida a partir de estos parámetros, el volumen de diseño y desplazamiento máximo vertical de ola d_{max}. De esta manera, la Ec. (13) se puede rescribir de la siguiente manera:

$$\min_{R, e} \quad F = \pi \mathrm{R}^2 e + 2\pi\, e\, R\, (H + d_{max}) \tag{22}$$

siendo H la altura de líquido y d_{max} la altura máxima de ola dada por la Ec. (7). La altura Hde líquido se calcula en función del volumen de diseño y del radio *R* como:

$$H = \frac{V}{\pi \mathrm{R}^2} \tag{23}$$

y las restricciones de la Ec. (21) son:

$$\begin{aligned} \sigma_{max} - \frac{M_{max}}{\pi\, R^2\, e} &\leq 0 \\ \tau_{max} - \frac{Q_{max}}{\pi\, R\, e} &\leq 0 \\ \bar{\sigma} - 5 &\leq 0 \\ \frac{\sigma_b}{\sigma_{pr}} - 0{,}19 - 0{,}81\frac{\sigma_d}{\sigma_{pr}} &\leq 0 \end{aligned} \tag{24}$$

El problema de optimización formulado por las ecuaciones anteriores puede ser resuelto por distintos procedimientos numéricos. Los métodos de optimización más comunes se basan en programación lineal secuencial, los cuales consisten en resolver sub-problemas previamente linealizados y, si bien poseen la ventaja de ser simples y fácilmente implementables, carecen de robustez cuando se trata con problemas complejos. En la siguiente sección se presenta el método "Programación Cuadrática Secuencial" empleado en este estudio, con el cual se salvan los inconvenientes anteriormente mencionados.

3.3. Procedimiento de optimización

En general, puede decirse que el problema de optimización presentado en las Ecs. (22) y (24) es un problema de programación no lineal con restricciones. Uno de los métodos de resolución de este tipo de problemas que ha recibido especial atención en los últimos años es el de Programación Cuadrática Secuencial o SQP (Sequential Quadratic Programming) que es un método iterativo de optimización no lineal. Este método requiere que, tanto la función objetivo como las restricciones sean dos veces diferenciables (derivadas continuas), y tiene la ventaja de poder trabajar con funciones implícitas de las variables, dado que la evaluación de derivadas se realiza en forma numérica.

Los métodos SQP resuelven una secuencia de sub-problemas de optimización, cada uno de los cuales optimiza una forma cuadrática de la función objetivo sujeta a una linealización de las restricciones. El esquema más simple de este problema puede verse de la siguiente forma:

- Paso 0: Seleccionar un punto de partida x^o de la función.
- Paso 1: Aproximar el problema con una forma cuadrática de la función objetivo sujeta a una linealización de las restricciones en la x^t.
- Paso 2: Resolver la optimización para d^t.
- Paso 3: Si $d^t = 0$, fin, sino, $x^{t+1}=x^t+ d^t$, incrementar t y volver al paso 1.

Los métodos SQP han sido implementados en muchos programas comerciales, incluyendo NPSOL, NLPQL, OPSYC, OPTIMA, MATLAB, etc. Una explicación completa del método puede encontrarse en los trabajos de [15] o en [16].

4 Resultados

Esta sección ilustra los resultados del proceso de optimización de los tanques de acero de pared delgada cilíndricos sometidos a cargas sísmicas. Varias capacidades de tanques han sido evaluadas, contemplando que la industria local es muy variada. Se han analizado capacidades que van desde 0,5 a 10000 m3.

En la Figura 9 se muestran los valores óptimos de radio interno (*R*), en función del volumen de diseño, mientras que en la Figura 7 se observa la variación de la altura total *L*.

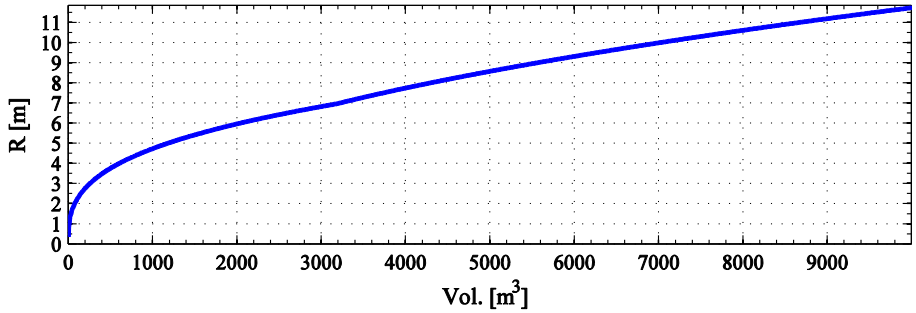


Figura 6: Radio interno óptimo, *R*

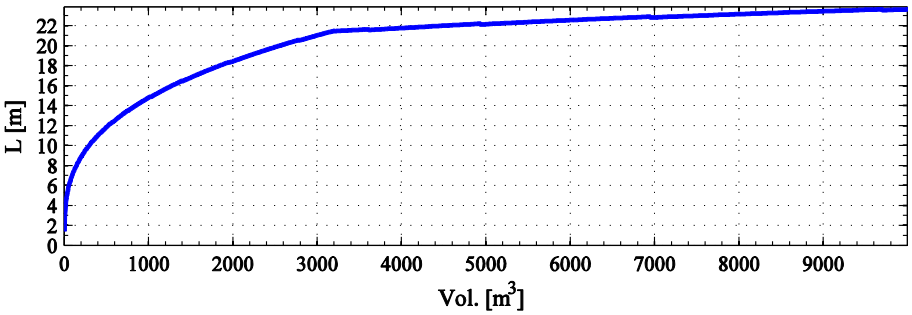


Figura 7: Altura de Tanque, *L*

Como era de esperar, tanto el radio del tanque, *R*, como la altura total *L*, aumentan con el incremento del volumen requerido (capacidad) de tanque.

El espesor óptimo de la cáscara, *e*, se presenta en la Figura 8 para valores crecientes de volúmenes de diseño. Se puede observar que el espesor crece en forma fuerte para los primeros incrementos de volumen, mientras que para valores superiores el crecimiento es más suave.

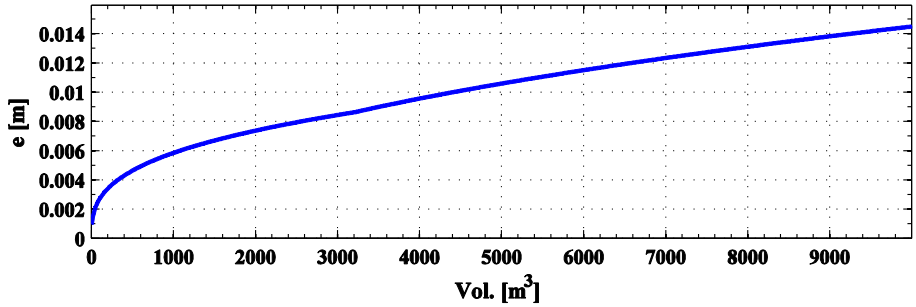


Figura 8: Espesor óptimo de la cáscara, e.

En la Figura 9 se muestra la variación de la relación de aspecto *S* respecto del volumen de diseño. Como se puede observar, para volúmenes de diseño inferiores a 3196 m³, la relación de aspecto que conduce al diseño óptimo según la metodología propuesta es $S = R/H = 3$; mientras que para volúmenes mayores se observa que esa relación disminuye, hasta un valor cercano a 2 para 10000 m³ de volumen de diseño.

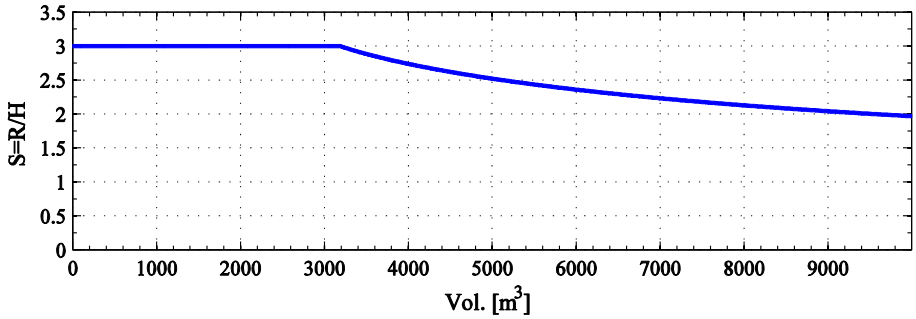


Figura 9: Relación de aspecto (S) óptima

5 Conclusiones

En este trabajo se presenta una metodología sencilla y eficaz, que permite determinar los parámetros óptimos de diseño de tanques de acero cilíndricos de pared delgada contenedores de líquidos, a partir del modelo mecánico equivalente de Malhotra [5]. El procedimiento emplea criterios de resistencia y estabilidad para asegurar la integridad de los tanques bajo cargas sísmicas. Estas cargas se encuentran definidas por el espectro de diseño en los códigos sísmicos, por lo que la respuesta dinámica es obtenida, en este estudio, a partir de análisis modal espectral. El procedimiento propuesto es verificado con varios volúmenes de almacenamiento de líquidos, mostrando la versatilidad de la metodología para trabajar con diferentes capacidades utilizadas en la industria. Se observa que para volúmenes bajos de capacidad, los parámetros de diseño quedan definidos por criterios de estabilidad, mientras que para volúmenes mayores, el criterio que controla es la resistencia. Además se observa, que

para las condiciones estudiadas, es conveniente utilizar la máxima relación de esbeltez permitida por el modelo para demandas de volúmenes bajas.

6 Agradecimientos

Los autores agradecen el soporte económico de CONICET y Universidad Nacional de Cuyo.

7 Referencias

1. Cooper, T. W., y Wachholz, T. P.: Performance of Petroleum Storage Tanks During Earthquakes. J. *ASCE*.(2003).
2. Hansen, W. R.: Effects of the earthquake of March 27, 1964, at Anchorage, Alaska. Reston, VA: U.S.. Geological Survey Professional Paper 542-A. (1965).
3. Steinbrugge KV, Flores RA.: The Chilean earthquakes of May 1960: A structural engineering viewpoint. Bull Seism of America. 53(2):225–307. (1963).
4. Knoy, CE.: Performance of elevated tanks during recent California seismic events. AWWA Annual Conference & Exhibition. (1995).
5. Malhotra, P. K.: Seismic Design of Liquid Storage Tanks. American Society of Civil Engineer. (2006).
6. Sezen, H., Livaoglu, R., & Dogangun, A.: Dynamic analysis and seismic performance evaluation of above-ground liquid-containing tanks. Engineering Structures. 30(3):794-803. (2008).
7. Yazici, G. AND Cili, F.: Evaluation of the liquid storage tank failures in 1999 the Kocaeli earthquake. World Conference on Earthquake Engineering Beijing, China October 12-17. (2008).
8. Housner, G. W.: Earthquake Pressures on Fluid Containers. Eighth Technical Report under Office of Naval Research, Project Designation No. 081- 095, California Institute of Technology, Pasadena, California. (1954).
9. Housner, G. W.: Dynamic Pressures on Accelerated Fluid Containers. Bulletin of the Seismological Society of America. 47:313-346. (1957).
10. Housner, G. W.: The dynamic behavior of water tanks. Bulletin of the Seismological Society of America. 53: 381–387. (1963).
11. Proyecto de Reglamento INPRES – CIRSOC 103 Parte I, Reglamento Argentino para Construcciones Sismorresistentes – Construcciones en General. INTI, Buenos Aires, Argentina. (2008).
12. Haroun, M. A. and Housner, G. W., Seismic Design of Liquid Storage Tanks, Journal of Technical Councils, ASCE, 107:191-207. (1981).
13. Hamdan, F. H.: Seismic behavior of cylindrical steel liquid storage tanks. Journal of Constructional Steel Research. 53:307–333. (2000).
14. Eurocode-8. Design of structures for earthquake resistance, Part 4: Silos, tanks, and pipelines. Final PT Draft. European Committee for Standardization. 2003.
15. Arora JS. Introduction to optimum design, second ed. San Diego: Elsevier Ltd. (2004).
16. Belegundu AD, Chandrupatla TR. Optimization Concepts and Applications in Engineering, second ed. New York: Cambridge University Press. (2011).

Utilización de un Residuo Siderúrgico en Hormigones Confeccionados con Agregados Rodados Locales

Graciela Maldonado[a], Marcelo Guzmán[a], Marcos Oropel[b], Gustavo Castro[b], Graciela Affranchino[c], Alfredo Cueto[a], Carlos Belmar[c], Gerardo González del Solar[a], Federico Petroni[b]

[a] CeReDeTeC, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza. Coronel Rodriguez 273, 5500 Mendoza, Argentina
ngm@frm.utn.edu.ar

[b] Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza. Coronel Rodriguez 273, 5500 Mendoza, Argentina

[c] Departamento de Ingeniería Química, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza. Coronel Rodriguez 273, 5500 Mendoza, Argentina

Resumen. En este trabajo se confeccionan pastas, morteros y hormigones con un residuo molido de una ferroaleación local: siliciuro de calcio. Esta adición se incorpora en distintos porcentajes como reemplazo de cemento y de agregado fino con el objetivo de valorar la actividad puzolánica de los hormigones obtenidos. Se analizan tres proporciones en peso cemento:agregado, 1:3,5: 1:5,5 y 1:6,5 como dosificación de referencia y luego se dosifica con la adición indicada. Se valora el efecto de la adición sobre la consistencia y la resistencia a la compresión a 7, 28, 56, 91 y 180 días. Se comparan los resultados entre pastones de referencia y hormigones adicionados para elegir la combinación más adecuada de adición desde el punto de vista resistente y de durabilidad.

Palabras Clave: Residuo. Sustentabilidad. Durabilidad. Proporcionamiento

1 Introducción

Una alternativa para ayudar a la sustentabilidad ambiental es la reducción del uso de materiales para confeccionar el hormigón, en especial el cemento. Los materiales cementicios suplementarios permiten reemplazar una parte del cemento en una mezcla para hormigón. Muchos de estos materiales provienen de los desechos industriales [1]. La incorporación de estos materiales cementicios suplementarios han actualizado el estudio de los métodos de dosificación de los hormigones estructurales debido al uso de una tercera generación de aditivos conocidos como superplastificantes, con retardadores o con control de fraguado que han vuelto muy interesante y posible el uso de adiciones minerales de distinto origen. También, los conceptos de durabilidad, vida de servicio y medio ambiente sustentable han introducido una nueva generación de códigos [2] y ellos están impactando en la tecnología del hormigón y en la sustentabilidad ambiental cuando se trata de residuos industriales [3]

Las preguntas que se hacen cuando se incorpora un residuo en un material de gran uso como es el hormigón son: ¿se puede incorporar en el hormigón?, ¿se puede incorporar en un hormigón armado?, ¿cómo es su relación con el medio ambiente respecto a la disminución de residuos sólidos?, ¿en qué cantidad se podría incorporar en el proporcionamiento de las mezclas?, ¿cómo se aplicaría la normativa en estos casos?

En este trabajo se analiza el comportamiento de pastas, morteros y hormigones confeccionados con cemento Pórtland puzolánico y una adición originada de residuos de ferroaleaciones de la industria local: siliciuro de calcio, molido finamente molidos y con distintos niveles de reemplazo.

2 Programa experimental

Se evalúa la incorporación de una adición no normalizada como es este caso, donde se debe demostrar mediante ensayos de laboratorio que el empleo beneficia las características deseadas del hormigón y que no produce reacciones desfavorables, no altera la protección de las armaduras y no afecta la estabilidad volumétrica del hormigón endurecido [2]. Para orientar en el porcentaje más conveniente a utilizar como reemplazo de cemento y de agregado fino, en trabajos anteriores [4], [5] se realizaron estudios en pastas y morteros, lo cual ha permitido establecer los porcentajes de reemplazo a utilizar en los hormigones.

3 Materiales utilizados

Los agregados gruesos (AG) utilizados son gravas rodadas de origen basáltico y granítico, de densidad 2640 kg/m3, tamaño máximo de 19,5 mm y un módulo de finura de 6,80.

El agregado fino (AF) es una arena de río rodada lavada con una densidad de 2570 kg/m3, absorción de agua de 2,67 % y un módulo de finura de 3,1.

Se usa un cemento Portland puzolánico CPP40 que cumple la norma IRAM 50001.

El desecho industrial se origina en la ignición del horno de sílice y calcio, que genera como materia prima siliciuro de calcio (SC). El desecho de producción es mantenido en pilas al aire libre sin destino de uso.

La Tabla 1 presenta la composición química de los materiales cementicios empleados. Los valores de las características químicas del residuo no permiten identificar el material ni como escoria granulada de alto horno según norma IRAM 1667 ni como humo de sílice con norma internacional ACI 234R [6]. El ensayo de difracción por rayos X sirve para identificar distintas fases del siliciuro de calcio como se presenta en la Figura 1.

Para confeccionar morteros y hormigones se utilizaron aditivos: un plastificante de uso general (P) y un superplastificante reductor de alto rango (S).

Tabla 1. Características físicas y composición química de los materiales cementantes utilizados.

Item	Cemento Portland Puzolánico (CPP)	Siliciuro de calico (SC)
Norma	IRAM 50000-50001	No hay
Área específica m^2/kg	310	200
Densidad kg/m^3	2950	2480
SiO_2 %	28,4	56,2
Fe_2O_3 %	4,90	0,33
Al_2O_3 %	4,23	0,71
CaO %	54,6	21,1
MgO %	1,04	5,86
Na_2O %	0,48	1,16
K_2O %	0,59	3,32
SO_3 %	3,50	0,80
Coeficiente de puzolanidad	0,68	--
Pérdida por ignición %	1,53	6,01

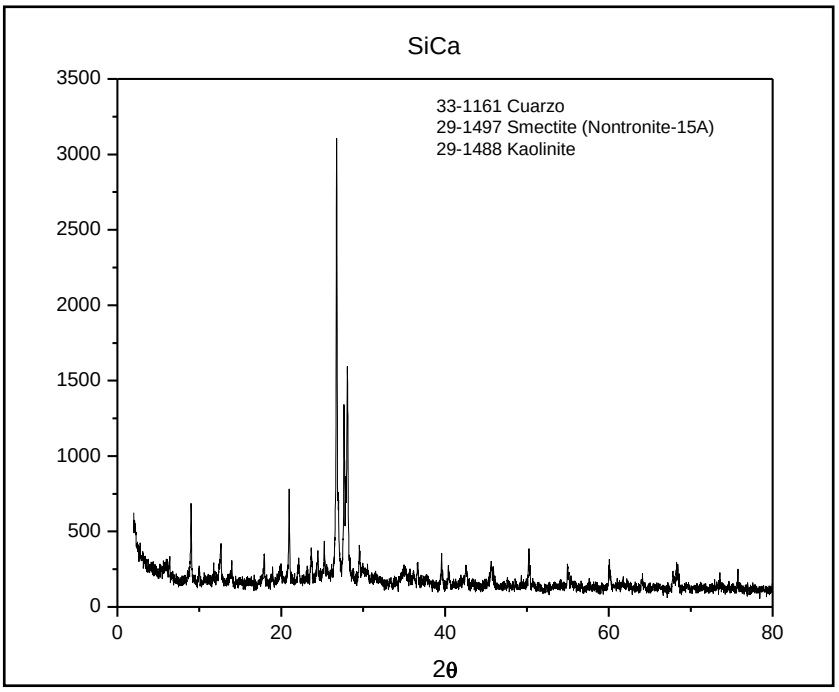


Fig. 1. Difactogramas del siliciuro de calcio (SC)

4 Estudios sobre pastas y morteros

En pastas se evalúan los siguientes porcentajes de adiciones: 2, 5, 7 y 10 % en peso de reemplazo de cemento y tres razones agua/material cementante: 0.40, 0.45 y 0.50. El comportamiento de la fluidez de la pasta se estudia mediante el método del ensayo del minicono de Kantro (5), evaluando la superficie extendida. En la Figura 2 se presentan los resultados de la superficie extendida para las distintas razones a/mc y niveles de reemplazo.

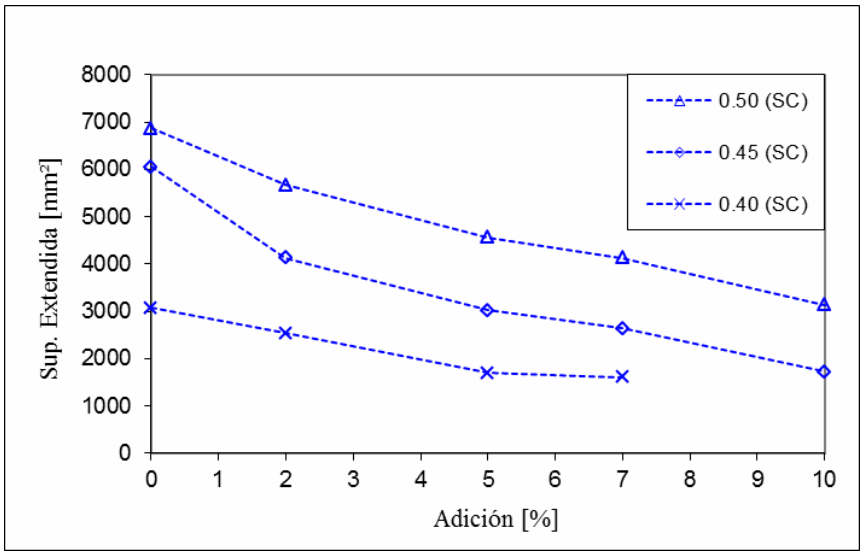


Fig. 2. Resultados del ensayo de extendido en pasta para distintos niveles de reemplazos y distintas razones a/mc.

El porcentaje de aditivos utilizados se estableció mediante el ensayo del minicono de Kantro, buscando la combinación más económica entre plastificantes (P) y superplastificantes (S) en condiciones de laboratorio mediante para tres niveles de reemplazo de cemento (2, 5 y 7 % de residuo respecto al peso del cemento) para una razón a/c=0,40. Las dosis utilizadas fueron 0.35% para plastificante (A1) y 0.35% de plastificante + 0,60% de superplastificante (A2) y 0.35% de plastificante + 1,0% de superplastificante (A3), referidas al peso del cemento. La Figura 3 presenta los resultados de la superficie extendida en pasta cuando se usan aditivos.

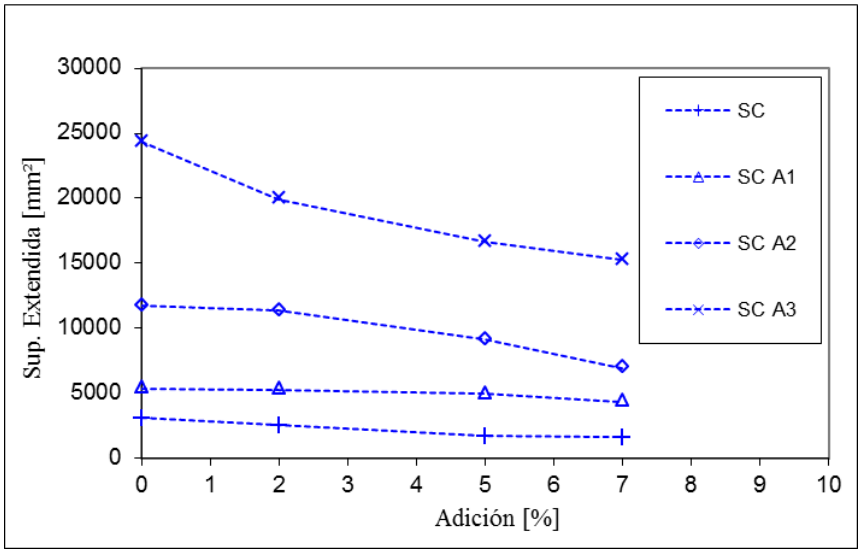


Fig. 3. Resultados del ensayo de extendido en pasta para distintos niveles de reemplazos y distintas combinaciones de aditivos para a/mc=0.40

Se confeccionaron todos los morteros con una relación a/mc =0.50 y se eligieron distintos niveles de reemplazo: 5,10 y 20% de cemento y de agregado fino. Se evaluó la consistencia del mortero mediante el método de escurrimiento (IRAM 1570) para morteros en estado fresco y para el estado endurecido se evaluó la resistencia mecánica a flexión y a compresión en probetas prismáticas de 40x40x160mm curadas en condiciones normalizadas y ensayadas a 28 días. En la Tabla 2 se presentan los resultados de los ensayos de consistencia y de resistencia mecánica en morteros para los distintos niveles de reemplazo.

La Figura 4 presenta los resultados de la evaluación de la consistencia para distintos niveles de reemplazo. La Figura 5 presenta los resultados de los ensayos de resistencia a flexión y compresión a 28 días para los distintos niveles de reemplazo estudiados respectivamente.

Tabla 2. Resultados de ensayos de consistencia y resistencia en morteros

Mortero	ø molde [mm]	Ø extendido	Consistencia [%]	Resistencia a flexión [MPa]	Resistencia a compresión
CPP	70,0	80,0	14,29	8,2	37,8
SC05C	70,0	76,7	9,57	11,0	50,2
SC10C	70,0	73,3	4,71	11,7	49,6
SC20C	70,0	72,0	2,86	13,9	52,3
SC05F	70,0	80,0	14,29	9,4	57,7
SC10F	70,0	80,0	14,29	10,3	80,2
SC20F	70,0	74,5	6,43	6,5	79,6

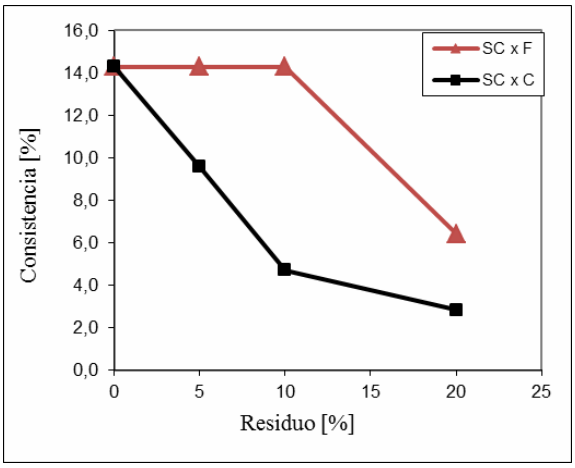


Fig. 4. Resultados de consistencia según IRAM 1570 para distintos niveles de reemplazo de cemento y fino

Se observa para el estado fresco de morteros, que para el uso de residuo en reemplazo de agregado fino, la consistencia disminuye conforme aumenta el porcentaje de adición incorporada. Para el caso de residuo de siliciuro de calcio, la consistencia se ve modificada cuando se trata de valores de reemplazo mayores al 10%. Cuando se trata del uso de residuo en reemplazo de cemento, se observa una pérdida aproximadamente uniforme de la consistencia a medida que aumenta el porcentaje de adición (Figura 4).

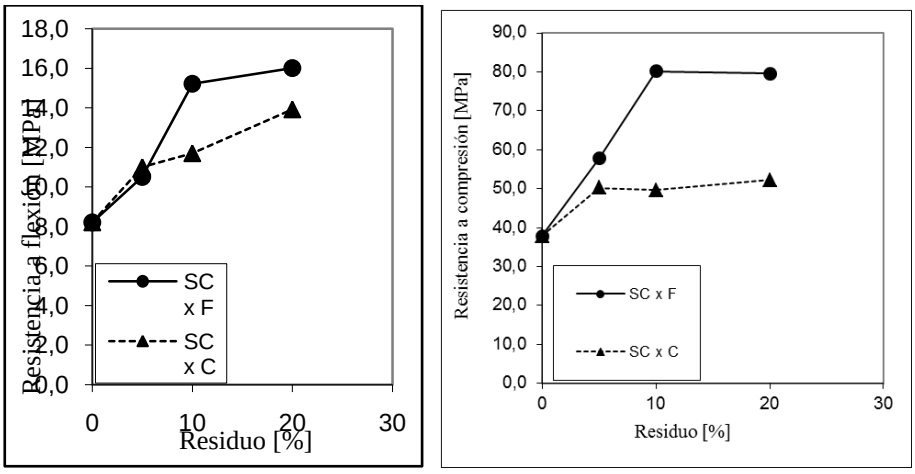


Fig. 5. Resultados de la resistencia a la flexión a 28 días para distintos niveles de reemplazo (izquierda) y Resultados de la resistencia a compresión a 28 días para distintos niveles de reemplazo (derecha)

Los resultados obtenidos de la resistencia mecánica en morteros indican que la utilización del residuo en reemplazo de agregado fino condujo a mayores niveles de resistencia que cuando se utilizó como reemplazo de cemento. La resistencia a compresión aumenta conforme aumenta el porcentaje de residuo adicionado. Para el nivel de reemplazo correspondiente al 5% se observa para ambos casos de uso, reemplazo de agregado fino y reemplazo de cemento, que la resistencia resulta ser del mismo orden. Se destaca que para el reemplazo correspondiente al 20%, la compactación mecánica utilizada para las probetas de acuerdo a norma no condujo a una adecuada compactación de las mismas presentándose algunas oquedades. Lo mismo se observa para la resistencia a la flexión (Figura 5 a).

5 Estudio sobre hormigones

En función de los resultados de morteros y pastas de trabajos anteriores [4], [5], se elige para la confección de hormigones adicionados, el 5% en peso de reemplazo de cemento y el 10% en peso de reemplazo del agregado fino.

Se usan tres valores de la relación en peso de masa seca de agregado/masa de material cementicio (m), para cada familia de hormigón: 3,5/1, 5,5/1 y 6,5/1 para confeccionar el nomograma de diseño de mezcla [7].

Las proporciones ensayadas y los resultados del asentamiento del cono de Abrams medidos en estado fresco se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Proporciones de los materiales utilizados para hormigones y resultados del estado fresco.

Mezcla	CPP [kg]	C	a/mc	AF	AG	SC	% aditivo	Asentamiento [mm]	
								Sin aditivo	Con aditivo
R-3.5	488	1	0.42	1.4	2.1	0	0	40	-
R-5.5	338	1	0.61	2.2	3.3	0	0	120	-
R-6.5	293	1	0.70	2.6	3.9	0	0	190	-
SC05C-3.5	464	0.95	0.44	1.4	2.1	0.05	0.34	20	40
SC05C-5.5	321	0.95	0.64	2.2	3.3	0.05	0.48	35	115
SC05C-6.5	278	0.95	0.74	2.6	3.9	0.05	0.48	75	190
SC10F-3.5	488	0.86	0.42	1.4	2.1	0.14	0.64	0	40
SC10F-5.5	398	0.78	0.61	2.2	3.3	0.22	1.45	10	135
SC10F-6.5	293	0.74	0.70	2.6	3.9	0.26	1.37	25	170

El orden de incorporación de los materiales en la mezcladora es: 80% del agua, agregado grueso, cemento, agregado fino y finalmente el agua restante para las mezclas (R) y para las mezclas con la adición, el siliciuro de calcio fue mezclado con

el agregado fino. Una vez que los materiales están en la mezcladora, el tiempo de mezclado se mantiene entre 7 a 10 minutos. El aditivo superplastificante, dosificado en % del peso de cemento, se agregó luego de medido el asentamiento sin aditivo.

Se confeccionaron 20 probetas de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura para los ensayos del hormigón en estado endurecido de acuerdo a normas IRAM. El curado se realizó en agua saturada de cal y temperatura de laboratorio hasta las fechas de los ensayos.

5.1 Resultados de los ensayos en hormigón

El método de dosificación elegido, IPT [1] permite representar los distintos aspectos evaluados en el comportamiento del hormigón. La Figura 2 corresponde al nomograma con las proporciones ensayadas para cemento pórtland puzolánico, donde se representan los cuadrantes correspondientes a la resistencia a compresión, la trabajabilidad, la cantidad de material cementicio y la durabilidad evaluada mediante la succión capilar para la edad de 28 días [8].

Evaluando la trabajabilidad del hormigón fresco, se observa que el residuo industrial local molido actúa como agregado fino modificando la trabajabilidad como se detecta en morteros [5] y se observa en los hormigones (Tabla 3 y Figura 6).

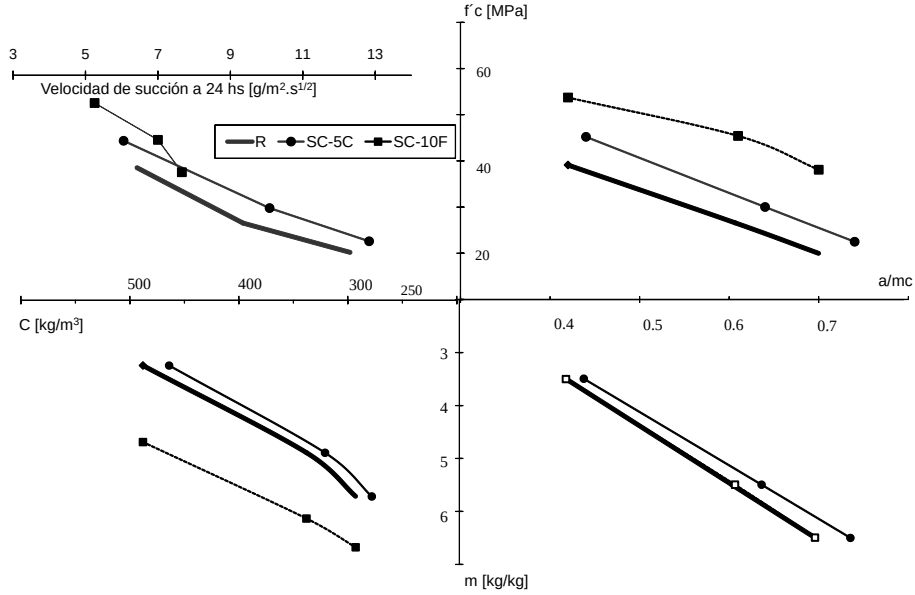


Fig. 6. Nomograma de proporcionamiento de mezclas a 28 días.

Los resultados de las propiedades del hormigón endurecido se presentan en la Tabla 3. El valor de la resistencia a compresión representa el resultado del promedio de tres ensayos a la misma edad ejecutados en las probetas cilíndricas. El ajuste

estadístico de los resultados obtenidos confirma que la resistencia a la compresión verifica la Ley de Abrams para cada familia de hormigones (Figura 6).

Para identificar el comportamiento del residuo se realiza el ensayo de succión capilar según norma IRAM 1871 a través del incremento del peso de la probeta por absorción capilar del agua [6]. La capacidad de succión obtenida se presenta en la Tabla 4.

Tabla 4. Resultados de la resistencia a compresión y succión en hormigón endurecido.

Mezcla	f´c 7	f´c 28	f´c 56	f`c 91	f´c 180	Succión a 24 h ($g/m2\ s^{1/2}$)
	(MPa)					
R-3.5	31,5	39,1	41,0	42,9	49,9	6,42
R-5.5	17,3	26,6	29,3	30,4	32,3	9,35
R-6.5	14,1	20,0	23,3	25,6	25.8	12,30
SC05C-3.5	33,2	45,2	48,8	52,0	55,0	6,05
SC05C-5.5	19,1	30,0	35,2	33,9	37,9	10,08
SC05C-6.5	11,9	22,5	26,6	26,4	31,2	12,83
SC10F-3.5	35,8	53,7	58,9	58,7	59,7	5,25
SC10F-5.5	24,8	45,4	48,1	48,9	48,5	7,00
SC10F-6.5	18,7	38,1	41,4	39,1	43,5	7,66

Se verifica la ganancia de resistencia a compresión en el largo plazo (180 días) cuando se usa el 5% de siliciuro de calcio en reemplazo de cemento con las tres proporciones estudiadas, así como también cuando se usa el 10% de adición como reemplazo de agregado fino (Figura 7).

Los efectos de los reemplazos de la adición estudiada en la resistencia a compresión se observan de forma más significativa a partir de los 28 días, superando siempre los niveles alcanzados por el hormigón de referencia y ganando más resistencia para aquellas mezclas más ricas en cemento (Tabla 4, Figura 7).

El ensayo de succión capilar indica que el residuo industrial utilizado no alcanza el límite normativo de nivel de impermeabilidad establecido, el cual corresponde a un valor menor a 4 $g/m^2s^{1/2}$ para probetas secadas a 50º C para requerimientos de penetración de agua (Figura 2), pero la capacidad de succión de las mezclas con residuo es menor que las de las mezclas de referencia, por lo tanto el ensayo de succión capilar indica que el proporcionamiento de los materiales y el nivel de reemplazo de la adición influyen en el resultado (Figura 8).

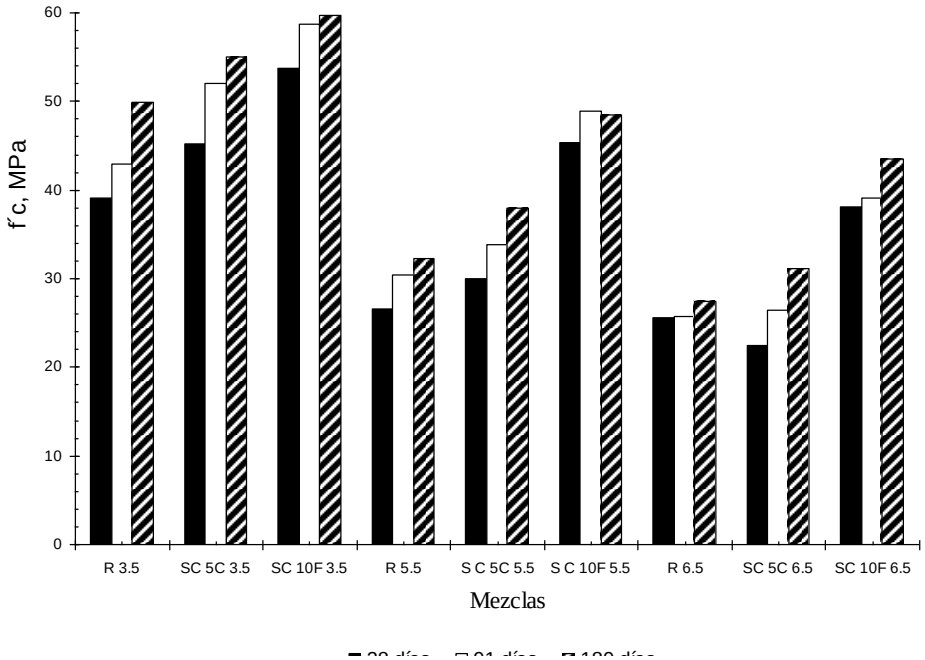


Fig. 7. Variación de la resistencia a compresión del hormigón en el tiempo para reemplazo de cemento y agregado fino.

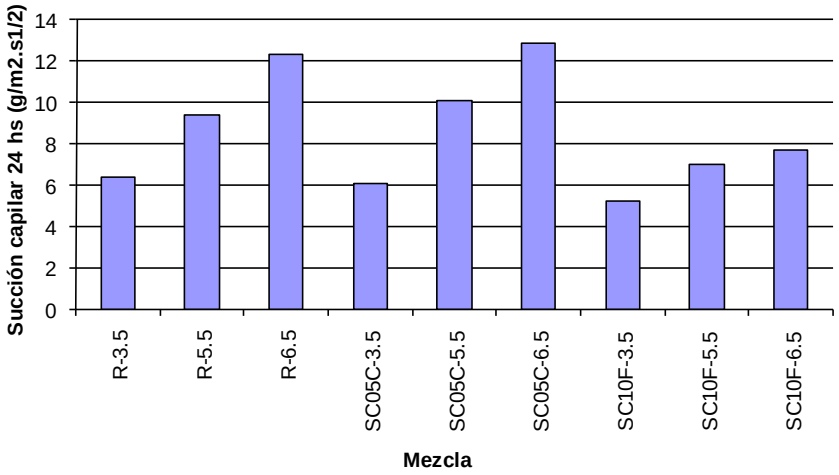


Fig. 8. Resultados de la succión capilar a 24 hs para las mezclas estudiadas.

El máximo valor de succión capilar a 24 horas observado, corresponde a la mezcla pobre (1:6,5) con un 5% de reemplazo de cemento por siliciuro de calcio. Para las

mezclas más ricas (1:3,5) el valor de succión capilar a 24 hs de las mezclas adicionadas es igual o menor al de los hormigones de referencia (Figura 8).

Respecto a la reacción álcali-agregado que se puede presentar bajo determinadas condiciones ambientales, una evaluación de la aplicación de la norma canadiense CSA A 23.2-27A [9] estaría indicado para un nivel de reactividad leve (Tabla 5) para la mezcla más pobre con reemplazo de cemento (3 kg de Na_2O_{eq}/m^3), lo que amerita seguir estudiando la problemática con los agregados locales y las mezclas restantes.

Tabla 5. Contenido de álcalis de los hormigones estudiados según norma CAS A 23.2-27 A expresados en kg de Na_2O_{eq}/m^3

m	Mezclas de referencia	Reemplazo de cemento	Reemplazo de fino
3.5	4,22	4,77	6,35
5.5	2,92	3,30	5,24
6.5	2,53	2,83	4,90

6 Conclusiones

-El uso del nomograma de diseño de mezclas permite a los investigadores hacer una correcta y adecuada comparación entre diferentes familias de hormigones, adoptando el nivel de resistencia de diseño requerido por los códigos. Muestra los resultados de una familia de hormigones donde los cambios in situ pueden ser fácilmente realizados en forma segura.

-Los niveles de resistencia alcanzados por los hormigones elaborados con las distintas mezclas en estudio indican que el residuo permiten alcanzar los niveles de máxima resistencia reglamentaria para Mendoza con agregados naturales rodados y cementos de producción local.

-Los resultados obtenidos de la resistencia a compresión de los hormigones elaborados con distintos niveles de reemplazo de siliciuro de calcio indican que el residuo finamente molido y en las cantidades de 5% de reemplazo en peso de cemento y 10% de reemplazo en peso de agregado fino presentan una acción comparable con la acción puzolánica por la ganancia de resistencia a compresión en el tiempo.

-Los análisis de difracción por rayos X son importantes para revisar el estado vítreo del residuo porque sus características hidráulicas se relacionan con él. En este caso, en el siliciuro de calcio no se detecta una reacción puzolánica rápida entre 7 y 28 días, pero sí el efecto de relleno, con lo cual se mejoran los niveles de permeabilidad. Es importante mantener controlada la cantidad de sulfato de calcio generado durante el proceso de producción debido a las incompatibilidades que pueden causar entre aditivos y material cementante.

-Los niveles de reemplazo empleados no son suficientes para obtener un hormigón de elevada impermeabilidad de acuerdo a los requerimientos reglamentarios, pero los valores obtenidos de la capacidad de succión capilar indican que son menores a los alcanzados por el hormigón patrón o de referencia, por lo que su incorporación puede considerarse beneficiosa a los fines de mejorar la impermeabilidad.

-La incorporación del residuo de industria local molido no ha obtenido un mejor rendimiento respecto a los costos de materiales, ya que requiere un aumento en la dosis de aditivos respecto al hormigón patrón, de ahí la importancia de la evaluación de pastas y morteros para ajustar la dosis más adecuada a incorporar.

-El residuo de industria local molido solo puede ser incorporado en hormigones que estén expuestos a condiciones sin aportes de agua, humedad y armadura debido a que el contenido de álcalis requiere de otros estudios complementarios para asegurar la vida útil por durabilidad.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Proyecto de Investigación PICT2010/21 Hormigones sustentables: adición de un residuo industrial local y su efecto en las propiedades fisico-químicas y mecánicas de la Facultad Regional Mendoza Universidad Tecnológica Nacional, CeReDeTeC y Globe Metales S.A.

Referencias

1. Maldonado N.G. & Helene P.: The importance of mixture proportioning in sustainable construction. Sustainable Construction Materials and Technologies. pp. 223 a 230. Editores: Y-M.Chun, P.Claisse, T.R. Naik & E. Ganjian- Taylor & Francis (2007)
2. CIRSOC 201. Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón. Buenos Aires, Argentina, INTI. (2005).
3. Levy S. y Helene P.: Durability of recycled aggregates concrete: a safe way to sustainable development. Cement and Concrete Research 34, pp. 1975-1980. (2004).
4. Sillero, Y., Murillo, M. y Yaser, M.: Efecto de la adición de un residuote la industria de las ferroaleaciones sobre la fluidez de la pasta cementicia. 12º Jornada de Estudiantes Investigadores, 5,6 y 7 de setiembre 2012, Rosario, Argentina. (2012).
5. Guzmán, A., Maldonado, N., Murillo, M., Yaser, M., Sillero, Y., Cueto, A., Acosta, S., Dagne, C. y Oropel, M.: Efecto de la adición de un residuo industrial sobre morteros cementicios elaborados con agregados locales. V Encuentro de Investigadores y Docentes de Ingeniería, 12,13 y 14 de noviembre, San Rafael, Mendoza, Argentina. (2009).
6. ACI 234.R.-00. Guide for the use of silica fume in concrete. ACI Committee 234. Farmington Hills, MI, USA: American Concrete Institute) p. 51. (2000).
7. Maldonado N.G. & Helene P. Dosificación de hormigones de altas prestaciones con diferentes métodos para agregados rodados. Desarrollos e Investigaciones Científico-Tecnológicos en Ingenierías, Rivera y McLeod (Edit) pp. 49 a 58. (2005).
8. Maldonado N.G. & Helene P.¿Hay diferencias entre métodos de dosificar hormigones de alta performance para evaluar durabilidad?", A. A. Di Maio (ed.), Structural concrete and time; Proc. of the fib Symposium, La Plata, Argentina, 28-30 sept., 2005. V. 1: pp.163 a 170. (2005).
9. Milanesi C., Pappalardo M., Violini D. Consideraciones sobre la aplicación del criterio canadiense para inhibir la reacción álcali-sílice. Los áridos como factor de desarrollo. Tomo I. pp. 475-481 (2008).

Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica de la Ciudad de Mendoza Mediante un Software Específico

Walter Javier Doña[a], Carina Graciela Silva[a], Gabriel Macaluzzo[a]

[a] Universidad Tecnologica Nacional, Facultad Regional Mendoza, Rodirguez 273, Mendoza, Argentina
waljado@hotmail.com, carina_gs@yahoo.com.ar

Resumen. El presente trabajo fue desarrollado por los alumnos de la Universidad Tecnológica Nacional-Facultad Regional Mendoza como Proyecto Integrador de la carrera de Ingeniería Civil. La provincia de Mendoza junto con la provincia de San Juan se encuentran situadas en la zona de mayor actividad sísmica del país, tienen un largo historial en la ocurrencia de este tipo de eventos. Después de evaluar distintas opciones de software disponibles para estimar la vulnerabilidad de la Ciudad de Mendoza se decidió por el programa RADIUS 99, el cual ha sido diseñado de manera simple para ser útil en el mayor número de casos posibles y requerir datos de entradas factibles de conseguir. Esta herramienta requiere solamente información demográfica básica, un inventario de las edificaciones presentes, las condiciones locales del suelo y un escenario sísmico como datos de entrada, para generar resultados que son muy interesantes usando una simple computadora personal.

Palabras Clave: Vulnerabilidad Sísmica, Terremotos, RADIUS 99.

1 Introducción.

En 1.996 la Secretaría del Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales, dependiente de las Naciones Unidas, puso en marcha la iniciativa RADIUS 99, (Risk Assessment Tools for Diagnosis of Urban Areas Against Seismics Disasters), Mecanismos de evaluación y diagnóstico de los riegos de desastre sísmico en zonas urbanas, con el apoyo financiero y tecnológico del gobierno de Japón [1].

La meta principal de esta iniciativa es ayudar a que las personas tomen conciencia del riesgo sísmico, creando conocimiento público de este riesgo como el primer paso para reducir las consecuencias de los terremotos.

Los objetivos del proyecto RADIUS 99 son los siguientes:

- Desarrollar escenarios de daños por sismos y crear planes de acción.
- Elaborar herramientas prácticas para el manejo del riesgo sísmico.
- Poder hacer comparaciones entre los diferentes casos de estudio para lograr un mejor entendimiento del riesgo sísmico.
- Promover el intercambio de información a nivel internacional.

Los resultados de la aplicación de estas herramientas serán de suma utilidad para los tomadores de decisiones y organismos de gobierno responsables de implementar y dirigir los planes de acción en caso de desastre sísmico, a fin de:

- Decidir las prioridades de planeamiento urbano, uso del suelo y regulaciones sobre las edificaciones.
- Elaborar planes para las construcciones existentes que sean vulnerables, prestando especial atención a los edificios claves, como escuelas y hospitales.
- Preparar la infraestructura de servicios y comunicaciones para que pueda soportar mejor los sismos o que pueda ser reparada con rapidez, trazar vías de acceso despejadas a los puntos críticos en cuanto a su vulnerabilidad.
- Alistar a los ciudadanos para enfrentar las actividades de emergencia, tales como salvataje de personas, lucha contra incendios, y transportes de emergencia.
- Se pondría en valor la vulnerabilidad de la zona en la que viven.
- Aprenderán cómo comportarse durante un terremoto.
- Participarán en la preparación de los planes de prevención y manejo de desastres.

2 RADIUS 99.

RADIUS 99 es una macro tipo Raster que funciona bajo el software Excel, transformando cada celda de este programa en un pixel de información que contendrá valores en distintas capas. El espacio geográfico es dividido en sectores de forma regular denominado comúnmente píxel. De esta forma se establece una malla coordenada de píxeles, (con el origen en la esquina superior izquierda), en la que cada píxel va a tomar el valor de la información geográfica que se encuentre en la posición del píxel (Figura 1).

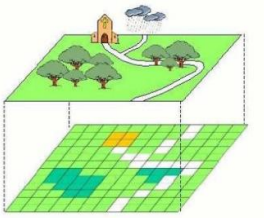


Fig. 1. Ejemplo de modelo Raster, en el que cada pixel toma valores de información geográfica.

La resolución espacial, es decir, el tamaño del píxel, va a marcar la precisión de la información recogida. Cuanto más pequeño sea el tamaño del píxel, más precisa será la representación de la información. En cuanto a la forma de almacenamiento de la información Raster, se basa en almacenar los valores asociados a la posición de cada píxel en distintas capas.

Los datos de entrada que se necesitan son:

- La forma del área de estudio ingresada como una grilla.
- La población y su distribución.
- Un inventario de los edificios y su distribución.
- Las características del suelo.
- Información del tendido de líneas de servicios.
- Elección de un terremoto escenario para la estimación.

Los resultados pueden mostrar:

- La distribución de la intensidad sísmica.
- Estimación de los daños a los edificios.
- Estimación del número de muertos y heridos.
- Estimación de los daños a las líneas vitales.

2.1 Definición de la región objetivo.

La región objetivo se introduce como una cuadrícula dentro del programa, lo que se hace es superponer sobre esta cuadricula el contorno de la región objetivo, y luego se define la región siguiendo ese contorno, lo que deja definida la grilla principal, para la introducción de datos.

Esta grilla principal puede tener a su vez sub-divisiones, las que serán muy útiles para poder trabajar por zonas más pequeñas y manejables. En el presente trabajo se eligió elegir como sub-divisiones las divisiones políticas del Departamento Capital.

Se procedió a modelar la ciudad de Mendoza, departamento de Capital, utilizando una escala de pixel de 100 metros x 100 metros, para lo cual se utilizaron un total de 2.356 clústeres o pixeles, que representan un área de 23,56 km² (Figura 2).

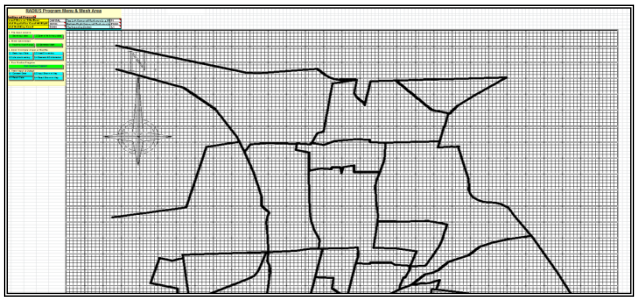


Fig. 2. Ejemplo de modelo RADIUS 99, donde se puede apreciar la cuadricula dentro del programa y el contorno de la región objetivo.

Para que RADIUS 99 pueda reconocer la forma del área objetivo, marcamos en cada celda contenida dentro del departamento Capital el valor de “x”, utilizando como limites el contorno de una figura exportada a Excel (Figura 3).

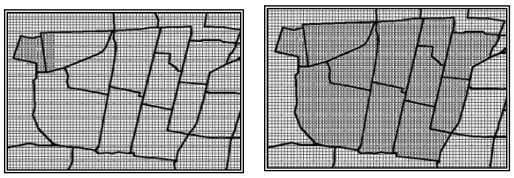


Fig. 3. Ejemplo de carga en RADIUS 99, donde se puede apreciar cómo se definiendo la región objetivo.

RADIUS 99 efectuará un barrido de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha asignando a cada valor de x un número creciente quedando definida de esta manera el área objetivo y la grilla principal de introducción de datos. En este caso de 1 a 2.356 (Mesh ID). Los valores de Área ID, Área Name, Mesh Weight y Local Soil Type serán llenados por el usuario en correspondencia a los valores geográficos que le correspondan a cada pixel (Figura 4).

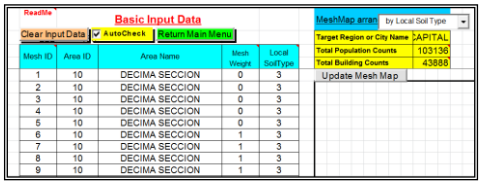


Fig. 4. Ejemplo de grilla principal en RADIUS 99, donde se efectúa la carga de Área ID (valor numérico para subdividir la región objetivo), Área ID (valor alfabético para subdividir la región objetivo), Mesh Weight (Peso de Malla, valor que depende de datos de población y densidad de edificios en referencia a cada pixel) y Local SoilType (Condiciones locales de suelos, valor que depende del tipo de suelo en referencia a cada pixel).

2.2 Mesh Weight-Peso de Malla.

El "peso de la malla", es una variable que involucra los datos de población y de construcciones. Esta variable se introduce en forma numérica en la grilla principal (valores de 0 a 4, siendo 0 valor de peso de malla nulo y 4 peso de malla muy alto).

Con respecto a la población fueron utilizados los datos del censo 2001 que dividía la ciudad en fracciones y radios censales de población, estando estos últimos comúnmente compuestos por más de una manzana. El procesamiento de los datos de población parte de tomar esos datos de habitantes por fracción y radio y convertirlos en habitantes por manzana. Para esto lo que se hizo fue repartir en forma homogénea los habitantes de cada radio entre las manzanas que lo componen. Pero deben tenerse en cuenta algunos detalles para su análisis posterior:

- No se colocaron habitantes en manzanas que están destinadas a espacios verdes.
- En edificios que tienen actividad discontinua, como los comercios y escuelas, no se han tenido en cuenta la cantidad de ocupantes en horas de uso, lo que obligaría a hacer un relevamiento en la dirección de escuelas, en

los ministerios involucrados en cada caso, etc., dándose el mismo caso en los hospitales, pudiendo ser una tarea para un trabajo posterior más detallado.

Con esta redistribución de los datos de población se elaboró un mapa del área objetivo de densidad de población pero a nivel de manzanas, asignándole un valor numérico a cada grado de densidad de población.

Para representar a la densidad de edificaciones, se aplicó el siguiente criterio: en una tabla de Excel se cargaron las áreas de cada manzana, y basándose en datos catastrales y los metros cuadrados construidos sobre esta, se hizo la división del total de metros construidos por manzana sobre el área de ésta, obteniéndose así la densidad de edificios por manzana.

Combinando los datos poblacionales y los datos de densidad de edificaciones se obtuvo un plano de peso de malla que se utilizó para cargarse en RADIUS 99 (Figura 5).

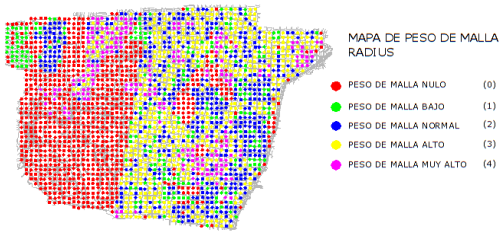


Fig. 5. Plano de peso de Malla, en este se puede observar que las zonas más densamente construidas son las del microcentro, y a medida que nos alejamos de este hacia las zonas residenciales, las densidades van decreciendo, salvo en algunos puntos en donde aparecen complejos de edificios como los de calle Pellegrini y Mitre.

2.3 Tipo de Construcciones.

El programa RADIUS 99 requiere entre otros datos de carga, la cuantificación de las construcciones en la zona de estudio según su tipología, antigüedad, destino y niveles en altura, este tipo de información estará referenciada a las sub-divisiones del área objetivos. El programa cuenta con una clasificación predefinida de 10 construcciones tipo, para poder contabilizar las construcciones en nuestra zona de estudio, previamente analizamos cómo ajustar nuestra información a esta clasificación.

El grupo de trabajo contaba con una base de datos en la cual se detallan todas las parcelas en que se encuentra dividida la Capital de Mendoza. En cada una de estas parcelas se detalla su superficie, su ubicación y destino. Además, si en estas parcelas existían construcciones, el año de estas últimas, categorías y tipologías de las mismas, superficies cubiertas, ubicación y destino.

Si comparamos la clasificación utilizada por RADIUS 99 en cuanto a tipología y categoría de construcción con la que contamos en nuestra base de datos, ésta última es mucho más amplia que la del programa.

A la clasificación detallada en la base de datos catastrales hubo que simplificarla para poderla adaptar a la clasificación de RADIUS 99 (Tabla 1.) y posteriormente se calcularon los porcentajes de cada tipología estructural de RADIUS 99 por subdivisión del área objetivo (Tabla 2.).

Tabla 1. Tabla de transformación de criterios para simplificar la base catastral.

RADIUS 99		CONVERSION A RADIUS 99
CLASIF	**DESCRIPCIÓN**	
RES1	Construcción informal	Construcción de adobe Construcción de ladrillo y estado regular/malo
RES2	URM-RC construcción compuesta: construcción substandard que no cumple con los reglamentos locales. Altura no mayor a 3 pisos. Compuesto de concreto reforzado y ladrillo no reforzado.	Construcción de ladrillo Construcciones anteriores al año 1970 Construcciones con no más de 3 niveles Categoría estándar
RES3	URM-RC construcción compuesta: vieja, deteriorada, que no cumple con reglamentos vigentes de edificaciones. Alturas de 4 a 6 pisos	Construcciones de ladrillo y construidas antes del año 1970 Construcciones con más de 3 niveles Categoría estándar
RES4	Construcción de concreto reforzado e ingeniería: construcción nueva, edificios de pisos múltiples para residencias o comercios	Construcciones de ladrillo y construidas a partir del año 1970 Categorías estándar y muy buena
EDU1	Edificaciones escolares de hasta 2 pisos	Edificaciones escolares de no más de 2 pisos Construidas después del año 1987
EDU2	Edificaciones escolares de más de 2 pisos: edificios de oficinas pueden ser incluidas.	Edificaciones escolares de más de 2 pisos: edificios de oficinas pueden ser incluidas. Construidas después del año 1987
MED1	Hospitales de baja o mediana altura	Hospitales de baja o mediana altura
MED2	Hospitales de altura grande (más de 4 pisos).	Hospitales de altura grande (más de 4 pisos).
COM	Centros comerciales	Comercio
IND	Edificaciones industriales: de baja y gran altura	Edificaciones industriales: de baja y gran altura

Tabla 2. Tabla resumen en porcentajes de las tipologías estructurales de RADIUS 99 por subdivisión del área objetivo.

SECCION / CLASIF	RES1	RES2	RES3	RES4	EDU1	EDU2	MED1	MED2	COM	IND
PRIMERA	9%	26%	6%	45%	0%	1%	0%	0%	12%	1%
SEGUNDA	5%	22%	9%	48%	0%	10%	1%	0%	5%	0%
TERCERA	10%	25%	11%	38%	0%	4%	1%	2%	9%	0%
CUARTA OESTE	23%	25%	0%	45%	0%	1%	0%	0%	3%	3%
CUARTA ESTE	32%	26%	0%	34%	0%	1%	1%	0%	5%	1%
QUINTA	13%	32%	0%	50%	0%	3%	0%	0%	2%	0%
SEXTA	16%	39%	0%	38%	0%	1%	1%	0%	1%	4%
SEPTIMA	3%	31%	0%	16%	0%	44%	6%	0%	0%	0%
OCTAVA	18%	10%	0%	68%	0%	4%	0%	0%	0%	0%
NOVENA	3%	5%	0%	3%	3%	79%	7%	0%	0%	0%
DECIMA	16%	1%	0%	70%	4%	9%	0%	0%	0%	0%

Se contabilizacion un total de 43.888 edificaciones en el area objetivo.

2.4 Datos de los tipos de suelos.

Los datos de los tipos de suelos de la ciudad de Mendoza fueron obtenidos del CEREDETEC de la Universidad Tecnológica Nacional. Además se usó para este trabajo un estudio de microzonificación sísmica realizado por el INPRES (Instituto Nacional de Prevención Sísmica), de donde se extrajo la información que se detalla a continuación [2].

Dos unidades geológicas muy bien definidas están presentes en el área del Gran Mendoza:

- Los depósitos del cono aluvial del río Mendoza, que cubren la zona sur y sudeste.
- La llanura aluvial que consiste en sedimentos más finos, ubicada al norte y noroeste.
- La separación entre estas dos zonas no está perfectamente separada por una línea, sino que existe lo que se denomina *zona de transición*, donde los sedimentos van pasando gradualmente de gruesos a finos.

Los resultados de los ensayos de penetración estándar muestran que, en la mayoría de los casos los sedimentos aluviales varían en su compactación desde compactos hasta sueltos. Los espesores de los materiales limosos y arcillosos que están por encima de los depósitos del río no son mayores que 3m en la zona sur, y a medida que nos desplazamos hacia el norte se van incrementando en espesor hasta que alcanzan los 20m en la zona norte.

El programa RADIUS99 adopta una clasificación simple, la cual divide el terreno en 4 clases de suelos que corresponden a distintos factores de amplificación de ondas sísmicas.

- **Roca dura:** corresponde a rocas volcánicas, como granito o basalto y rocas sedimentarias como arenas del pre-Terciario. El factor de amplificación es 0,55. y se ingresa en el programa con el valor “1”.
- **Roca suave:** corresponde a arenas del Terciario y conglomerados. El factor de amplificación es 0,7 y se ingresa con el dígito “2”.
- **Suelo medio:** corresponde a suelo diluvial o a un suelo aluvial compacto. El factor de amplificación es 1,00 como un “standard”. Se ingresa con el valor “3”.
- **Suelo suave:** corresponde a un suelo aluvial suave, tierra de relleno o terraplenes. El factor de amplificación es 1,30, se ingresa con el dígito “4”.

Según el resumen de la microzonificación sísmica del gran Mendoza que se encuentra en el CEREDETEC, el modelo a aplicar a la ciudad de Mendoza es el siguiente (Figura 6):

- Roca y suelo firme: Las condiciones del subsuelo consisten en depósitos superficiales de limos y arenas finas, con espesores que van de 0 hasta 20 metros, que yacen sobre roca o sobre los depósitos densos a muy densos de sedimentos granulares gruesos del piedemonte o del río Mendoza. Las áreas donde debe aplicarse este tipo de suelo, incluyen Maipú, Godoy Cruz, la mayor parte de Capital y las zonas de transición entre los depósitos densos y

los sedimentos más finos situados al noreste. El tipo de suelo que lo representa en la clasificación de RADIUS 99 es el "3".

- Suelo profundo: Las condiciones del subsuelo consisten en depósitos de arenas finas, limos y arcillas densas, que se extienden más de 20 metros debajo de la superficie y que yacen sobre los depósitos densos de suelos granulares gruesos del río Mendoza o sobre roca. Las zonas donde se aplica este suelo incluyen la parte norte de capital, parte de Guaymallén y de Las Heras. En este caso la representación en la clasificación de RADIUS 99 es la "4".

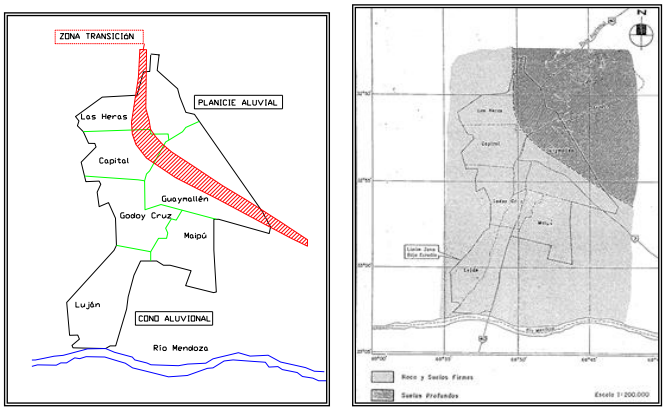


Fig. 6. Mapa de suelos creado por el INPRES, donde puede identificarse la zona de transición y las zonas correspondientes a Roca y suelo firme y Suelos Profundos.

2.5 Datos de los Terremotos Históricos - Selección terremoto Escenario.

Los datos de terremotos históricos son de gran utilidad para la definición de un posible terremoto escenario adecuado a una serie de características sismológicas, de terreno, del subsuelo, etc. Para la elección de este terremoto escenario, comúnmente se adopta la recurrencia de un terremoto pasado y que haya causado un daño considerable. Aun cuando también pueden ser usados terremotos hipotéticos, es decir un terremoto completamente definido por el usuario, es importante que estos sean válidos desde un punto de vista sismológico.

Dado que el grado de daño es en función de la magnitud y de la distancia al área de análisis, no tendrá sentido proponer un terremoto de magnitud menor a los históricos o uno de gran magnitud pero a una distancia mucho mayor que la más probable, lo que los hace movimientos muy poco "reales". Lo ideal es cargar varios terremotos basándose en los archivos históricos de la zona en estudio y dentro de los posibles, tomar uno realmente ocurrido para calibrar el modelo y luego tomar el más desfavorable para evaluar los daños.

2.5.1 Identificación de fuentes sismo génicas en Mendoza.

Las principales fuentes sismo génicas estudiadas y conocidas, que eventualmente pueden llegar a ocasionar terremotos en la región son las que se enuncian a continuación (Figura 7) [3].

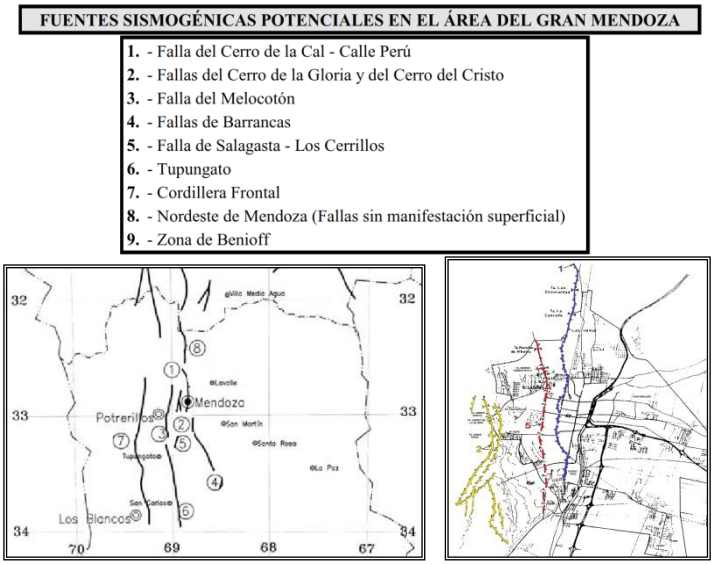


Fig. 7. Ubicación general de las fuentes sismo génicas potenciales del Gran Mendoza.

2.5.2 Potencialidad sísmica.

Los terremotos profundos que ocurren a lo largo de la placa de Nazca, que se introduce debajo de la placa Sudamericana, define una zona sísmica buzante notablemente regular llamada zona de Benioff. A mayores profundidades y por debajo de dicha zona (650 a 700 kilómetros), la placa ha sido completamente absorbida en el interior de la tierra, o sus propiedades han sido tan altamente alteradas que no es posible liberar más energía sísmica. Las causas de los posibles desastres sísmicos que se producirán en la zona se encuentran en la presencia de fuentes sismos génicas muy próximos y superficiales capaces de provocar terremotos de tipo de pulso severo de no mucha magnitud pero de muy elevada intensidad.

A través del procesamiento informático de la actividad sísmica generada en la zona es posible deducir, claramente, que el Gran Mendoza se encuentra situado en una zona donde se concentran y predominan notablemente focos superficiales y someros.

El tipo de sismicidad existente, donde la presencia de fuentes sismo génicas próximas han producido y producirán sismos importantes de foco superficial de alto potencial destructivo (Tabla 3.). En este tipo de sismos la intensidad varía rápidamente con la distancia, por lo cual se usan las leyes de atenuación de las ondas sísmicas. La fórmula de atenuación que se usó para cargar el modelo de la ciudad de Mendoza, es la de Fukushima y Tanaka, que es una de las tres opciones que tiene el programa.

Tabla 3. Caracterización de cada una de las fuentes en cuanto a la Magnitud Máxima estimada (Ms) y Período de Recurrencia en años.

FUENTE Nº	MAGNITUD MÁXIMA (Ms)	RECURRENCIA (años)
1	6,75	1300
2	6,5	12500
3	7	19000
4	7	630
5	7,5	5000
6	7,25	1000
7	7,75	5000
8	6	210 años/1000 km ^{2}
9	7,5	15000 años/1000 km ^{2}

La lectura de identificación numérica de cada fuente sismo génica corresponde con la (Figura 7) de la sección 2.5.1

2.5.3 Interpretación de la sismicidad regional.

La actividad sísmica en esta región se concentra en dos zonas principales, teniendo en cuenta las profundidades de los focos de los terremotos; la superficial, con hipocentros que no superan los 40 Km de profundidad, y la de subducción, cuyos hipocentros se concentran entre los 100 y los 120 Km (Figura 8).

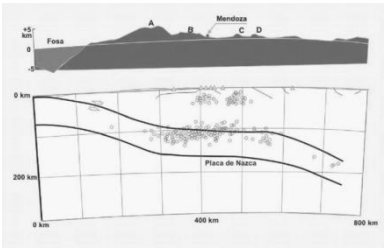


Fig. 8. Perfil de sismicidad del Gran Mendoza.

Como el evento sísmico puede presentarse a lo largo de toda la falla en estudio, se tomaron distancias al punto inicial (a), medio (b) y final (c) de cada falla en estudio a un pixel de referencia.

De esta manera se simuló que el evento sísmico puede producirse en cualquier sitio a lo largo de la falla sismo génica. Con respecto a la profundidad promedio del fallamiento local adoptamos dos posibles profundidades (15-30 km). En la modelación de un sismo en la zona de Benioff localizamos epicentros de sismos reales profundos ocurridos (100-120 km).

Además se modelaron 10 terremotos históricos reales, que suman con los anteriores un total de 58 terremotos escenarios posibles.

2.5.4 Información del tendido de líneas de servicios

El cálculo del daño esperado con respecto al tendido de las líneas de servicio; no se pudo modelar en el presente trabajo, por no encontrarse datos sobre las longitudes de los mismos.

3 Mecanismo de Cálculo.

Lo primero que efectúa el programa es calcular la atenuación de las ondas sísmicas desde su origen en el hipocentro del sismo, hasta cada pixel de la zona objetivo asignando a cada pixel un valor de PGA (g) o aceleración máxima del terreno. Este cálculo es realizado por las ecuaciones de atenuación, el valor obtenido de PGA (g) dependerá de la distancia al hipocentro, Magnitud Richter y el tipo de suelo. Para calcular la atenuación de las ondas sísmicas, RADIUS 99 permite seleccionar una de las tres de las ecuaciones de atenuación más aceptadas en el mundo: Joyner & Boore (1.981), Campbell (1.981) o Fukushima & Tanaka (1.990). (Figura 9).

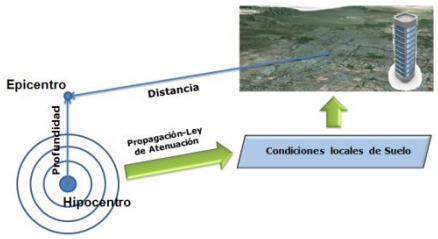


Fig. 9. Esquema general de la metodología de cálculo de RADIUS 99.

Para pasar de la PGA (g) a la MMI (Escala de Mercalli Modificada), RADIUS 99 usa la ecuación empírica de Trifunac y Brady. Con esto el programa estima un valor de Escala de Mercalli Modificada (MMI) para cada pixel de la zona del área objetivo (Figura 10).

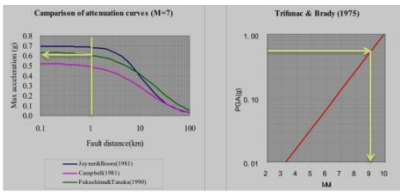


Fig. 10. Gráficos del sistema de cálculo de RADIUS 99, ejemplo realizado para un terremoto grado 7 en la escala de Richter.

Posteriormente se utilizan las de vulnerabilidad para cada tipo de edificación que son derivadas de casos de estudios en varias ciudades del mundo. Estas funciones de vulnerabilidad se grafican en curvas de vulnerabilidad que describen la relación entre amenaza sísmica y porcentaje de daño para cada tipo de construcción. Las funciones de vulnerabilidad definen la relación entre intensidad sísmica y razón de daño para

tipos de estructuras que son determinadas como una función de daños observados en terremotos pasados. Los niveles de daños considerados son colapso y daño severo, los daños ligeros no son considerados (Figura 11).

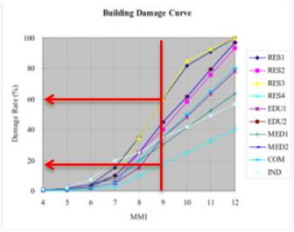


Fig. 11. Gráficos del sistema de cálculo de RADIUS 99, ejemplo realizado para un terremoto grado 9 en la escala de Mercalli Modificada (MMI).

Los muertos y heridos son calculados por funciones de probabilidad obtenidas en estudios de eventos pasados de acuerdo a la tipología estructural y el valor de la Escala de Mercalli Modificada (MMI).

4 Resultados Obtenidos.

Se presenta una tabla resumen de los resultados obtenidos para cada fuente sismo génica en estudio (Tabla 4.), donde la lectura de identificación numérica de cada fuente sismo génica corresponde con la (Figura 7) de la sección 2.5.1; mientras que la identificación alfabética corresponde con la distancia al pixel de referencia según la sección 2.5.3.

Tabla 4. Tabla de resultados para simulaciones a una profundidad de 15 km.

Fuente Sismo génica	Cantidad Muertos	Cantidad Heridos	Cantidad Muertos%	Cantidad Heridos%	Cantidad Edificios Dañados	Cantidad Edificios Dañados%
1-a	361	4254	0.35%	4.12%	9423	21.5%
1-b	361	4254	0.35%	4.12%	9423	21.5%
1-c	351	4184	0.34%	4.05%	9316	21.5%
2-a	259	3442	0.25%	3.33%	8148	18.6%
2-b	249	3356	0.24%	3.25%	8006	18.2%
2-c	227	3172	0.22%	3.07%	7703	17.6%
3-a	297	3754	0.28%	3.64%	8648	19.7%
3-b	334	4047	0.32%	3.92%	9106	20.7%
3-c	117	2080	0.11%	2.01%	5734	13.1%
4-a	321	3951	0.31%	3.83%	8957	20.4%
4-b	62	1406	0.06%	1.36%	4343	9.9%
4-c	9	421	0.008%	0.40%	1982	4.5%
5-a	637	6097	0.61%	5.91%	12027	27.4%
5-b	651	6185	0.63%	5.99%	12146	27.7%
5-c	642	6129	0.62%	5.94%	12071	27.5%
6-a	108	1974	0.1%	1.91%	5526	12.6%
6-b	9	411	0.008%	0.39%	1959	4.5%

6-c	2	80	0.002%	0.077%	752	1.7%
7-a	123	2141	0.12%	2.07%	5852	13.3%
7-b	33	963	0.032%	0.93%	3339	7.6%
7-c	2	73	0.0013%	0.070%	715	1.6%
9-a	1	15	0.0006%	0.014%	336	0.8%
9-b	1	49	0.0006%	0.047%	578	1.3%
9-c	2	62	0.0016%	0.060%	656	1.5%

Por razones de espacio, no se colocaron en el presente trabajo todas las tablas de resultados, así como los mapas que de estas derivan. A continuación detallaremos tan solamente el escenario sísmico que produce más daño [4].

El peor escenario sísmico que se podría presentar para la ciudad de Mendoza, sería una activación de la Falla de Salangasta los Cerrillos a una profundidad epicentral de 15 kilómetros y una magnitud en la escala de Richter de 7,5, produciendo un total de 637 a 651 muertos, 6.097 a 6.185 heridos (5% de la población de la Capital) y daño en 12.027 a 12.146 edificaciones (27% de daño estructural).

4.1 Resultados Gráficos.

RADIUS 99 genera tablas y gráficos que predicen que para un sismo de las características definidas, se obtendrán para el área en estudio las siguientes: Intensidades en Escala de Mercalli Modificada, Cantidad de Edificios dañados, Cantidad de Muertos y Cantidad de heridos (Figura 12-a-b, Figura 13-a-b).

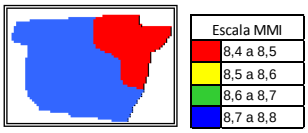


Fig. 12-a Escala de Mercalli modificada

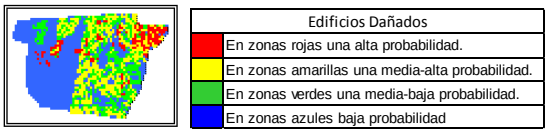


Fig. 12-b Cantidad de edificios dañados.

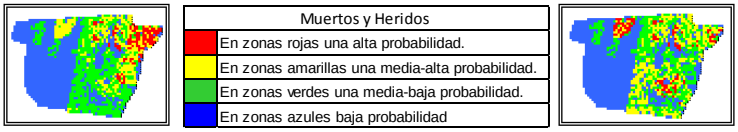


Fig. 13-a Cantidad de Muertos

Fig. 13-b Cantidad de Heridos.

4.2 Edificios Dañados.

Del total de edificaciones consideradas en el estudio (43.888), se obtuvo un porcentaje de daño probable del 27,7%, que representa un total de 12.146 edificios.

Las tres localidades más vulnerables en el departamento de Capital con respecto a las pérdidas de vidas y edificaciones dañadas son: La Cuarta Sección, La Sexta Sección y la Quinta Sección.

Presentado cada sección los siguientes porcentajes de daños parciales:

- Cuarta Sección Este 35,2%
- Cuarta Sección Oeste 31,4%
- Sexta Sección 29,0%
- Quinta sección 23,9%

4.3 Muertos y Heridos.

Del total de la población considerada en el estudio (103.136), se obtuvo un porcentaje de muertes probable del 0,74%, que representa un total de 651 personas fallecidas y se estimó que un 5% de la población resultaría herida que representa un total de 6.185 habitantes. Como es lógico de esperar la concentración mayor de heridos y muertos encuentra coincidencia con las zonas de mayor daño edilicio. Los resultados obtenidos tienen utilidad para el diseño de planes de contingencia realizados en forma racional y apoyada con los datos gráficos.
Estos planes pueden incluir:

- La estimación de volúmenes de escombros a remover.
- Qué vías de acceso se pueden utilizar como rutas de emergencia por ser las zonas menos afectadas por el sismo. Estas pueden usarse para evacuación, movilidad de heridos, etc.
- Identificación de zonas seguras temporales para primeros auxilios o refugios, sobre todo en las zonas más afectadas como por ejemplo la cuarta sección.
- Identificación de las zonas más expuestas en cuanto al corte de los servicios primarios. Para confeccionar planes de suministros de estos elementos.

5 Conclusiones Finales.

El daño por terremoto puede afectar muchas actividades que están correlacionadas entre sí. Para reducir estos daños, el primer paso que debería dar una ciudad expuesta al fenómeno, debe ser entender que le sucedería si ocurre un terremoto de escala mayor. Luego, como segundo paso se debe identificar aquellas acciones y medidas que pueden ayudar a reducir su impacto, en base a los hallazgos del primer paso.

Evaluar la magnitud de daño potencial no debe ser la meta final del proceso de estimación, sino el comienzo de un plan de manejo del desastre. La Estimación de daño lleva hacia el conocimiento/concientización de los niveles y extensión del impacto que sufriría la Ciudad si el terremoto escenario ocurriera. No solamente es posible tener una buena aproximación sobre la cantidad total de daños sino también a través del análisis, los puntos débiles de la ciudad. Esta información es muy importante para el manejo de medidas de reducción y manejo de riesgo, incluyendo actividades de preparación y respuesta a la emergencia, reforzamiento sísmico, y acciones y políticas de recuperación.
El conocimiento anticipado de lo que sucedería en el caso de un terremoto es indispensable para aquellas ciudades que enfrenten amenaza sísmica, por lo que esta

información puede ayudar a fijar prioridades en el uso de recursos. El mero cálculo del tamaño total de daño no debe ser el único objetivo en una estimación de daños. La misma debe servir como un punto de arranque para una mitigación efectiva del desastre sísmico. El método RADIUS 99, es un método de modelación que puede ser implementado de manera relativamente fácil y con un consumo de recursos accesibles, lo que lo hace especialmente útil para las ciudades de países en desarrollo.

El programa requiere de datos simples, sin embargo a veces el acceso a ellos resulta dificultoso. Este problema sería fácilmente resuelto con la conformación de un Grupo RADIUS, como se hizo en las ciudades donde se ha desarrollado el proyecto.

Además sería recomendable hacer este tipo de estudios con la participación de todos los sectores de la sociedad, como son las entidades gubernamentales, entidades privadas, universidades, profesionales y con el aporte de las necesidades e inquietudes que plantee la comunidad en sí.

El análisis de los resultados obtenidos en el presente trabajo, deja en claro que los estudios realizados con este software pueden usarse como punto de partida para hacer un estudio mayor, como por ejemplo un análisis de vulnerabilidad de todo el Gran Mendoza, o estudios con software más actuales, del tipo SIG (Sistema de Información Geográfica) aplicados a terremotos lo que le daría a los organismos responsables de la planificación una base estimativa para afrontar la amenaza sísmica.

Agradecimientos.

Ésta trabajo no ha pretendido corroborar los resultados de las investigaciones que se han venido realizando en nuestra Provincia, sino simplemente demostrar que podemos contar con una herramienta para ser utilizada por todos aquellos interesados que deseen continuar con la gran tarea de buscar la manera de minimizar los daños potenciales a los que pudiera estar sometida nuestra Provincia ante una seria amenaza que la asecha día a día.

Este trabajo forma parte de la tesis de carrera de Ingeniería Civil de los autores del mismo. Dicha tesis se encuentra en biblioteca de Ingeniería Civil en la Universidad Tecnológica Nacional-Facultad Regional Mendoza.

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Doctora Graciela Noemí Maldonado, Ingeniero Ignacio Maldonado e Ingeniero José Luis Mendoza.

Referencias

1 Risk Assessment Tools for Diagnosis of Urban Areas Against Seismics Disasters, http://www.unisdr.org http://www.gripweb.org
2 Castano J C: Coloquio sobre la Microzonificación sísmica de Mendoza, pp 187-188. (INTERVEP). Punta Cardón. VE. (1993)
3 Castano J C: Coloquio sobre la Microzonificación sísmica de Mendoza, pp 186. (INTERVEP). Punta Cardón. VE. (1993)
4 Doña W J, Silva C G, Macaluzzo G: Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica de Mendoza mediante un Software Específico (UTN-FRM) Mendoza (2013)

Análisis del Comportamiento de Mampostería No Reforzada mediante Modelos Constitutivos de Plasticidad y Daño

Nelson Darío Agüera[a], Miguel Eduardo Tornello[a], Carlos Daniel Frau[a],

[a] Centro Regional de Desarrollos Tecnológicos para la Construcción, Sismología y la Ingeniería Sísmica. Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Mendoza. Rodríguez 273, Ciudad, Mendoza, Argentina (5500).
naguera@frm.utn.edu, mtornell@frm.utn.edu.ar, cdfrau@frm.utn.edu.ar

Resumen. El estudio de la mampostería a través de modelos de elementos finitos puede predecir con cierta aproximación la respuesta de la estructura ante distintas acciones. El objetivo del trabajo es evaluar, a través de modelos de elementos finitos, el comportamiento de muretes de mampostería no reforzada bajo carga axial y horizontal con desplazamiento controlado. Se realiza una micro-modelación de elementos homogéneos continuos, en función de dos modelos constitutivos de plasticidad y daño, utilizando el algoritmo del programa Abaqus. Cada modelo de plasticidad depende de las características mecánicas de los ladrillos y morteros, las cuales fueron obtenidas en el laboratorio a través de ensayos destructivos. Se presentan los resultados del análisis para un murete de mampostería no reforzada, solicitado a cargas axiales y horizontales. Se obtuvieron respuestas de los modelos de muretes en términos de carga versus desplazamiento para diferentes modelos constitutivos y para diferentes características mecánicas de los morteros. Los dos modelos constitutivos utilizados arrojan similares resultados, particularmente en las formas de las curvas de respuesta, sin embargo los valores de capacidades últimas presentan variaciones promedios del 30%. Las respuestas finales de los muretes dependen fuertemente de las características de los morteros y ladrillos.

Palabras Clave: Modelos de Plasticidad, Mampostería no Reforzada, Capacidad Estructural.

1 Introducción

Se disponen de diferentes alternativas para la predicción del comportamiento estructural de la mampostería no reforzada. Una de ellas puede ser la realización de especímenes de muretes de mampostería a escala natural, para ser ensayados en laboratorio [1]. Otra forma de predecir el comportamiento estructural es a través de simulaciones numéricas computacionales, considerando el comportamiento no lineal de los materiales componentes del muro de mampostería y la interacción entre ellos a partir de una combinación de cargas ficticias [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8]. En el trabajo se exponen los resultados obtenidos de una simulación numérica de un murete de mampostería utilizando dos criterios de plasticidad diferentes, conociendo a priori el comportamiento mecánico de los materiales que componen los muros de mampostería no reforzada.
Se utiliza el código comercial ABAQUS [9] como programa de elementos finitos para la simulación numérica de los muretes de mampostería no reforzada.

2 Descripción de la teoría de plasticidad

En particular, las deformaciones irreversibles que resultan de mecanismos de deslizamiento, o de dislocaciones a una escala atómica, y que por lo tanto conducen a cambios dimensionales permanentes, son conocidas como deformaciones plásticas. Tales deformaciones únicamente tienen lugar a intensidades de tensión por encima de un cierto valor umbral conocido como límite elástico o tensión de fluencia. En la teoría de la plasticidad, la cuestión fundamental consiste en la formulación matemática de las relaciones tensión-deformación adecuadas para la descripción fenomenológica de las deformaciones plásticas, y en la adopción de un criterio de fluencia apropiado para predecir el comienzo del comportamiento plástico [10].

2.1 Modelo Drucker-Prager

El modelo describe una familia de modelos de plasticidad en el comportamiento de los materiales donde la fluencia de los mismos depende de la tensión de compresión equivalente. Es utilizado para modelar materiales friccionales, donde la resistencia de fluencia a la compresión es mayor que la de tracción, permitiendo que el material tenga un endurecimiento y ablandamiento isótropo. Los criterios de fluencia para esta clase de modelos se basan en la forma de la superficie de fluencia en el plano meridional. La superficie de fluencia puede tener una forma lineal, una forma hiperbólica, o una forma exponencial [9].

La evolución de la superficie de fluencia con deformación plástica se describe en términos de la tensión equivalente, que puede ser elegida como cualquiera de las siguientes: tensión de fluencia a compresión uniaxial, tensión de fluencia a tracción uniaxial, o tensión de fluencia al corte (cohesión).

La superficie de tensión de fluencia hace uso de dos invariantes, definido como la tensión de presión equivalente:

$$p = -\frac{1}{3}\text{trace}(\sigma) \quad \textbf{(1)}$$

Siendo "trace" la traza de la matriz. La tensión equivalente de Mises es:

$$q = \sqrt{\frac{3}{2}(S:S)} \quad \textbf{(2)}$$

Donde "S" es definido como el tensor desviatórico:

$$S = \sigma + pI \quad \textbf{(3)}$$

Además, el modelo lineal también utiliza el tercer invariante de tensión desviatórica.

$$r = (\frac{9}{2}S.S:S)^{\frac{1}{3}} \quad \textbf{(4)}$$

2.2 Modelo Concrete Damaged Plasticity

El modelo proporciona una gran capacidad para el modelado de hormigón y otros materiales cuasi-frágiles en todos los tipos de estructuras. Este modelo utiliza conceptos de elasticidad de daño isotrópica en combinación con la tracción isotrópica y plasticidad compresiva para representar el comportamiento inelástico de hormigón. El modelo tiene en cuenta la degradación de la rigidez elástica inducida por el esfuerzo plástico tanto en tracción como en compresión. También explica los efectos de recuperación de rigidez bajo carga cíclica.

2.2.1 Definición del comportamiento a compresión

Se puede definir el comportamiento en el plano de tensión-deformación del material en compresión uniaxial fuera del rango elástico. Los datos de tensiones de compresión se presentan como una función de la deformación inelástica. La curva de tensión-deformación puede ser definida más allá de la tensión última, en el régimen de deformación de ablandamiento. Los datos de endurecimiento se dan en términos de una deformación inelástica, en lugar de la deformación plástica. La deformación inelástica de compresión se define como la deformación total menos la deformación elástica correspondiente al material no dañado [9].

El programa de elementos finitos Abaqus convierte automáticamente los valores de deformación inelástica a los valores de deformación plástica mediante la relación:

$$\varepsilon_c^{pl} = \varepsilon^{in} - \frac{d_c}{(1-d_c)} \frac{\sigma_c}{E_0} \quad \textbf{(5)}$$

Donde:

ε_c^{pl} = deformación plástica.

ε^{in} = deformación inelástica.

d_c = variable de degradación de rigidez.

E_0 = módulo elasticidad inicial.

La tensión efectiva es definida como:

$$\bar{\sigma} = D_0^{el} : (\varepsilon - \varepsilon^{pl}) \quad \textbf{(6)}$$

Donde:

D_0^{el} = matriz de elasticidad (no dañada) inicial.

La función potencial de flujo plástico y la superficie de fluencia hace uso de dos invariantes de tensión del tensor de tensiones efectivas, es decir, la tensión de presión hidrostática:

$$\bar{p} = -\frac{1}{3} \text{trace}(\bar{\sigma}) \quad \textbf{(7)}$$

Y la tensión efectiva equivalente de Mises:

$$\bar{q} = \sqrt{\frac{3}{2}(\bar{S} : \bar{S}} \quad \textbf{(8)}$$

Donde $\bar{S}$ tensión efectiva desviatórica, definida como:

$$\bar{S} = \bar{\sigma} + \bar{p}I \quad \textbf{(9)}$$

3 Características de los Modelos

Los modelos estudiados en el presente trabajo son muretes de mampostería no reforzada. Las características de los mismos puede observarse en la “Figura 1”.

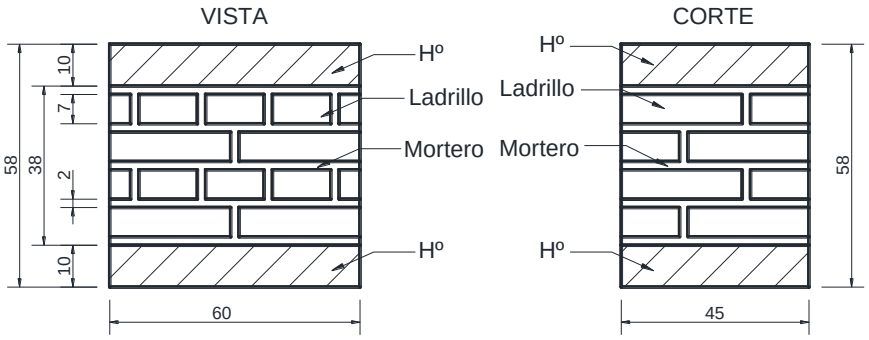


Fig. 1. Esquema de murete de mampostería (medidas en "cm").

Los muretes están formados por elementos de ladrillo cerámico macizo ("Figura 2"), unidos entre sí por un mortero combinado de cemento y cal, el mortero posee un espesor promedio de 2cm.

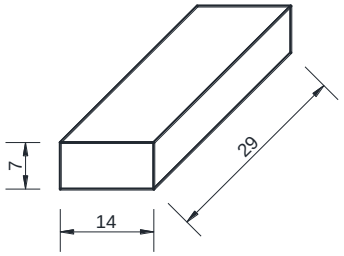


Fig. 2. Ladrillos cerámicos macizos utilizados en los muretes (medidas en "cm").

3.1 Modelo de elementos finitos utilizado en ABAQUS

Para la modelación se utilizaron elementos sólidos deformables en tres dimensiones, denominados elementos C3D8R. Es un elemento estándar de ABAQUS para estos problemas, con 8 nodos de integración (2x2x2), integración reducida y control de hourglass. Se utilizaron elementos de interacción para simular las juntas de contacto entre los mampuestos de ladrillo y el mortero. Los contactos entre superficies se definieron con la opción de ABAQUS "surface-surface", especificando superficies maestras (master) y esclavas (slave), las cuales tienen la característica que la superficie maestra no puede ser penetrada por la superficie esclava. La interacción de las superficies fue definida para un comportamiento longitudinal y transversal, para el primero se especificó un comportamiento de contacto rígido o duro (Hard Contact), y para el segundo se especificó un comportamiento friccional con penalización de fricción según el coeficiente de fricción definido. En la "Figura 3" se observa el modelo de elementos finitos utilizado.

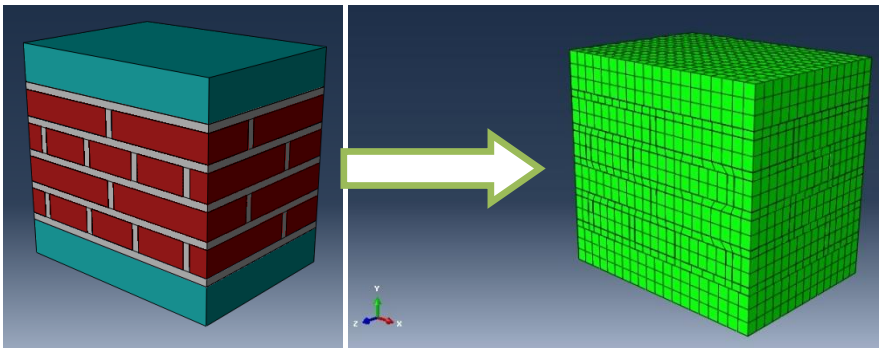


Fig. 3. Modelo de elementos finitos utilizados en la plataforma ABAQUS.

3.2 Especificaciones de los materiales utilizados

Las características de los materiales utilizados para la modelación, ladrillos y morteros, fueron obtenidos del laboratorio de ensayos de materiales del Departamento de Ingeniería Civil UTN-FRM [13].

3.3 Modelo Drucker-Prager en ABAQUS

Para el material Ladrillo se definieron los valores que se detallan en las "Tabla 1", "Tabla 2" y "Tabla 3".

Tabla 1. Características elásticas del ladrillo. (kg-cm)

Mass Density (Densiddad de Masa)	E (módulo de elasticidad)	Coef. Poisson (coeficiente de poisson)
0.00143	2170	0.155

Tabla 2. Características Drucker-Prager del ladrillo. Criterio de Corte Hiperbólico. (kg-cm)

Angle of friction (ángulo de fricción)	Init Tension (tracción inicial)	Dilation Angle (ángulo de dilatación)
15.5	26	7

Tabla 3. Características no lineales del ladrillo. Endurecimiento por Compresión. (kg-cm)

Yield Stress (tensión de fluencia)	Abs Plastic Strain (deformación plástica)
51.67	0
56.37	0.001169
61.07	0.003095
65.77	0.005325

70.46	0.009827
71.4	0.017576
7.14	0.2

Para el material Mortero se definieron los valores que se detallan en las "Tabla 4", "Tabla 5" y "Tabla 6".

Tabla 4. Características elásticas del mortero. (kg-cm)

Mass Density (Densiddad de Masa)	E (módulo de elasticidad)	Coef. Poisson (coeficiente de poisson)
0.0024	7760	0.21

Tabla 5. Características Drucker-Prager del mortero. Criterio de Corte Hiperbólico. (kg-cm)

Angle of friction (ángulo de fricción)	Init Tension (tracción inicial)	Dilation Angle (ángulo de dilatación)
15.5	6	7

Tabla 6. Características no lineales del mortero. Endurecimiento por Compresión. (kg-cm)

Yield Stress (tensión de fluencia)	Abs Plastic Strain (deformación plástica)
50.02	0
60.02	0.001776
66.02	0.003619
6.602	0.2

3.4 Modelo Concrete Damaged Plasticity en ABAQUS

Para el material Ladrillo se definieron los valores que se detallan en las "Tabla 7", "Tabla 8" y "Tabla 9".

Tabla 7. Características elásticas del ladrillo. (kg-cm)

Mass Density (Densiddad de Masa)	E (módulo de elasticidad)	Coef. Poisson (coeficiente de poisson)
0.00143	2170	0.155

Tabla 8. Características Concrete Damaged Plasticity del ladrillo. (kg-cm)

Dilation Angle (ángulo de dilatación)	Eccentricity (excentricidad)	fb0/fc0	k	Viscosity Parameter (parámetro de viscosidad)
7	0.1	1.16	0.66	0.0005

Tabla 9. Características no lineales del ladrillo. (kg-cm)

Comportamiento a Compresión		Comportamiento a Tracción	
Yield Stress (tensión de fluencia)	Inelastic Strain (deformación inelástica)	Yield Stress (tensión de fluencia)	Cracking Strain (deformación de agrietamiento)
51.67	0	26.1	0
56.37	0.001169	-	-
61.07	0.003095	-	-
65.77	0.005325	-	-
70.46	0.009827	-	-
71.4	0.017576	-	-
7.14	0.2	-	-

Para el material Mortero se definieron los valores que se detallan en las "Tabla 10", "Tabla 11" y "Tabla 12".

Tabla 10. Características elásticas del mortero. (kg-cm)

Mass Density (Densiddad de Masa)	E (módulo de elasticidad)	Coef. Poisson (coeficiente de poisson)
0.0024	7760	0.21

Tabla 11. Características Concrete Damaged Plasticity del mortero. (kg-cm)

Dilation Angle (ángulo de dilatación)	Eccentricity (excentricidad)	fb0/fc0	k	Viscosity Parameter (parámetro de viscosidad)
7	0.1	1.16	0.66	0.0005

Tabla 12. Características no lineales del mortero. (kg-cm)

Comportamiento a Compresión		Comportamiento a Tracción	
Yield Stress (tensión de fluencia)	Inelastic Strain (deformación inelástica)	Yield Stress (tensión de fluencia)	Cracking Strain (deformación de agrietamiento)
50.02	0	6.602	0
60.02	0.001776	0.6602	0.2
66.02	0.003619	-	-
6.602	0.2	-	-

3.5 Condiciones de borde en la simulación numérica

El modelo de elementos finitos fue restringido en la parte inferior del murete de mampostería, en coincidencia con la plataforma de hormigón, en las tres direcciones

posibles de desplazamientos. Luego al modelo se le asignaron dos pasos de carga, en el primer paso se le otorgó una precompresión constante, en coincidencia con el eje vertical o gravitacional del murete de mampostería, los valores de precompresión se fijaron en tres tipos: p=1MPa, p=0.5MPa y p=0.1MPa. El segundo paso fue asignar un desplazamiento horizontal de 2cm manteniendo el valor de la precompresión. "Figura 4".

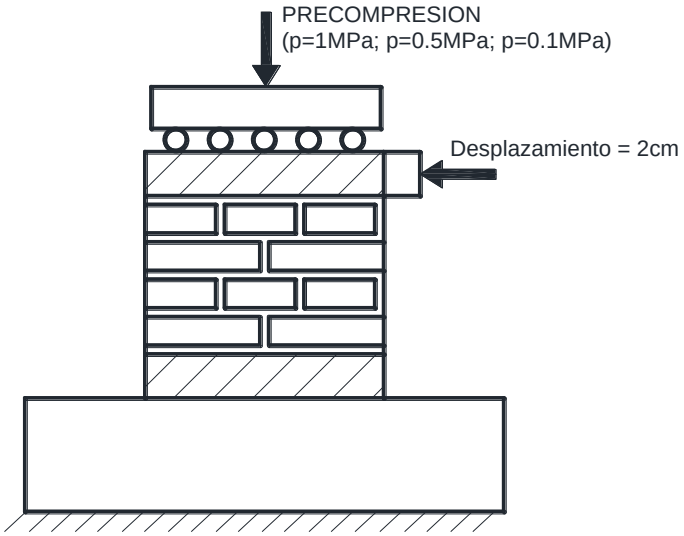


Fig. 4. Condiciones de borde y esquema de carga en el murete de mampostería.

4 RESULTADOS

Se obtuvieron para cada tipo de material, para cada valor de precompresión y para un desplazamiento de 20mm, curvas de fuerza versus desplazamiento en el plano del murete. En la "Figura 5" y "Figura 6" se observan las diferentes curvas de fuerza versus desplazamiento, para ambos modelos de materiales y para la terna de precompresiones asignadas.

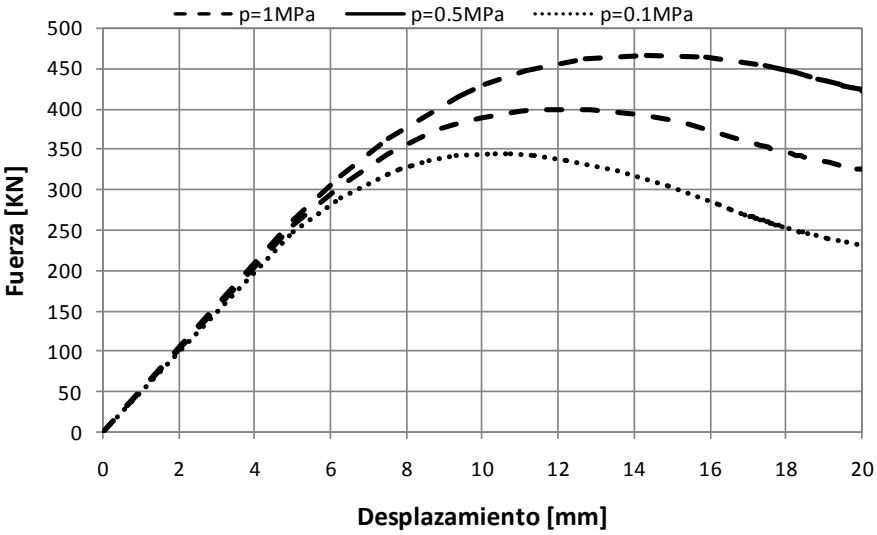


Fig. 5. Curvas fuerza versus desplazamiento. Modelo Drucker-Prager. (p=1MPa, p=0.5MPa y p=0.1MPa)

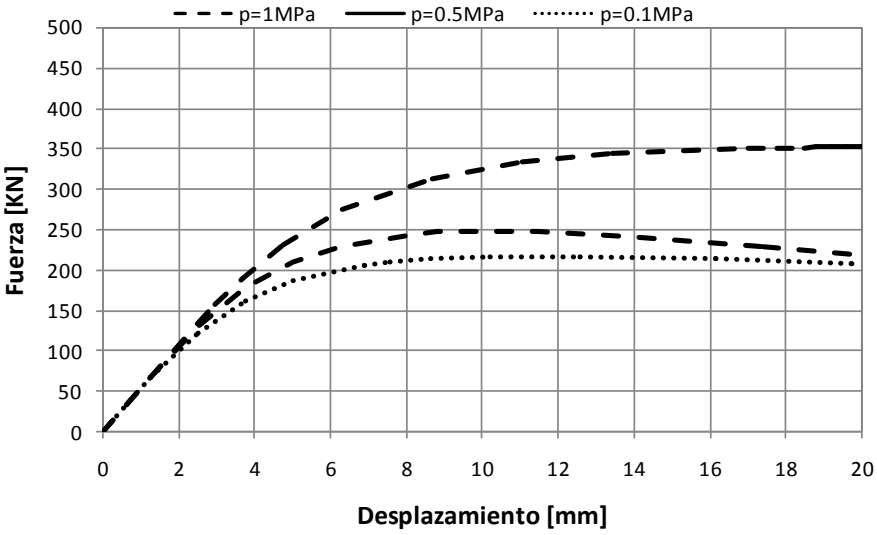


Fig. 6. Curvas fuerza versus desplazamiento. Modelo Concrete Damaged Plasticity. (p=1MPa, p=0.5MPa y p=0.1MPa)

Se puede observar la distribución de tensiones de Mises, para el modelo de Drucker-Prager, con un valor de precompresión p=1MPa. “Figura 7”.

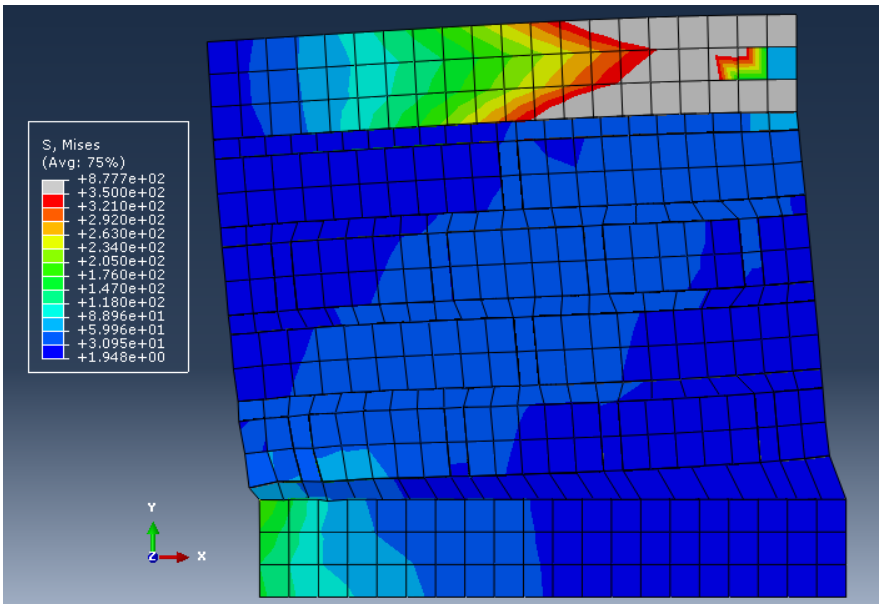


Fig. 7. Estado de tensiones Mises. Modelo Drucker-Prager, p=1MPa. (kg/cm²)

En la "Figura 8" se observa el mapeo de tensiones plásticas, para el modelo de Drucker-Prager, con un valor de precompresión p=1MPa.

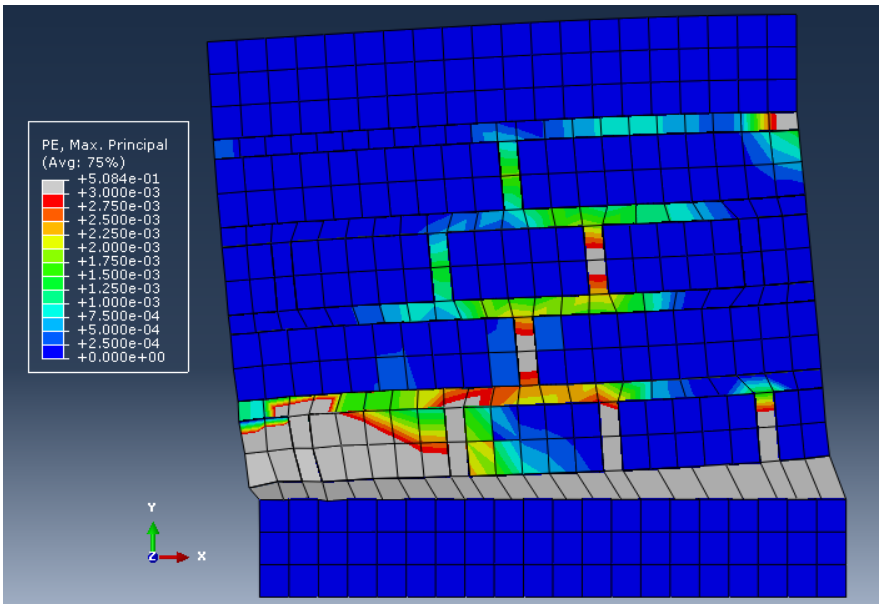


Fig. 8. Mapeo de tensiones plásticas. Modelo Drucker-Prager, p=1MPa. (kg/cm²)

A continuación se indica la distribución de tensiones de Mises, para el modelo de Concrete Damaged Plasticity, con un valor de precompresión p=1MPa. “Figura 9”.

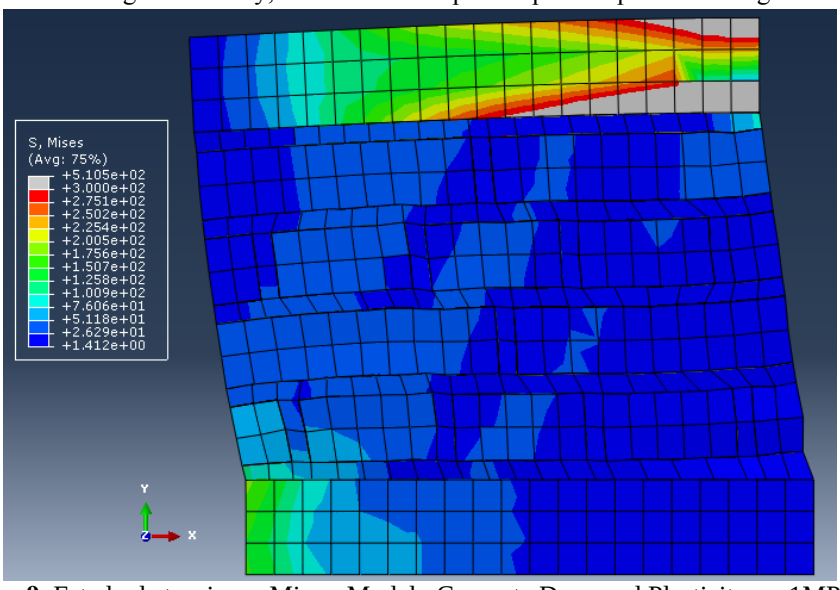


Fig. 9. Estado de tensiones Mises. Modelo Concrete Damaged Plasticity, p=1MPa. (kg/cm²)

En la “Figura 10” se puede observar el mapeo de tensiones plásticas, para el modelo de Concrete Damaged Plasticity, con un valor de precompresión p=1MPa.

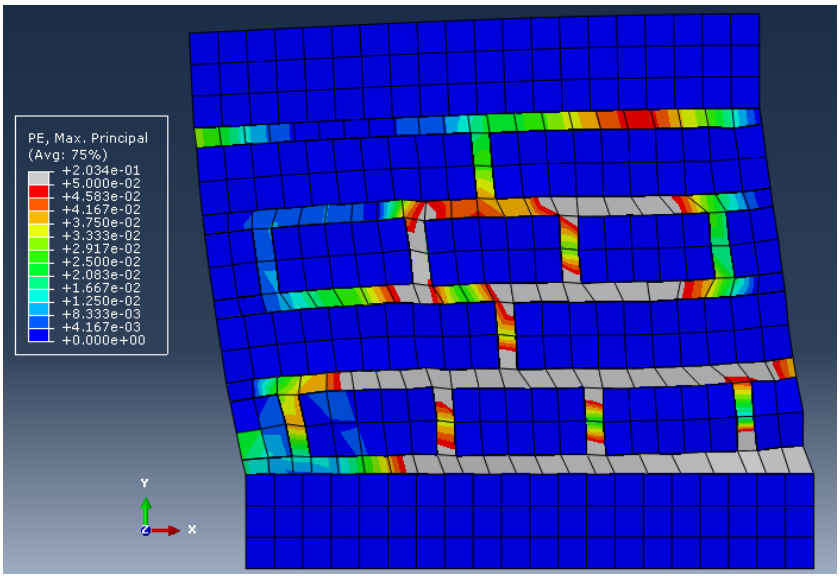


Fig. 10. Mapeo de tensiones plásticas. Modelo Concrete Damaged Plasticity, p=1MPa. (kg/cm²)

A continuación se presentan los resultados comparativos entre los dos modelos de materiales utilizados. “Figura 11, Figura 12 y Figura 13”.

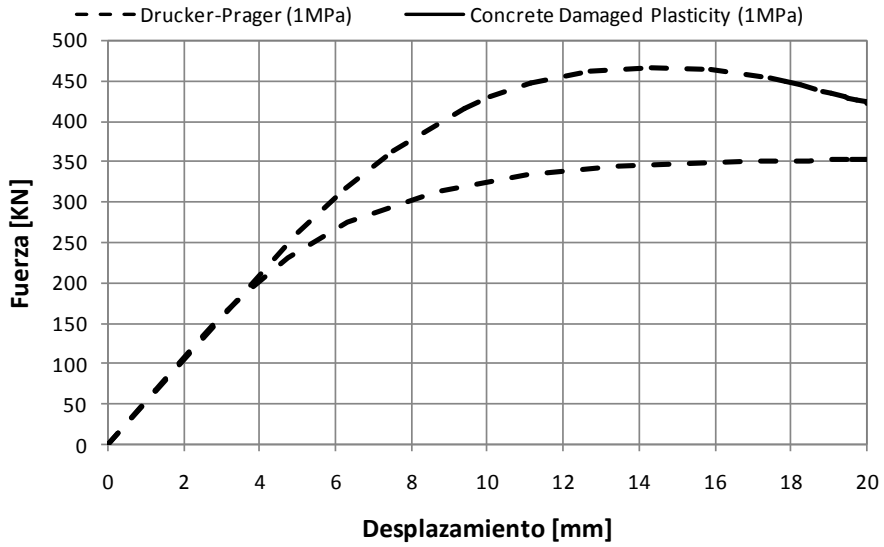


Fig. 11. Curvas fuerza versus desplazamiento. Comparación entre los dos modelos de materiales utilizados. (p=1MPa)

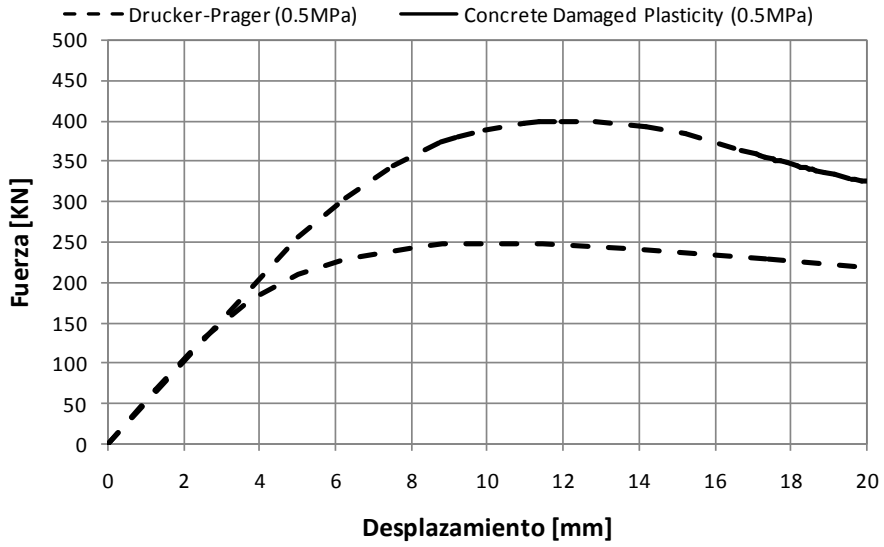


Fig. 12. Curvas fuerza versus desplazamiento. Comparación entre los dos modelos de materiales utilizados. (p=0.5MPa)

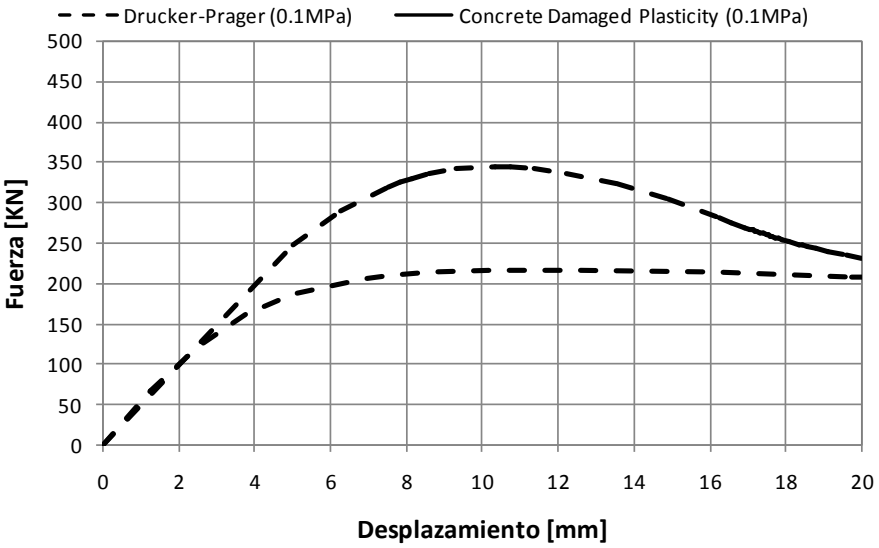


Fig. 13. Curvas fuerza versus desplazamiento. Comparación entre los dos modelos de materiales utilizados. (p=0.1MPa)

5 CONCLUSIONES

Los resultados indican inicios de fluencias diferentes en los dos modelos de plasticidad estudiados. El modelo de Drucker-Prager presenta valores superiores a los del Concrete Damaged Plasticity.
Para el modelo de Drucker-Prager, las tensiones plásticas se manifiestan en las juntas de mortero y en los mampuestos inferiores, mientras que para el modelo de Concrete Damaged Plasticity se observa una concentración de las tensiones plásticas en las juntas de mortero.
En el modelo de Drucker-Prager se visualizan degradaciones de resistencia mayores que las del modelo de Concrete Damaged Plasticity.
Para ambos modelos de plasticidad, la aplicación de varios niveles de precompresión vertical conduce a respuestas de capacidades diferentes. Dichas diferencias son mayores en concordancia con el aumento de la precompresión.
El uso de modelos de plasticidad distintos arroja similitudes en las formas de las curvas de respuesta, aunque los valores de capacidades últimas presentan variaciones promedios del 30%.

AGRADECIMIENTOS

-Programa de Becas Doctorales para Docentes UTN. Subsecretaría de Posgrado. Secretaría de Ciencia y Tecnología. Rectorado. UTN.
-Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Mendoza.

-CeReDeTeC. Centro Regional de Desarrollos Tecnológicos para la Construcción, Sismología e Ingeniería Sísmica.

REFERENCIAS

1. Lourenço P., et al. Cyclic behaviour of truss type reinforced concrete masonry walls. 7º Congresso de Sismologia e Engenharia Sísmica, (2007).
2. Akhaveissy A.H., Lateral strength force of URM structures based on a constitutive model for interface element. Latin American Jounal of Solids and Structures, Vol. 8, pp. 445-461, (2011).
3. Annecchiarico F., et al. FE simulation of masonry wall samples of Mustafa Pasha mosque by homogeneous continuum models: Analysis and calibration, Protection of Historical Buildings PROHITECH09, Vol1, pp. 95-100, (2009).
4. Karapitta L., et al. Explicit finite-element analysis for the in-plane cyclic behaviour of unreinforced masonry structures. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 40, pp. 175-193, (2010).
5. Lourenço P. Computational strategies for masonry structures. Thesis Delft University of Technology. Delft University Press, (1996).
6. Lourenço P. et al. 3D homogenized limit analysis of masonry buildings under horizontal loads. Engineering Structures. Vol. 29, Issue 11, pp. 3134-3148, (2007).
7. Lourenco P. et al. Shear testing of stack bonded masonry. Construction and Building Materials. Vol. 18, Issue 2, pp. 125-132, (2004).
8. Giordano A., et al. Modelling of historical masonry structures: comparison of different approaches through a case study. Engineering Structures, Vol. 24, pp. 1057-1069, 2002.
9. Abaqus 6.4-1. Theory Manual. Hibbit, Karlson and Sorenson, Inc.: Pawtucket, U.S.A., (2003).
10. Mase G. E., Theory and Problems of Continuum Mechanics. Ed. McGraw-Hill Mexico, (1977), 247pp.
11. Lubliner, J., J. Oliver, S. Oller, and E. Oñate, "A Plastic-Damage Model for Concrete," International Journal of Solids and Structures, Vol. 25, pp. 299–329, (1989).
12. Lee, J., and G. L. Fenves, "Plastic-Damage Model for Cyclic Loading of Concrete Structures," Journal of Engineering Mechanics, Vol. 124, no.8, pp. 892–900, (1998).
13. Martín P. E., et al. Análisis No Lineal de Muros de Gran Espesor Mediante Aplicación de Superficie de Interacción en Abaqus. X Congreso Argentino de Mecánica Computacional, (2012).
14. Martín P. E. Estudio Teórico del Comportamiento de la Mampostería. Tesis Magister, Director Dr. Ing. Danesi R. F., CoDirector Dr. Ing. Luccioni B. M, (1997).
15. Meguro K., Pandey B. H. Simulation of Brick Masonry Wall Behavior Under In-Plane Lateral Loading Using Applied Element Method. 13th World Conference on Earthquake Engineering, Paper Nº 1664, (2004).

Determinación Experimental de Frecuencia y Amortiguamiento de Suelos. Un Caso de Estudio

Emilce Gisela Giolo [a], Marcelo Gerardo Jesús Guevara Rengel [a], Fabián Luján[a], Carlos Daniel Frau [a]

[a] Laboratorio de Sismicidad del CEREDETEC (Centro Regional de Desarrollos Tecnológicos para la construcción, sismicidad e ingeniería sísmica), Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza – Rodríguez 273 (CP5500) – Ciudad – Mendoza – Argentina – emilce.giolo@frm.utn.edu.ar , marcelo.guevara@alumnos.frm.utn.edu.ar , fabian.lujan@frm.utn.edu.ar , cdfrau@frm.utn.edu.ar

Resumen. Las micro vibraciones son inducidas en las masas de suelo y roca por actividades humanas y/o fuentes naturales. En los últimos años la medición de micro vibraciones se ha convertido en una importante herramienta para identificar las frecuencias de vibración de los suelos en distintas zonas. Este método permite conocer el comportamiento del suelo ante un evento sísmico y presenta la ventaja de poderse aplicar en cualquier momento.
El trabajo presenta una metodología para determinar de modo experimental la frecuencia fundamental de los suelos a partir de acelerogramas obtenidos a través de la medición de micro vibraciones empleando el método propuesto por Nakamura [6] a partir de la relación espectral entre las componentes horizontales y verticales (H/V) de los espectros de amplitudes de la transformada de Fourier.
Las mediciones de micro vibraciones se realizaron en un área de la Facultad Regional Mendoza. Para las mediciones se utilizaron acelerómetros de tres componentes modelo Basalt de la firma Kinemetric y para el procesamiento e interpretación de los datos se utilizó el programa Geopsy [4], con el cual se estimaron las frecuencias fundamentales del suelo en la zona en estudio.

Palabras Claves: micro vibraciones - frecuencia - amortiguamiento - suelo - riesgo sísmico.

1 Introducción

El Centro Oeste Argentino posee importante fuentes potenciales de actividad sísmica: el área urbana conocida como Gran Mendoza se encuentra enclavada en la zona de mayor peligrosidad sísmica del territorio argentino [2], donde habitan más de 1.000.000 de personas y se desarrolla la actividad socioeconómica más importante de todo el oeste de nuestro país. Estudios geológicos realizados en la región donde se localiza el Gran Mendoza indican que la zona es sísmicamente activa. Dicha actividad está relacionada tectónicamente con la convergencia de las Placas Sudamericanas y de Nazca. Esta última subduce debajo de la primera, la cual es activamente deformada a lo largo de su margen oeste y arroja como resultado estructuras geológicas activas, algunas de las cuales, por su localización, corresponden a fuentes sísmicas que se encuentran en y alrededor del Gran Mendoza [11]. La sismicidad de la placa de Nazca

es prácticamente uniforme en toda la región estudiada y tiene relativamente escasa importancia en sitios con suelos firmes y superficiales. Sin embargo su contribución al peligro sísmico total adquiere mayor importancia en sitios con suelos profundos, particularmente para niveles bajos e intermedios del movimiento del terreno. La densificación edilicia y poblacional del conglomerado urbano del Gran Mendoza requiere profundizar los conocimientos del peligro sísmico a que están expuestas tanto las obras que allí se encuentran emplazadas como aquellas que se erijan en el futuro.

Dentro de la complejidad que plantea el problema sísmico, la determinación de parámetros cuantificable que permitan evaluar la peligrosidad sísmica es una información de utilidad para las distintas disciplinas. Particular interés presentan aquellas áreas geográficas que están emplazadas en las proximidades de zonas potencialmente generadoras de terremotos o bien cuyo subsuelo presente ciertas características que puedan mostrar amplificaciones de movimiento sísmico aumentando el potencial de daño de futuros terremotos.

El comportamiento sísmico del suelo es un aspecto que ha ganado gran interés en la comunidad científica: esto es debido a que, en un sitio determinado, los estratos del subsuelo influye notablemente en el movimiento del suelo cuando el mismo es excitado por un sismo [3].

De lo expuesto surge así la necesidad de profundizar los estudios para conocer mejor las características del suelo en función de su respuesta ante eventos sísmicos.

Desde el punto de vista sísmico, la frecuencia natural del suelo en un determinado sitio es un parámetro relevante para evaluar la demanda sísmica a la que estará sometido. Por lo cual este proyecto proporciona una metodología eficaz para mediciones de la frecuencia fundamental del suelo en un sitio determinado mediante instrumentos y técnicas actuales.

1.1. Objetivo principal de la Investigación

El presente trabajo tiene como objetivo principal determinar la frecuencia fundamental del suelo en un área de campo libre dentro del campus de la Facultad Regional Mendoza a partir de mediciones de ruido ambiental, empleando para ello el método de relación espectral propuesto por Nakamura [6].

2 Marco teórico

Para determinar las amplificaciones de los movimientos sísmicos e identificar las condiciones de resonancia en las edificaciones, es importante conocer las características dinámicas de los suelos en regiones que presentan una actividad sísmica significativa.

La técnica del cociente espectral horizontal/vertical (H/V) busca evaluar el efecto del sitio relacionando las componentes horizontal y vertical del movimiento, por lo que podemos estimar la frecuencia fundamental del suelo a partir de mediciones de vibración ambiental.

Esta técnica fue desarrollada por Nakamura [6] y supone que los microtremores consisten de muchos tipos de ondas, ondas de tipo superficiales (Rayleigh) y ondas de cuerpo (P y S), que se propagan en una capa blanda de sedimento la cual yace sobre un basamento rocoso, y que tanto la componente horizontal del movimiento como la vertical tienen el mismo efecto. Otra suposición de este método es que considera que las fuentes profundas son despreciadas, y por lo tanto el movimiento se debe a fuentes locales que no afectan al movimiento de los microtremores en la base de la capa del sedimento.

Si una fuente superficial genera ondas de cuerpo en un medio formado por una capa blanda sobre una capa de roca con una gran diferencia de impedancia, estas ondas se propagan siguiendo un patrón complejo, que depende de la fuente originaria y de su emplazamiento. Debido a las reflexiones que ocurren entre el suelo y la roca, parte de las ondas P y S se mueven desde el basamento hacia la superficie libre. Nakamura [7] expresó que el movimiento horizontal (H_f) y vertical (V_f) del suelo en la superficie libre puede ser interpretado como la suma de las ondas de cuerpo que viajan desde el basamento rocoso sumada la contribución de las ondas superficiales. El efecto de las ondas Rayleigh puede ser eliminado estimando correctamente la función de transferencia T (ω) [7].

Las componentes H_f (ω) y V_f (ω) son, respectivamente, la transformada de Fourier del movimiento horizontal en la superficie y la transformada de Fourier del movimiento vertical en la superficie considerando, en ambos casos, la contribución de los dos tipos de onda (de cuerpo y superficiales). Los espectros H_f (ω) y V_f (ω), no son útiles para identificar las frecuencias naturales del depósito porque también contienen las frecuencias dominantes de las fuentes que generaron las ondas. Al cociente entre H_f (ω) y V_f (ω), Nakamura lo llama QTS por las siglas en inglés de Quasi Transfer Spectrum (cuasi-espectro de transferencia).

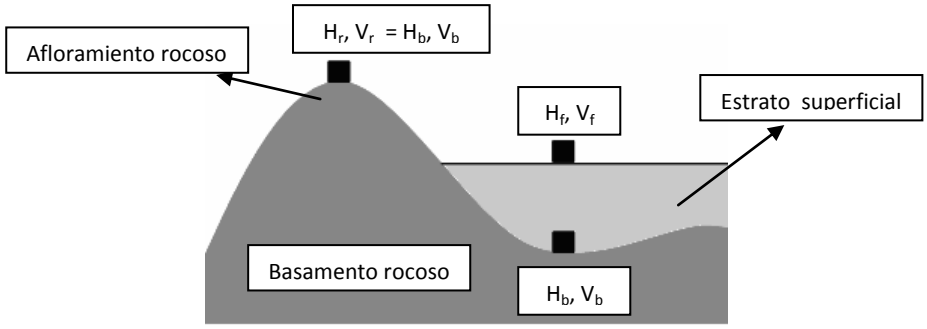


Figura 1: Estructura geológica típica de un basamento sedimentario [7].

Nakamura [7] considera que H_b (ω) y V_b (ω) son iguales a los espectros en un afloramiento rocoso, a los que llama H_r (ω) y V_r (ω) (ver Figura 1). Esto puede considerarse como una aproximación ya que si bien los picos entre estos valores coinciden, las magnitudes no.

Si se tienen los espectros de amplitud en la capa rocosa, es decir H_b y V_b, se podrían realizar los cocientes entre las componentes horizontales y verticales entre el

estrato superficial y el basamento rocoso, obteniendo funciones de transferencia (ecuación 1) T_h (ω) y T_v (ω) que permitirían eliminar el efecto de la fuente y obtener las frecuencias naturales de los suelos, si el valor de T_v (ω) es cercano a 1, entonces el efecto de las ondas Rayleigh es cercano a cero.

$$T_V\ (\omega) = \frac{V_{f(\omega)}}{V_b(\omega)} \qquad T_h\ (\omega) = \frac{H_{f(\omega)}}{H_b(\omega)} \qquad (1)$$

En muchas ocasiones es difícil poseer los valores de las componentes de movimiento en el basamento rocoso H_b y V_b, por lo que Nakamura propone la utilización de una función de frecuencia modificada T_m (ω), la cual relaciona las funciones de transferencia T_h (ω) y T_v (ω):

$$T_m(\omega) = \frac{T_{h(\omega)}}{T_V(\omega)} = \frac{H_{f(\omega)}/H_b(\omega)}{V_{f(\omega)}/V_b(\omega)} \qquad (2)$$

Si se considera que para un amplio rango de frecuencias, donde existe un substrato firme, la relación entre H_b (ω) y V_b (ω) es aproximadamente igual a uno, entonces la el cociente será:

$$T_m(\omega) = \frac{T_{h(\omega)}}{T_V(\omega)} = \frac{H_{f(\omega)}}{V_{f(\omega)}} \qquad (3)$$

Puede ser demostrado tanto teórica como empíricamente que, independientemente del tipo de ondas y de su importancia relativa en los registros de los movimientos superficiales H_f (ω) y V_f (ω), la relación entre éstos, es decir el cociente H/V, presenta un pico en concordancia con la frecuencia fundamental del depósito de suelo ω_o asociada a las vibraciones horizontales [9].

Para el cálculo del amortiguamiento se consideró la respuesta de la función del sistema, para nuestro caso, el suelo. Una propiedad importante de la curva de función de respuesta en frecuencia del sistema se muestra en la figura 2 donde se define el ancho de banda o potencia media [5]. Si ω_1 y ω_2 son las frecuencias de media potencia a cada lado de la frecuencia resonante en la que la amplitud u_0 es $1/\sqrt{2}$, y ω_0 es la máxima frecuencia obtenida en el sistema, entonces la razón de amortiguamiento ς se puede obtener mediante la siguiente ecuación [1]:

$$\varsigma = \frac{\omega_2 - \omega_1}{2\omega_0} \qquad (4)$$

La razón de amortiguamiento ς es el cociente entre el coeficiente de amortiguamiento c y el coeficiente de amortiguamiento crítico $c_{cr} = 2m\omega_n$, donde ω_n es la frecuencia natural del sistema.

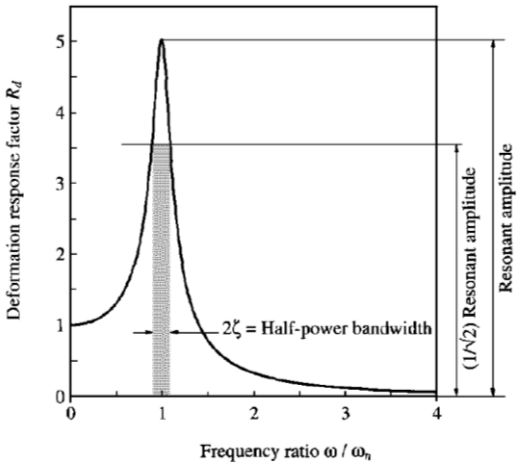


Figura 2: Definición del ancho de banda de media potencia [1].

3 Metodología de trabajo y procesamiento de señales

3.1. Instrumentos Utilizados

Para las mediciones se utilizaron acelerómetros modelo Basalt (Figura 3) de la compañía Kinemetrics. Este instrumento ofrece una gran cantidad de datos en tiempo real y sólo se necesita un navegador web para tener un muestreo simultáneo de todos los canales o para modificar los parámetros de funcionamiento, tal como el tiempo de grabación del registro. Poseen un sensor triaxial interno de fuerza balanceada (EpiSensor Force Balance) por lo que son capaces de registrar en las tres componentes (dos horizontales perpendiculares entre sí y la otra vertical), además cuenta con un sistema GPS (Sistema de Posicionamiento Global) que permite obtener la posición del sitio donde se efectuó la medición y la sincronización horaria.

Para los trabajos de campo se utilizaron, además del acelerómetro, una batería de 12 Volt y una computadora personal.

Figura 3: Acelerómetro utilizado para las mediciones.

3.2. Sitio de medición

Las mediciones se realizaron dentro del recinto de la Facultad Regional Mendoza, la cual se encuentra emplazada en la Capital de la Provincia de Mendoza. En esta región, y según los estudios de microzonificación sísmica del Gran Mendoza, los niveles de aceleración instrumental oscilan entre 0,30 g y 0,40 g [11].

En las proximidades de la zona donde se tomaron las mediciones, las características del terreno, fueron determinadas mediante estudios de suelos. Para ello se realizaron ensayos de humedad, densidad, granulometría, limites de Atterberg, peso específico, deyección natural en suelos granulares y triaxial escalonado. Se identificaron los suelos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos de Casagrande y se realizaron ensayos de placa según la norma AASHTO [8].

Los sondeos realizados indicaron que el primer estrato de terreno, cuyo espesor es de aproximadamente 120 cm, se encuentra conformado por rellenos limosos, mezclados con restos de escombros, vidrios y restos de ladrillos macizos de arcilla cocida. El segundo estrato, cuyo espesor varía entre los 330 y 380 cm, está conformado por un suelo arenoso, grueso, no plástico con escasa capacidad de carga. El siguiente estrato, cuyo espesor varía entre los 140 y 170 cm, está conformado por un suelo arenoso, grueso, no plástico, seguido por un estrato de espesor variable (180 a 210 cm) de arenas limosas, el cual es menos denso que el estrato inmediatamente superior. El estudio efectuado determinó que se estaba en presencia de un suelo tipo III (Blandos), según la clasificación de los reglamentos locales. Esta clasificación fue confirmada mediante ensayos estándares de penetración (SPT) y a través de la velocidad de la onda de corte cuyo valor promedio, a distintas distancias, fue de Vc = 180 m/seg.

Debido a que se contaba con antecedentes sobre la frecuencia aproximada del suelo en las cercanías de la Facultad Regional Mendoza, más precisamente donde se ubica la residencia Universitaria, se consideró como sitio para la toma de datos el campus de la Facultad Regional Mendoza, la cual posee un amplio espaciamiento sin interferencia de estructuras importantes. La ubicación exacta de este sitio es de 32º 53’ 50,34’’ de Latitud Sur y de 68º 51’ 9,35’’ de Longitud Oeste.

El acelerómetro fue colocado en el centro de la cancha de futbol, sobre una placa metálica dando un acoplamiento artificial entre el suelo y el instrumento, lo que permitió un mejor nivelado del mismo. Las perturbaciones por fuentes transitorias fueron importantes debido al constante paso de transeúntes, automóviles, ómnibus y metro tranvía en las cercanías del sitio en estudio, por ello fue necesario aumentar la duración de las mediciones para poder tener suficientes ventanas para el posterior análisis y así efectuar la eliminación transitoria.

3.3. Toma de Datos

Para la finalidad de este trabajo se tuvo en cuenta un único punto de medición y se fueron variando los tiempos de duración de cada registro de acuerdo a la frecuencia mínima esperada. Es importante tener en cuenta que los parámetros utilizados para realizar la medición influyen en la calidad y fiabilidad de los datos obtenidos.

Todas las mediciones se realizaron entre las 18 y 20 horas durante los días hábiles de una semana con actividad universitaria normal, utilizando una razón de muestreo de 250 muestras por segundo (mps). Las primeras mediciones se tomaron con un tiempo de duración de 3 minutos, es decir que el instrumento comenzó a registrar de modo continuo y almacenó los registro cada 3 minutos, luego se fue variando este parámetro a 5, 10 y finalmente 30 minutos.

3.4. Procesamiento de los datos.

Para el procesamiento y análisis de los datos se utilizó el programa Geopsy [4], es una interfaz gráfica que permite organizar, ver y procesar señales geofísicas, está diseñado principalmente para la sismología y prospección sísmica.

Este programa permite leer el formato del archivo original guardado por el instrumento (acelerómetro Basalt) evitando la perdida de datos que en general se produce al utilizar herramientas de conversión. Almacena las señales como series de tiempo, y las muestra graficadas en una ventana en el marco principal de Geopsy.

El programa permite determinar la relación entre las amplitudes del espectro de Fourier de las componentes horizontal H y vertical V de las vibraciones de ruido ambiental registradas en una estación. Para el cálculo de la relación espectral H/V el programa sigue los siguientes pasos:

- Toma la señal de ruido ambiental de cada canal grabada por el instrumento en tres componentes (dos horizontales y una vertical).
- Selección de las ventanas de tiempo más estacionarias (por ejemplo usando un algoritmo anti-triggering) con el fin de evitar el ruido transitorio (transeúntes, tráfico cercano, maquinarias en funcionamiento, etc.). El anti-triggering detecta los transitorios y los elimina del procesamiento. El principio para detectar los transitorios se basa en la comparación entre los promedios de dos amplitudes de la señal analizada, uno de ellos de periodo corto denominado *sta* (*short term average*) y el otro de periodo largo denominado *lta* (*long term average*), para el *sta* el tiempo típicamente varía entre 0,5 a 2 segundos y para el *lta* suele ser de varias decenas de segundos. La relación entre ambos promedios, es decir *sta/lta*, debe variar entre un máximo (2,5) y un valor mínimo (0,2); si se supera el valor del umbral establecido se considera que ha ocurrido un evento (criterio de selección tomado del programa J-Sesame). Para nuestro estudio adoptamos una selección automática de ventanas (figura 5).
- Calcula y suaviza la amplitud del espectro de Fourier para cada ventana de tiempo. Se utilizó un tapering de coseno del 5% (Figura 4).
- Promedia dos componentes horizontales, utilizando la media cuadrática.
- Calcula y grafica la relación espectral H/V para cada ventana (Figura 6).
- Computa y grafica la media de la relación espectral H/V (Figura 7).

4 Resultados

De las mediciones realizadas se seleccionaron dos registros con cada tiempo de duración adoptado. En la tabla 1 se han resumido los resultados obtenidos para cada registro.

Se puede observar que los valores pico de las frecuencias fundamentales del suelo fueron muy similares en todos los registros, cuyo valor medio fue de 5,64 Hz, que corresponde a un periodo medio de T= 0,177 segundos. Las seis determinaciones arrojan una dispersión de 0,079 y el período fue, en todos los casos, muy cercanos a 0,20 seg, que es el valor de referencia realizado en otros estudios y con otras técnicas.

Durante el procesamiento de las distintas señales se pudo observar una importante presencia de señales de mayor amplitud debido al paso del metro tranvía, estas amplitudes, fácilmente observables en los gráficos, fueron filtradas automáticamente por el algoritmo (anti-triggering) aplicado (Figura 5).

Tabla 1. Resultados obtenidos del procesamiento de las señales tomando dos registros por cada tiempo de medición adoptado.

Nombre Designado al Registro	Tiempo de medición adoptado en minutos	Desviación estándar	Frecuencia pico de la relación H/V en Hz	Razón de Amortigua-miento ς	Periodo del Suelo obtenido en segundos
201306-3	3	+/- 0,5788	5,70	20 %	0,175
201306-2	3	+/- 0,6131	5,50	19 %	0,183
201306-4	5	+/- 0,8290	5,66	22 %	0,177
2003C7-1	5	+/- 0,5792	5,60	19 %	0,178
2017CB-1	30	+/- 0,4272	5,68	19 %	0,176
201306-1	30	+/- 0,4258	5,71	21 %	0,175

A continuacion se muestran algunos de los gráficos obtenidos durante el procesamiento de los distintos registros, donde se pueden observar las señales obtenidas por cada canal (Figura 4), además del modo de selección de ventanas (Figura 5) que proporciona el programa computacional utilizado y los resultados de la relación espectral H/V (Figura 6 y 7).

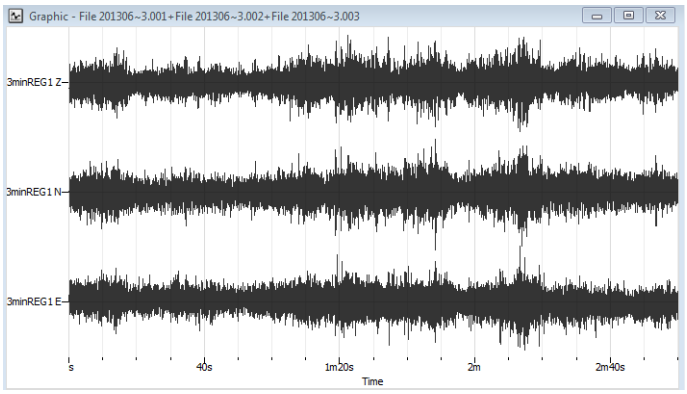


Figura 4: señal de uno de los registros tomados donde ya se le ha efectuado la corrección de línea de base. Se puede observar la señal en cada uno de los canales; el canal vertical (Z), y los canales horizontales Norte-Sur (N) y Este-Oeste (E).

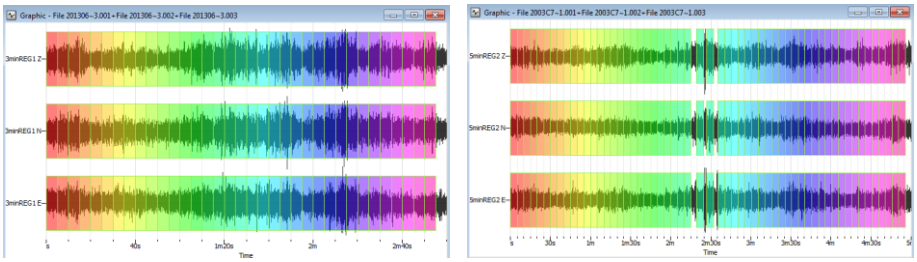


Figura 5: Selección automática de ventanas. El programa tiene la posibilidad de incorporar un algoritmo al encontrar una amplificación en la señal debido a un ruido transitorio. Se observa en la figura de la izquierda la selección de ventanas sin el algoritmo (anti-triggering) por lo que el programa considera toda la señal, mientras que en la figura de la derecha se ha eliminado el transitorio que provoca, en este caso, el paso del metro tranvía durante la medición, al seleccionar en el programa la inclusion del algoritmo.

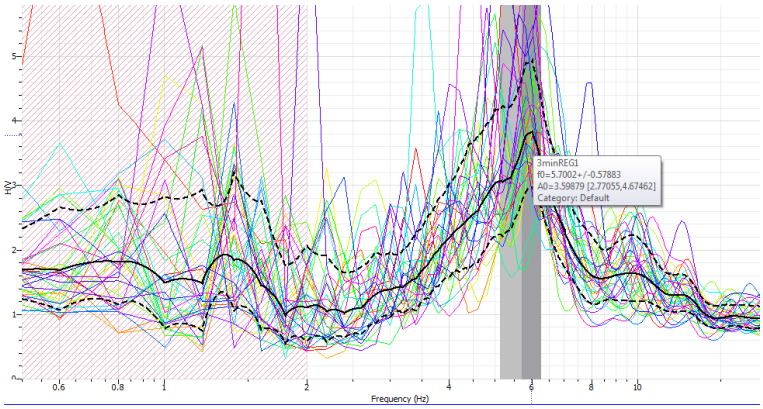


Figura 6: Visualización de los resultados de la relación espectral H/V considerando todas las ventanas tomadas por el programa. En absisas se muestran los valores de la frecuencia en (Hz) y en ordenadas los de la relación espectral (H/V).

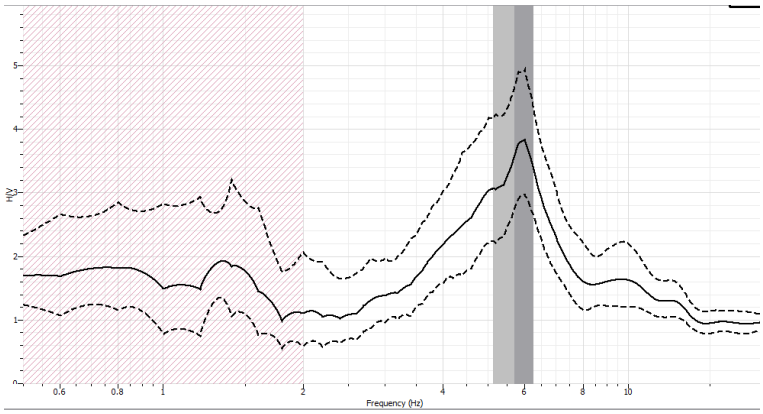


Figura 7: Visualización de los resultados de la relación espectral H/V eliminando las ventanas y considerando los valores medios.

Dado el conocimiento disponible de los primeros estratos de suelo en el sitio de estudio, es posible contrastar los resultados obtenidos con el cálculo del periodo predominantemente elástico mediante la siguiente ecuación:

$$T_{p-elastico} \cong \frac{4H}{V_S} = \frac{4x8{,}80m}{180\,\frac{m}{s}} \cong 0{,}20\ seg. \quad (f = 5Hz) \qquad (5)$$

Se tomó como profundidad H, del estrato de terreno fino ubicado sobre roca, una cota de -8,80 metros desde el nivel de terreno natural, profundidad donde, según los ensayos realizados, aparece la grava. Por debajo de esta cota no se cuenta con mayor información, es decir que no se conoce la profundidad a la cual se encuentra la roca,

por lo que el valor de período encontrado debe pensarse como un valor de cota inferior.

5 Conclusiones

Los resultados obtenidos muestran que a distintas horas y con distintos transitorios que intervinieron durante las mediciones, los cuales aparecen bien marcado al procesar cada uno de los registros, los valores pico de las frecuencias fundamentales del suelo son muy similares en todos los registros. Los valores obtenidos muestran una frecuencia media de 5,64 Hz, que corresponde a un periodo medio de T= 0,177 segundos. Las seis determinaciones arrojan una dispersión de 0,079.

El periodo de referencia de 0,20 segundos, obtenido mediante otras técnicas, arroja resultados similares a los alcanzados a través de la metodología propuesta.

Se puede afirmar que, la metodología propuesta utilizando el cociente espectral H/V es una forma adecuada y eficaz para obtener frecuencias fundamentales y amortiguamiento del suelo a través de micro vibraciones, pues proporciona valores muy cercanos a los reales obtenidos con otros métodos.

Se observo también que no es necesaria la realización de mediciones en rangos de tiempo mayores a 3 minutos, ya que para el caso en estudio, si bien en mayores tiempos de grabación del registro se amplía el rango de frecuencia, se obtienen resultados similares a los obtenidos con tiempos de mediciones menores.

Este método posee la ventaja de poder aplicarse en cualquier momento debido a que el valor del período fundamental no depende del tiempo en el cual se tomó la medición. Además es una herramienta de fácil uso y que no requiere de grandes equipos e instrumentos.

En cuanto al amortiguamiento, los valores obtenidos, para las mediciones efectuadas, comprenden un rango entre 19% y 22%. Esta razón de amortiguamiento se obtuvo utilizando el método de medio ancho de banda [1], y se verificaron los valores utilizando el método de autocorrelación [10], obteniendo resultados muy similares a los encontrados.

6 Agradecimientos

Este trabajo será utilizado como parte del proyecto de investigación 25/J088 denominado “Determinación Experimental de Periodos Fundamentales del Suelo en la Zona de Mayor Riesgo Sísmico del Gran Mendoza” el cual se desarrolla actualmente en el CeReDeTec (Centro Regional de Desarrollos Tecnológicos) de la Facultad Regional Mendoza.

Los autores desean expresar su agradecimiento al Ing. Francisco Calderón por su colaboración y las constantes contribuciones brindadas a los autores del presente trabajo.

7 Referencias

1. Anil K. Chopra. Dynamics of Structures. Theory and application to earthquake engineering.
2. INPRES - CIRSOC 103 – 1992.
3. Jonathan D. Bray, Adrian Rodriguez-Marek (2004). Characterization of forward-directivity ground motions in the near-fault region.
4. Manual de Uso de programa Geopsy, http://www.geopsy.org/documentation/geopsy/
5. Mario Paz, Dinámica Estructural. Teoría y Cálculo.
6. Nakamura Y. (1989). A method for dynamic characteristic estimation of subsurface using microtremors on the ground surface. Quarterly Report of Railway Technical Research Institute, Vol 30, pp 25-33.
7. Nakamura, Y. (2000). Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications, Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, paper 2656, 2000.
8. Norma AASHTO t222-81. American Association of State Highway and Transportation Officials.
9. Ritta R., Suárez L., Pando M. (2012). Determinación del periodo fundamental del suelo usando vibración ambiental y el cociente espectral Horizontal/Vertical. Asociación Argentina de Mecánica Computacional Vol. XXXI. Págs. 1399-1419.
10. Ruiz S, Saragoni G.R. (2009). Free vibration of soils during large earthquakes. Soil Dynamic and Earthquake Engineering.
11. Tornello M., Frau C. (2010). Experiencias sobre asilamiento sísmico en Mendoza, Argentina. Diseño, modelación y construcción. Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras, vol. 15, 1, 1-47 (2010).

Identificación de Sistema y Actualización de Modelo de un Pórtico Reforzado con FRP

Francisco Alberto Calderón[1] y Gustavo Luis Palazzo[2]

[1] Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, CeReDeTeC, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza,
Rodrigues 273 Mendoza, Argentina
[2] CeReDeTeC, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza,
Rodrigues 273 Mendoza, Argentina
francisco.calderon@frm.utn.edu.ar, gpalazzo@frm.utn.edu.ar

Resumen. Las estructuras aporticadas pueden ser reforzadas con material compuesto, pero es necesario contar con metodologías de evaluación de las construcciones antes y después de su implementación, a los efectos de estimar la eficacia de la mejora implementada. En este trabajo se considera un pórtico de hormigón armado sometido a acciones dinámicas en una mesa vibradora, tanto en su condición inicial como luego de ser reforzado con tejido de fibra de vidrio. Para evaluar las mejoras logradas en la estructura se realizó una identificación de sistemas, que consiste en determinar los parámetros dinámicos de la misma. La evaluación de la variación de estos parámetros antes y después del refuerzo, permite estimar la eficiencia lograda con la aplicación del refuerzo. Además, se consideró un modelo numérico de la estructura con/sin refuerzo, y los parámetros mecánicos que deben actualizarse, en base a las propiedades dinámicas medidas, para lograr reproducir el comportamiento experimental. En las conclusiones se resaltan las consideraciones para la identificación de sistemas y la actualización del modelo numérico.

Palabras Clave: Refuerzo Estructural, FRP, Identificación de Sistemas, Actualización de Modelo.

1 Introducción

Los materiales compuestos, tal como los polímeros reforzados con fibra de vidrio, constituyen una técnica eficiente para el refuerzo de estructuras de hormigón armado. Pero una vez que una estructura es reforzada, es conveniente disponer de tecnologías que permitan *evaluar las mejoras logradas* en la construcción. Una de esas tecnologías es la identificación de sistemas. Excitada la estructura, por ejemplo con vibraciones ambientales, la identificación de sistema permite determinar las frecuencias, formas modales y amortiguamiento de la construcción. Si esta metodología se aplica antes y después de realizar un refuerzo estructural, se podrá con los parámetros dinámicos estimar la mejora alcanzada. Es necesario también desarrollar modelos numéricos que permitan reproducir la respuesta de una estructura, basado en las propiedades dinámicas determinadas experimentalmente.

En este trabajo se considera un pórtico de hormigón armado, de un nivel y un vano en cada dirección, diseñado con un código sismorresistente antiguo. La estructura fue sometida a excitaciones dinámicas en una mesa vibradora. La amplitud de la excitación se fue aumentando hasta llegar a un nivel cercano a la capacidad máxima de la estructura. Luego se implementó un refuerzo consistente en la restauración de la vinculación columnas y bases, más la incorporación de tejido de polímeros reforzados con fibra de vidrio en los extremos de columnas y vigas. Se aplicaron posteriormente excitaciones dinámicas de amplitudes crecientes, con iguales características que en el caso de la estructura sin refuerzo. Las particularidades de la estructura y de los ensayos realizados se presentan en la sección siguiente. Posteriormente se describe la metodología aplicada para la identificación de sistemas de la estructura original y la estructura con fibra de vidrio. A continuación se describe el modelo numérico desarrollado para la estructura con/sin refuerzo, y los parámetros considerados para actualizar el mismo, según las propiedades dinámicas medidas a través de la identificación de sistemas. En las conclusiones se destacan las consideraciones a tener en cuenta para la identificación de sistemas y la actualización de modelos numéricos en estructuras reforzadas con materiales compuestos.

2 Estructura Ensayada

En esta sección se describe el prototipo ensayado en su estado original, y la metodología de rehabilitación implementada luego de la primera serie de inputs dinámicos aplicados al pórtico. Se mencionan además los parámetros de respuesta considerados en el estudio, y las principales características de la excitación dinámica aplicada.

2.1 Parámetros geométricos y mecánicos del prototipo

La estructura ensayada estuvo conformada por el pórtico de hormigón armado que se muestra en la Figura 1. La geometría del mismo se presenta en la Figura 2, y las dimensiones de sus elementos estructurales en la Figura 3.

Fig. 1. Pórtico de hormigón armado en mesa vibradora de la Universidad Nacional de San Juan.

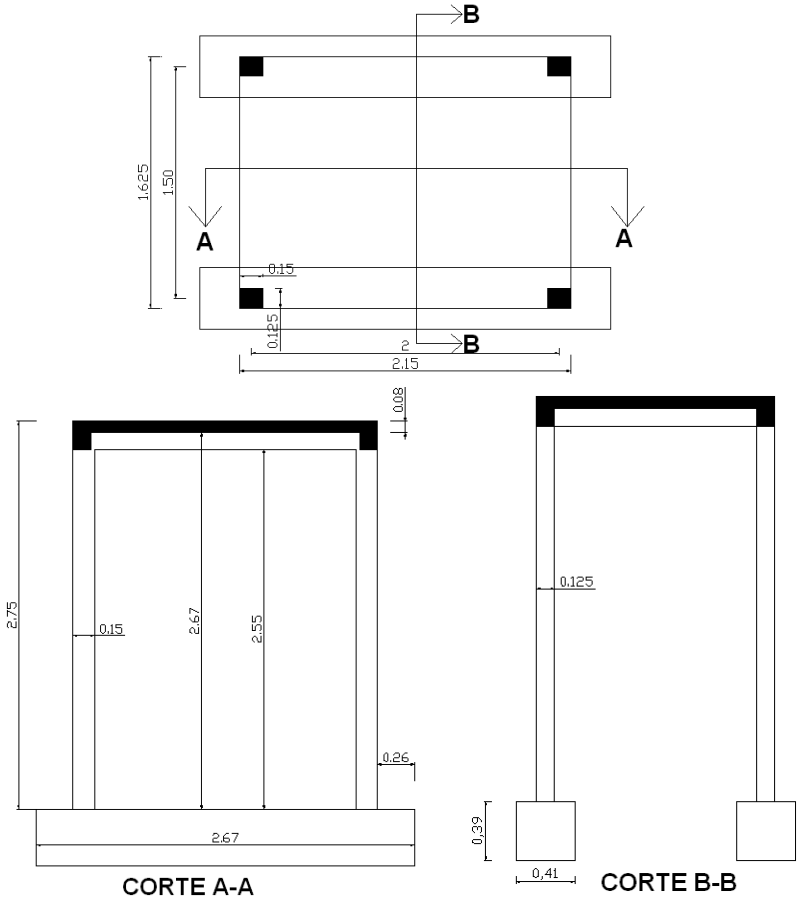


Fig. 2. Parámetros geométricos del prototipo ensayado.

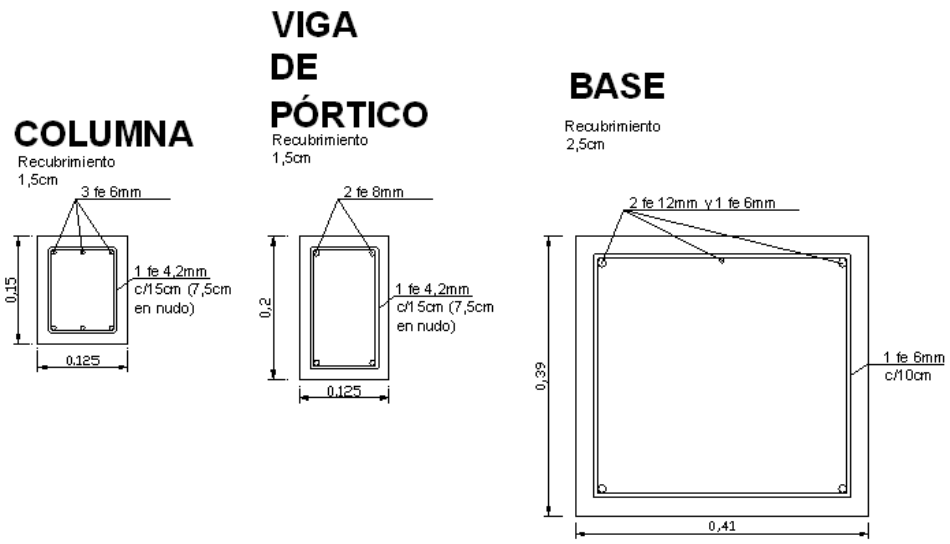


Fig. 3. Dimensiones de la sección transversal de los elementos estructurales del pórtico.

Sobre la losa se dispusieron dos bloques de hormigón, que en conjunto tenían un peso de 12.0 kN. El peso total del prototipo, considerando un peso específico del hormigón armado de 24 kN/m3, fue de 46.39 kN (con un peso de 34.38 kN para la estructura sin los bloques agregados, y de 13.81 kN para la estructura sin las bases).

Si bien en la Figura 3 se indica un recubrimiento de 1.5 cm, se observó al picar el pie de las columnas que este valor era mayor. Tomando el promedio de los valores medidos se adoptó como recubrimiento para los modelos teóricos un valor de 1.8 cm.

Durante el hormigonado de toda la estructura se confeccionaron tres probetas normalizadas, que arrojaron una tensión de rotura promedio de 28 MPa. Tomando como base las consideraciones del reglamento CIRSOC 201 (2005) [1], se adoptó una resistencia característica f'c de 20 MPa. El módulo de elasticidad longitudinal E medido en una de las probetas, fue de 26596 MPa (un 26.5% mayor al que se obtiene en función de f'c según el reglamento CIRSOC 201 2005 [1]).

Como armadura se emplearon barras nervuradas Acindar, clase ADN 420 (no se realizaron ensayos para corroborar la tensión de fluencia característica de este material).

La capacidad nominal a flexión de las columnas (considerando una carga axial de compresión de 7.95 kN) fue de 4.20 kNm, mientras que las vigas tenían una capacidad nominal a flexión de 6.20 kNm. Estos valores fueron obtenidos con las planillas de cálculo CIRSOC_Flex, disponibles en la página web del CIRSOC. Se tiene así un diseño de columna débil – viga fuerte, con capacidad de fuerza lateral máxima de aproximadamente 12.44 kN (considerando la formación de rótulas plásticas en cabeza y pie de columnas).

La capacidad a corte de cada columnas en zona de extremos (con estribos de 4.2

mm de diámetro y una separación de 75 mm, según se muestra en Figura 3) es de 19.4 kN, con una capacidad a corte basal de la estructura de 77.5 kN (capacidad nominal determinada según CIRSOC 201, 2005 [1], sin considerar el aporte del hormigón). Este último valor es inferior a la capacidad de 12.44 kN dada por la formación de rótulas plásticas en las columnas, por lo que se espera este último mecanismo de colapso para el pórtico.

2.2 Estados de carga aplicados

El pórtico fue sometido a una serie de 5 ensayos en mesa vibradora. Se comenzó con una aceleración de base de 5% de g. y finalmente se llegó a una aceleración de 15% de g (con algunos picos de 30% de g), para el pórtico sin refuerzo. Una vez realizadas los refuerzos se precedió a someter nuevamente el pórtico a 5 ensayos dinámicos, desde 5% de g hasta 20% de g (con picos de 50% de g).

2.3 Cuantificación del daño

La cuantificación del daño se estimó a través de la degradación de la rigidez de los pórticos. Dicha rigidez se obtuvo a partir de las mediciones realizadas mediante los LVDT (para cuantificar el desplazamiento o distorsión del pórtico) y con la medición de la aceleración multiplicada por la masa del pórtico. Con estas magnitudes se realizaron curvas del tipo histeréticas y de esta manera se estimó la rigidez. En la Figura 4 se presenta una de las curvas Fuerza – Desplazamiento utilizadas para la cuantificación del daño.

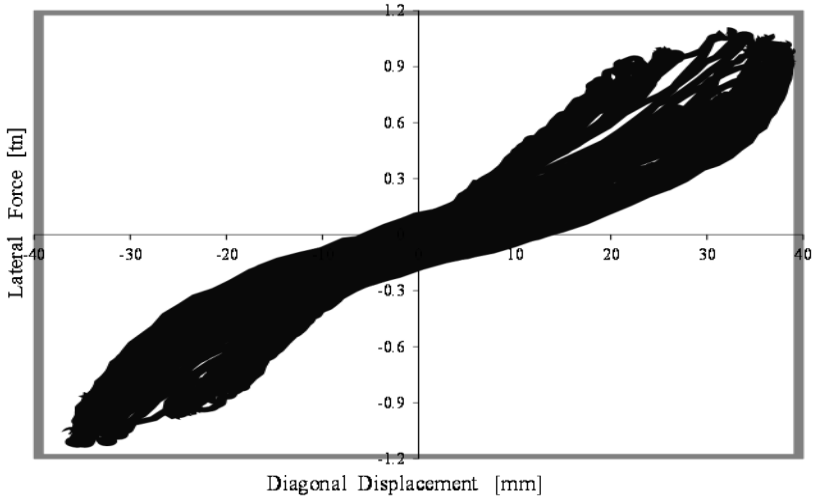


Fig. 4. Curva Fuerza – Desplazamiento para la diagonal del pórtico, utilizada para estimar la rigidez del mismo.

En la Figura 5 se presenta la degradación de la rigidez para cada ensayo, como se

puede apreciar en los ensayos iniciales de la estructura sin refuerzo el daño progresó rápidamente en los últimos dos ensayos a diferencia de los ensayos en la misma estructura reforzada con fibras donde la rigidez se mantienen prácticamente constantes.

En la Figura 6, se representó la rigidez pero esta vez en función de la aceleración, por lo que en este gráfico se puede apreciar mejor el progreso del daño en el pórtico sin refuerzo, ya que solo se puedo llegar a ensayar con picos de aceleración de 3 m/s2 y en el pórtico reforzado aun con picos de 5 m/2 la rigidez se mantiene prácticamente constante por lo que se deduce que el daño se mantuvo controlado.

De estas figuras se desprenden conclusiones importantes. En primer lugar se determinó que la rigidez inicial del pórtico cayó a un 50% de la rigidez inicial luego de los primeros 5 ensayos dinámicos. El refuerzo llegó a un 86% de la rigidez inicial, por lo que desde este parámetro se puede estimar que el refuerzo fue de un 172% respecto del pórtico totalmente dañado y luego de una nueva serie de 5 ensayos la mejora fue de un 152% respecto del dañado y logro una rigidez de 76% del pórtico original sano al final de los 5 ensayos, o sea que su degradación fue de 24% respecto del original, contra 50% del pórtico sin refuerzo.

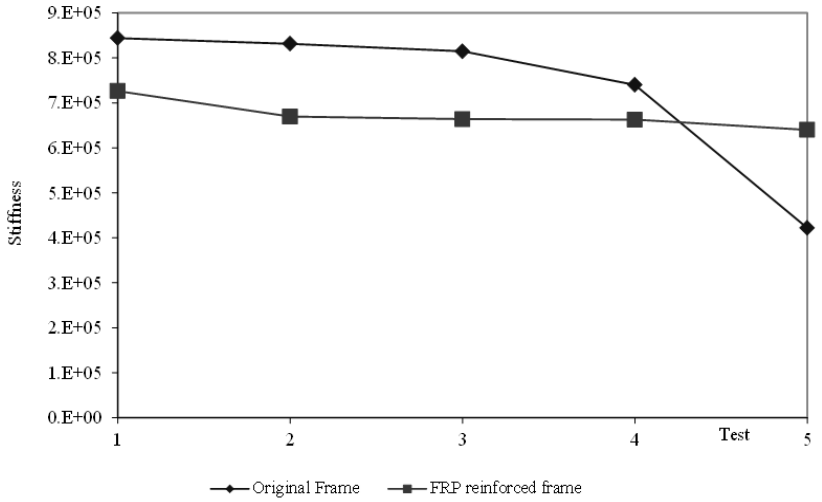


Fig. 5. Progreso del daño para cada ensayo medido a través de la rigidez del pórtico.

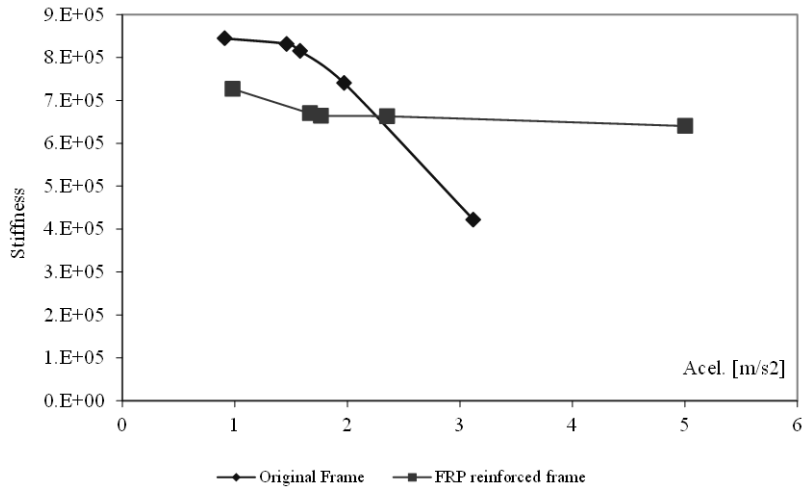


Fig. 6. Progreso del daño para distintos niveles de la aceleración medido a través de la rigidez del pórtico.

3 Características Dinámicas de la Estructura a través de la Identificación de Sistemas

Se realizaron dos procedimientos de identificación de sistemas: en uno de ellos se consideraron las aceleraciones medidas durante los ensayos en mesa vibradora; en el otro se tuvieron en cuenta las aceleraciones registradas durante vibraciones ambientales. En las subsecciones siguientes se describen estos procedimientos y resultados, detallando previamente el instrumental empleado y el procedimiento de muestreo de datos.

3.1 Instrumental y procedimiento de muestreo de datos

3.1.1 Para medición de aceleraciones durante los ensayos en mesa

Para la adquisición de datos se utilizaron dos tipos de acelerómetros. Durante el ensayo en mesa vibradora se utilizaron tres acelerómetros, dos de marca TERRA, con rango de 1 y 2.5 v/g y un acelerómetro diseñado en la Universidad de San Juan, con fines de calibración, la ubicación de los mismos se presenta en la Figura 7. Con el objetivo de medir la distorsión del pórtico se colocaron en las diagonales paralelas a la excitación dos LVTD con un rango de 2 v/cm y una carrera de 5 cm. En el primer y segundo ensayo solo se obtuvieron los registros durante el tiempo que duraba la excitación de la mesa vibradora.

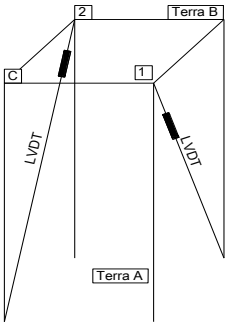


Fig. 7. Disposición del instrumental de medición durante el ensayo.

3.1.2 Para medición de aceleraciones durante vibraciones ambientales

Una vez finalizado las dos series de ensayos (pórtico libre y pórtico reforzado), se utilizó para las mediciones de vibraciones ambientales tres acelerómetros BASALT de la marca KINEMETRICS, Figura 8.

Fig. 8. Acelerómetros digitales Basalt (Kinemetrics) [2].

Para el ensayo se colocó en posición el acelerómetro y se comenzó la medición. La duración de los registros de la primera medición fue de 1 minuto, y la de la segunda medición realizada fue de 20 minutos. Para la primer medición de vibración ambiental se utilizó una frecuencia de muestreo de 200 Hz y para la segunda 250 Hz.

3.2 Identificación de sistemas y cuantificación del daño basado en las aceleraciones medidas durante los ensayos en mesa

Durante el ensayo en mesa vibradora la frecuencia se estimó construyendo la curva de resonancia (Ra vs. f) (Figura 9) de estas curvas se pudo determinar la frecuencia de la estructura y a través del método de semi-ancho de banda se determinó el amortiguamiento de la estructura [3]. Se presenta en la Tabla 1 los resultados de dicho ensayo.

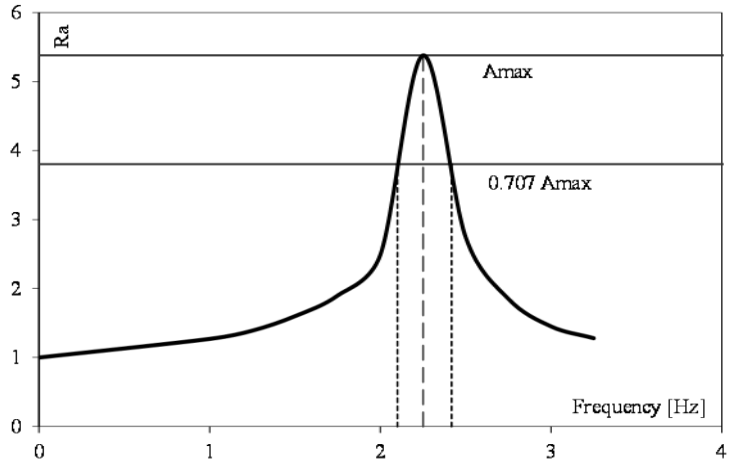


Figura 9. Curva de resonancia y método del semi-ancho de banda para el pórtico reforzado con FRP.

Tabla 1. Variación de la frecuencia y el amortiguamiento del pórtico en los ensayos en mesa vibradora.

Pórtico	Ensayo	Frec. [Hz]	ξ [%]
Original	1º	2.75	4.00
	5º	1.50	8.80
Reforzado	1º	2.25	7.00
	6º	2.10	7.00

Puede también cuantificarse en daño estructural a través de las mediciones de las frecuencias realizadas durante los ensayos. De aquí se dedujo que el pórtico sufrió una degradación del periodo o frecuencia de 45,5% respecto del pórtico sano luego de los primeros 5 ensayos. El refuerzo llegó a un 81,8% del periodo inicial, por lo que desde este parámetro se puede estimar que el refuerzo fue de un 150% respecto del pórtico totalmente dañado y luego de una nueva serie de 5 ensayos la mejora fue de un 140% respecto del dañado y logro una rigidez de 76% del pórtico original sano al final de los 5 ensayos o sea que su degradación fue de 24% respecto del original, contra 45,5% del pórtico sin refuerzo.

Además tanto en términos de frecuencia como rigidez la degradación del pórtico reforzado durante los últimos 5 ensayos fue solamente de 7% y 11,8% respectivamente.

3.3 Identificación de sistemas basada en mediciones de vibración ambiental

Para el análisis de las mediciones de vibración ambiental se utilizó el método de

detección de pico. Este método consiste en generar el espectro de Fourier de la señal e identificar los picos en este espectro a fin de conocer la frecuencia natural de la estructura [4]. Solo se hicieron mediciones de vibración ambiental después del último ensayo en el pórtico reforzado, por lo que no es posible poder comparar con el estado inicial.

Por lo que el objetivo de estas mediciones fue comparar la frecuencia medida durante la última etapa del ensayo, ya que dicha medición se ve afectada por el input colocado. Además como se explicó en párrafos anteriores se realizaron dos mediciones de vibración ambiental, la primera con una frecuencia de muestreo de 200 Hz (Figura 10) y registros de 1 minuto de duración y la segunda con una frecuencia de muestreo de 250 Hz (Figura 11) y registros de 20 min de duración.

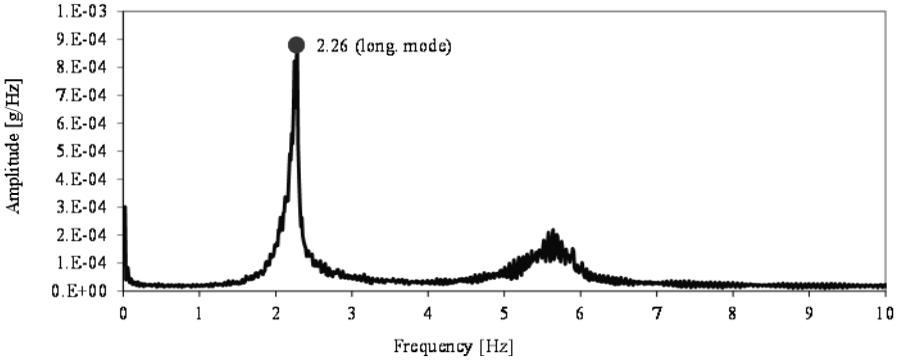


Fig. 10. FFT para mediciones de vibración ambiental con una frecuencia de muestreo de 200Hz.

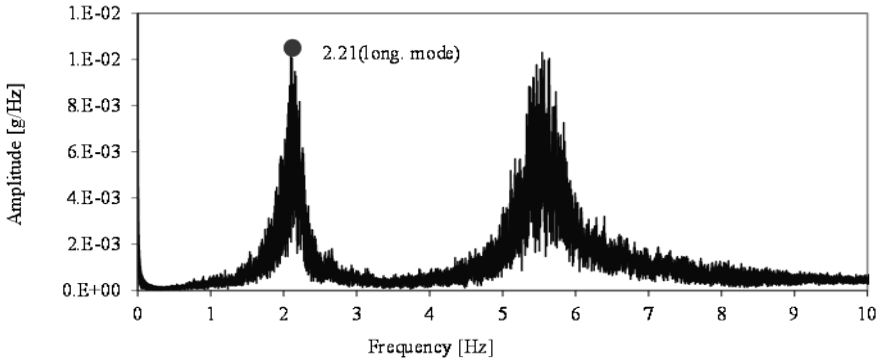


Fig. 11. FFT para mediciones de vibración ambiental con una frecuencia de muestreo de 250Hz.

Tabla 2. Resultados obtenidos de las mediciones con vibración ambiental.

Ensayo	Frcc. Muestreo [Hz]	Registros	Longitud registro [min]	μ [Hz]	σ^2 [Hz]
1	200	25	1	2.26	0.03
2	250	9	20	2.21	0.07

4 Modelo Numérico y Actualización Según Parámetros Modales Medidos

4.1 Procedimiento de actualización del modelo

Con el fin de que el modelo represente fielmente el comportamiento dinámico de la estructura se realizó la actualización del mismo. La forma simple de hacerlo es modificando algún parámetro en el modelo que mueva la frecuencia de acuerdo a lo medido mediante los ensayos de vibración ambiental o mediante la campana de resonancia.

Para el inicio de los ensayo se realizó un modelo en Seismostruct [5], el cual fue actualizado respecto a la curva de resonancia. Para realizar dicha actualización se utilizó la ecuación 1, que surge de la ecuación de periodo para sistemas de un grado de libertad, cabe aclarar que esta ecuación es válida para estructuras con poco daño ya que por ejemplo en el último ensayo tuvo un comportamiento de pórtico articulado en la base por lo que la rigidez no es la misma que al inicio.

Resumiendo el procedimiento para la actualización propuesta en esta sección, la misma consiste en: i) medición de la frecuencia natural de la estructura, ii) realización de un modelo numérico, con datos de ensayos (f'c, fy, Ec, Es, masas reales, geometría real, etc…), iii) aplicación de la ecuación 1 o 2 dependiendo del parámetro a modificar, iv) actualización del modelo.

En el programa utilizado [5] la rigidez de la sección se puede controlar mediante la modificación la tensión de compresión del hormigón ya que está relacionada con el módulo elástico del mismo, por lo que la ecuación utilizada es la 2 para este programa.

En las Tablas 2 y 3 muestran las frecuencias de los modelos primitivos y actualizados y se estimó el error respecto a la medición durante los ensayos en mesa vibradora, cabe aclara que mediante la aplicación de la ecuación 2 se realiza la actualización del modelo en una iteración.

$$K_{nuevo} = \frac{K_{modelo}}{\rho} \quad . \qquad \textbf{(1)}$$

$$f'c_{nuevo} = \frac{f'c_{modelo}}{\rho^2} \quad . \qquad \textbf{(2)}$$

dónde:

K_{nuevo}: rigidez actualizada

K_{modelo}: rigidez modelo

ρ: $(T_{medido}/T_{modelo\ inicial})^2$

$f'c$: Tensión de compresión del hormigón

4.2 Resultados de la actualización del modelo referido a frecuencias naturales

Por supuesto estas ecuaciones son válidas si el daño es generalizado. De las Tablas 3 y 4 se puede concluir que para el pórtico libre, para el último ensayo, no es conveniente aplicar la ecuación 2 para la actualización de modelo ya que el daño fue muy localizado (pie y cabeza de columnas) y dicha ecuación estaría generando un daño distribuido en la estructura. Sin embargo para el caso del pórtico reforzado debido a que no hubo daño tan localizado como en el primer caso, la ecuación se adapta bien y es posible actualizar el modelo obteniendo errores muy pequeños respecto de las mediciones hechas.

Por otro lado se realizó la actualización del modelo para las mediciones de frecuencia obtenidas a partir de medición de vibración ambiental, mediante la ecuación 2, los resultado se presentan en la Tabla 4.

Tabla 3. Actualización de modelos computacionales para el pórtico sin refuerzo.

Ensayo	Modelo	Frecuencia [Hz]	f'c [MPa]	Error %	Observaciones
1 (sano)	Medición	2.75			
	Primitivo	3.22	20.00	17	
	Actualizado 1	2.80	10.65	2	Nota 1
5 (dañado)	Medición	1.5			
	Actualizado 1	2.80	10.65	87	
	Actualizado 2	1.52	10.65	1	Nota 2

Nota 1: el modelo se actualizó conciderando la ecuación 2.
Nota 2: el modelo se actualizó disminuyendo f'c en la zona de pie y cabeza de columnas.

Tabla 3. Actualización de modelos computacionales para el pórtico con refuerzo.

Ensayo	Modelo	Frecuencia [Hz]	f'c [MPa]	Error %	Observaciones
1 (reforzado)	Medición	2.25			
	Actualizado 2	1.52	10.65	33	
	Actualizado 3	2.25	10.65	0.2	Nota 1
5 (dañado)	Medición	2.1			
	Actualizado 3	2.25	10.65	7	
	Actualizado 4	2.10	10.65	0	Nota 2

Nota 1: el modelo se actualizó aumentando f'c en la zona de pie y cabeza de columnas respecto del modelo Actualizado 2.
Nota 2: el modelo se actualizó disminuyendo f'c en la zona de pie y cabeza de columnas respecto del modelo Actualizado 3.

Tabla 4. Actualización de modelos computacionales para el pórtico con refuerzo.

Ensayo	Modelo	Frecuencia [Hz]	f'c	Error %	Observaciones
200 Hz	Medición	2.26			
	Actualizado 4	2.10	10.65	7	
	Actualizado 5	2.22	14.23	2	Nota 1
250 Hz	Medición	2.21			
	Actualizado 4	2.10	10.65	5	
	Actualizado 6	2.18	13.01	1	Nota 1

Nota 1: el modelo se actualizó conciderando la ecuación 2.

4.2 Resultados de la actualización del modelo referido a historia de las aceleraciones

Para poder evaluar la validez de la ecuación utilizada en la actualización de los modelos se realizaron análisis dinámicos temporales tomando los inputs de los ensayos realizados. En la Figura 12 se presenta la historia de desplazamientos para el último ensayo contrastada con la obtenida del modelo.

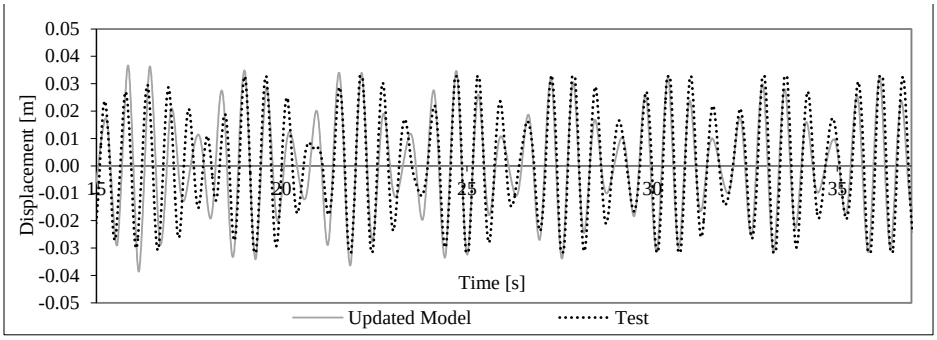


Fig. 12. Historia de desplazamientos para el último ensayo sin refuerzo contrastada con la obtenida del modelo.

Se realizaron 6 análisis, 2 para el pórtico sin refuerzo, para el primer y último ensayo; 2 para el pórtico con refuerzo, para el primer y último ensayo y 2 para el pórtico con refuerzo para el último ensayo respecto a las mediciones con vibración ambiental.

5 Conclusiones

Se presentaron en este trabajo los resultados numéricos y experimentales de un pórtico de hormigón armado sometido a acciones dinámicas en una mesa vibradora, diseñado con un código antisísmico antiguo, y reforzado con fibra de vidrio.

La estructura sin refuerzo sometida a 6 inputs de aceleración creciente, sufrió un daño importante (para una aceleración pico en la base del pórtico menor a la aceleración prevista en zona sísmica 4 del Reglamento Argentino vigente [6]).

El procedimiento de refuerzo estructural consistió en la recomposición del hormigón en pie de columnas, y en el zunchado de extremos de los elementos estructurales con tejido de fibra de vidrio. Las respuestas experimentales del pórtico, bajo 5 inputs dinámicos similares a los aplicados a la estructura sin refuerzo, mostraron la eficiencia del refuerzo implementado. Para un nivel de excitación en la base superior al establecido en el Reglamento sismorresistente Argentino [6], la estructura no sufrió daño apreciable.

Los resultados numéricos se obtuvieron a través de un programa comercial de elementos finitos. A fin de lograr las frecuencias medidas durante los ensayos, se modificó f'c. Dichas modificaciones arrojaron valores muy bajos que no se corresponden con las f´c obtenidas de probetas. Aun así, con estos modelos calibrados se realizaron análisis time history y se evaluó el error RMS y los resultado fueron satisfactorios.

Por otro lado se aplicó la técnica de identificación de sistema de detección de pico, con los registros durante las dos series de ensayo y luego de estas con mediciones de vibración ambiental. Los resultados obtenidos han sido satisfactorios ya que se pudo

evaluar la recuperación estructural numéricamente a través de indicadores como la rigidez y la frecuencia, dando resultados similares y el amortiguamiento con resultados más dispersos.

También se presentó una ecuación simple con el fin de actualizar el modelo la cual ha sido desarrollada para sistemas de un grado de libertad y para estructuras con daño distribuido, la cual demostró ser útil solo en los ensayos iniciales y en el pórtico reforzado, ya que al rotularse las columnas la perdida de rigidez prácticamente se concentra en dicha zona.

Por lo que es necesario profundizar los estudios de actualización de modelo cuando la estructura está severamente dañada.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por el Proyecto de Investigación "Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificios escolares patrimoniales de la Provincia de Mendoza" PICTO RS 2007-255. Financiado por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica.

Los autores desean expresar su agradecimiento al programa de becas de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica y al CEREDETEC.

Referencias

1. CIRSOC 201, Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón. INTI y CIRSOC (2005).
2. Kinemetrics, Kinemetrics Strong Motion Analyst (2004).
3. Chopra A. K. "Dynamics of structures". Primera Edición. Prentice Hall (1995) 78 – 80.
4. Palazzo G. L. Identificación del daño estructural a través del cambio en las propiedades dinámicas. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Tucumán. Argentina (2000).
5. SeismoStruct, Software applications for analysis of structures subjected to seismic actions. SeismoSoft Ltd., Pavia, Italy, Versión. 5.2.2. (2010).
6. INPRES - CIRSOC 103 – Parte I, Normas Argentinas para Construcciones Sismorresistentes, Parte I: Construcciones en general. INPRES y CIRSOC, (1991).

Proyecto de Rehabilitación del Autódromo General San Martín

Xavier Blázquez Bisbe[a,1], Pablo Martín[b],

[a] Escola Técnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona. UPC
xavierblazquez@gmail.com

[b] CEREDETEC, UTN Rodriguez 273, Mendoza, Argentina
pablo.martin@frm.utn.edu.ar

Resumen. El presente trabajo presenta un proyecto de puesta en valor del Autódromo General San Martín. El proyecto contempla un circuito con capacidad para albergar a la F1 internacional y motos GP. El análisis del circuito prevé todas las recomendaciones de la FIA (Federación Internacional de Automovilismo) y de la FIM (Federación Internacional de Motociclismo). El trabajo expone los principales puntos desarrollados en el marco de la tesina de proyecto final de un alumno de la Universidad Politécnica de Cataluña y que el mismo realizara en la Facultad Regional Mendoza, UTN

Palabras Clave: Autódromo, Automovilismo, Carreteras, Turismo.

1 Introducción

1.1 Antecedentes

El mundo del motor internacional concentra principalmente su actividad en Europa, donde se desarrollan la mayor parte de los eventos de esta disciplina. El calendario de Fórmula 1 cuenta con 9 grandes premios en Europa, 7 en Asia, uno en América del Norte, uno en Oceanía y uno en Sudamérica. Por otra parte el calendario de Moto GP distribuye los grandes premios de la siguiente forma: 12 en Europa, 2 en América del Norte, 3 en Asia y uno en Oceanía.
A un distinto nivel se encuentran competiciones como el Turismo de Carretera (TC) con el TC2000 como su máxima categoría que se desarrolla en su mayor parte en circuitos argentinos a excepción de algún evento en Uruguay o Brasil. El TC se postula como un campeonato de gran seguimiento en Argentina y países de Sudamérica denotando la gran afición existente en este continente hacía el mundo del motor.
Hoy en día Argentina cuenta con más de 40 de circuitos de carreras en toda su extensión pero la gran mayoría no contemplan las medidas de seguridad necesarias

[1] Trabajo de tesis de fin de carrera como requisito para la titulación. Enmarcado en el proyecto de intercambio de la UTN y la UPC

para un evento internacional. Dada la gran presencia de autódromos en este país se busca en él la situación para el proyecto planteado con el objetivo de dotar a Argentina de un autódromo de categoría internacional capaz de albergar competiciones a nivel mundial.
En el ámbito nacional se busca una ubicación que aporte un enriquecimiento al país pero que a la vez suponga una mejora de una provincia en particular. Analizando la actividad turística, el clima, la situación geográfica y las oportunidades de conexión se opta por ubicar el presente proyecto en la provincia de Mendoza, principal punto de paso al país limítrofe, Chile.

La ciudad de Mendoza contó durante más de tres décadas con uno de los autódromos más apreciados del país tanto por los pilotos como por el público a los pies del Cerro de la Gloria. El autódromo General San Martín fue diseñado por Antonio Díaz Constantini con el asesoramiento del reconocido piloto de F1 argentino Juan Manuel Fangio. Las instalaciones gestionadas por el Automóvil Club Mendoza (ACM) fueron inauguradas el 31 de marzo de 1974 y durante los años siguientes llegaron a ser sede de competiciones de carácter internacional como la F2 europea, último escalón antes de llegar a la F1, así como todo tipo de carreras de carácter nacional y provincial.

En marzo del 2004 frente a la carencia de un circuito con características de nivel internacional el ACM realizó la presentación de un anteproyecto de autódromo para el departamento de Luján de Cuyo que quedaba incluido en un megaproyecto (ver Fig. 1). Dicho proyecto se planteó en una superficie de unas 300 ha que contaba con un complejo hotelero de lujo, un aeródromo, un aeroclub, paradores, viñedos, campings y casinos.

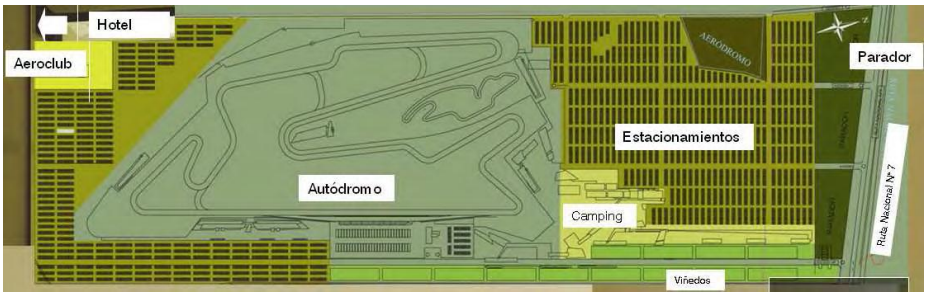


Fig. 1 Propuesta de autódromo en Luján de Cuyo

Finalmente, por motivos de índole económicos, políticos y legislativos, este proyecto nunca fue ejecutado.

1.2 Objeto y ámbito del proyecto

El presente proyecto tiene por objeto el diseño y definición de un autódromo capaz de albergar competiciones de nivel internacional en la provincia de Mendoza. El proyecto de autódromo consta de tres elementos básicos diferenciados entre sí: la

pista y escapatorias del trazado, las instalaciones propias del autódromo (tribunas, boxes, paddock…) y los accesos y zonas de estacionamiento del predio.

1.3 Alternativas para la definición del objeto del proyecto

Se plantean las dos opciones antes expuestas: diseño de un nuevo autódromo y la remodelación de uno existente. Para la decisión de una u otra se realiza un estudio de la oferta de circuitos existentes en un área de influencia de 250 Km. alrededor de Mendoza capital (ver Fig. 2). Por otro lado se proponen una serie de posibles ubicaciones para un nuevo proyecto de esta tipología.

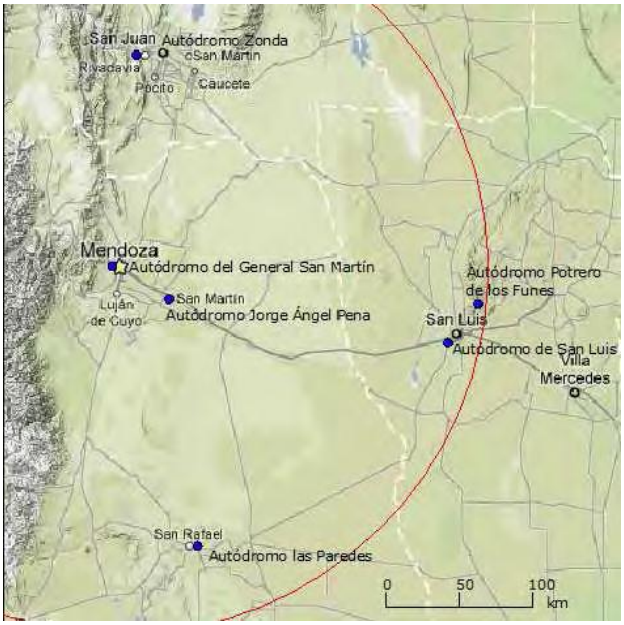


Fig. 2 Autódromos existentes alrededor de Mendoza.

1.4 Definición del objeto del proyecto

Con las opciones mostradas se pasa a valorar distintos factores que sirven para concretar el objeto del proyecto. En primer lugar hay que considerar que un proyecto de esta envergadura supone un elevado coste económico y que en la mayoría de los casos éste va a ser el condicionante principal para la viabilidad del proyecto.
Por este motivo es preferible la remodelación de un autódromo existente a la realización de uno nuevo ya que el coste de esta segunda opción supera en creces a la primera.
En un segundo nivel de decisión se plantea la ubicación del proyecto en la provincia de Mendoza dadas las características turísticas y económicas de la misma. De este

modo se desestiman las actuaciones en los autódromos de San Juan y San Luis. Con este segundo paso se pasa a realizar el análisis correspondiente a las posibles remodelaciones del autódromo del General San Martín, Jorge Ángel Pena y las Paredes. Para elegir la mejor opción se utiliza el método de Agrupación Cualitativa de Indicadores (ACI). Se utilizan indicadores relacionados con la pista, las posibilidades de la superficie que alberga los autódromos, la proximidad a la capital de la provincia, el valor histórico y los accesos al autódromo. Teniendo en cuenta dichos aspectos se concluye el análisis mostrado en Tabla 1.

Tabla 1 Tabla ACI utilizada para la definición del objeto del proyecto

Autódromos para remodelación				
Concepto	**Peso**	**Gral. San Martín**	**J.A. Pena**	**Las Paredes**
Longitud actual	5	5	2	4
Superficie de proyecto	10	10	6	5
Proximidad a la capital	7	7	5	3
Valor histórico	6	6	6	5
Emplazamiento	6	5	3	5
Accesos	8	6	8	4
Influencia en entorno	10	8	7	7
Atractivo deportivo	8	8	6	6
TOTAL	600	**550**	430	390

Tal y como se deduce del análisis ACI la alternativa con más puntuación es la correspondiente al Autódromo General San Martín por lo que se define la remodelación de éste como el objeto del proyecto.

2 Descripción del Proyecto

2.1 Descripción del predio

El terreno en el que se plantea ejecutar el presente proyecto corresponde a la ubicación del antiguo autódromo del General San Martín, (Fig. 3)

Fig. 3 Predio del proyecto**.**

Actualmente el terreno está en desuso pero al tratarse de una remodelación no se requiere ningún cambio en el uso de la zona ya que en su momento ya existió una recalificación del uso del suelo.

2.2 Diseño de la pista

El diseño planialtimétrico de la pista y variantes queda sujeto a las normas de la FIA y la FIM. El principal criterio de diseño para la definición del eje de la pista ha sido la seguridad. Por este motivo se han realizado las modificaciones pertinentes para adaptar el trazado existente a las nuevas exigencias de las federaciones internacionales del mundo del motor.

Se plantea una pista de 15 metros de ancho con un trazado principal de 5043,70 metros (Ver Fig. 4). Además del trazado principal se diseñan una serie de tres ramales con los que se consiguen un total de 6 trazados distintos, incluyendo el trazado principal, con longitudes comprendidas entre 4017,42 m y 5043,70 m. Por otra parte se ha buscado un trazado equilibrado en número de curvas a izquierda y derechas y una relación recta/curva coherente.

Otro criterio de diseño ha sido el de mantener la esencia del autódromo original, de esta forma se realizar las modificaciones justas y necesarias para adaptar el trazado a los nuevos tiempos y niveles de seguridad.

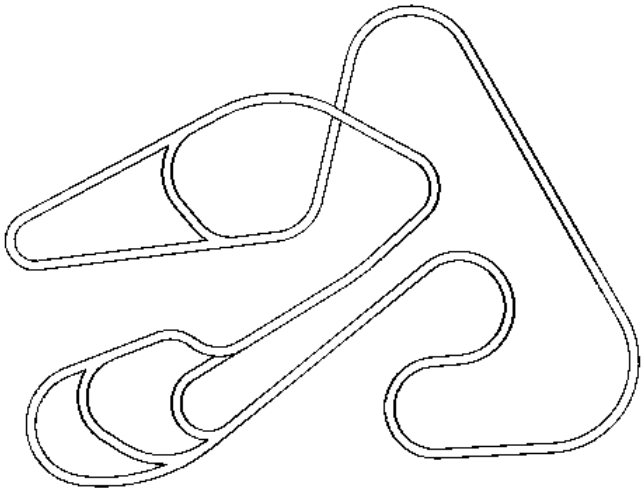


Fig. 4 Esquema de la pista propuesta

La zona del paddock alberga a los equipos durante las competiciones y es el punto de conexión a los boxes. En el interior del paddock se plantean el edificio de boxes y el centro médico exigidos por la FIA y la FIM.
Se realiza la explanación de esta zona con una superficie final de 77490,80 m^2. En este espacio se plantean también la zona de estacionamiento para los equipos, un helipuerto y la zona de estacionamiento para particulares además de los edificios antes mencionados.
La conexión del paddock con el exterior se realiza mediante un paso inferior por debajo de la recta principal

2.3 Descripción de las obras del proyecto.

Movimiento de Tierras.
En primer lugar se retirará el pavimento existente de la pista y se realizará la adaptación del terreno al que se define en el proyecto a partir de los planos de trazado. Por otro lado se busca reducir al máximo el material de aportación externo por lo que se utilizará el material extraído de desmontes como rellenos para terraplenes.
Pavimentación
Se definen dos tipos de pavimentos en función de la zona a la que se va a aplicar. La pista, ramales, pit Lane y caminos de asistencia constan de una explanada tipo S3 y un paquete estructural formado por 15 cm de mezcla bituminosa en caliente con capa de rodadura drenante.
Por el contrario a la explanación del paddock le corresponde una explanada tipo E1 y se utiliza un paquete estructural formado por 5 cm de mezcla bituminosa en caliente tipo S20 y una base de 35 cm de material todo-uno artificial.
Sistema de drenaje
Se diseña un sistema de drenaje perimetral a la pista con tubo de PVC de alta durabilidad y 700 mm de diámetro.

Se plantean 4 colectores de gran diámetro que transportan las aguas pluviales hasta el punto de desagüe, el río seco Papagayos.

Instalaciones.

Se aprovechan las redes de servicios del antiguo autódromo para realizar la redistribución de servicios de acuerdo con las exigencias de la FIA y la FIM. Se incluye un cajón alrededor de la pista para la posible ampliación de redes de servicio o la inclusión de sistemas de telecomunicaciones o televisión.

3 Estudio de velocidades

El presente estudio está particularizado al Moto GP, debido a que resulta determinante, ya que el F1 frena mejor y precisa en términos generales menos distancia en su escapatoria.

Con el fin de obtener una simulación fiel a la realidad se realiza una discretización del trazado en segmentos de 1 m. Con esta discretización se asocia a los distintos puntos característicos del trazado el punto más próximo de la discretización realizada.

Finalmente se realiza un análisis de las características del trazado en términos de velocidad, comparación eje-trayectoria así como el tiempo mínimo de vuelta.

3.1 Estudio del comportamiento de las motocicletas

El cálculo de velocidades en las distintas situaciones existentes a lo largo de la trayectoria de las motos se basa en cada caso en el estudio de ecuaciones físicas y/o de datos reales obtenidos de distintas fuentes.

Dado que la discretización del trazado se realiza en segmentos de 1 m se buscan expresiones que relacionen la velocidad con parámetros espaciales. Así pues el objetivo del análisis para las distintas situaciones es obtener una expresión del tipo $V=f(x)$ en la que el tiempo no intervenga.

A continuación se exponen las características del modelo de comportamiento de las motos para cada situación.

3.2 Velocidad en curva

Se utilizan las fórmulas que surgen del planteamiento de los equilibrios de fuerzas y momentos en situación de curva de acuerdo con el siguiente diagrama (Fig. 5).

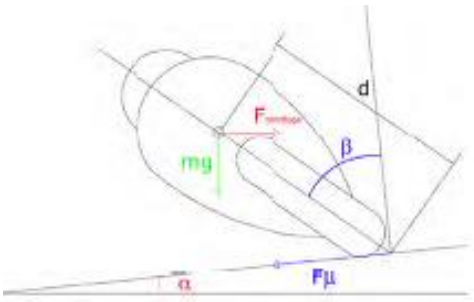


Fig. 5 Esquema de fuerzas en situación de curva

Se obtienen las siguientes expresiones de velocidad para cada caso:

- Equilibrio de momentos respecto al punto de contacto con el pavimento:

$$V_{curva} \leq (B \cdot g \cdot R)^{0,5} \quad \textbf{(1)}$$

$$V \leq (M \cdot g \cdot R)^{0,5} \quad \textbf{(2)}$$

Siendo: $B = (k+p)/(1-k \cdot p)$; $M = (\mu-p)/(1-\mu \cdot p)$; $k = tg(\beta)$;
$p = tg(\alpha)$ (peralte); $g = 9{,}81\ m/s^2$ μ= coeficiente de .rozamiento

Por otro lado se realiza un censo de velocidades de curva en curvas reales de los circuitos de Moto GP. Para realizar este censo se utilizan los radios de giro correspondientes al eje de la pista, y no se consideran factores como el peralte, la altimetría o la trayectoria real de las motocicletas. Por este motivo en la zona de radios pequeños es comprensible que las velocidades que surgen de los datos reales sean superiores a las de las expresiones propuestas ya que los vehículos realizan trayectorias con radios superiores. (Ver Fig. 6)

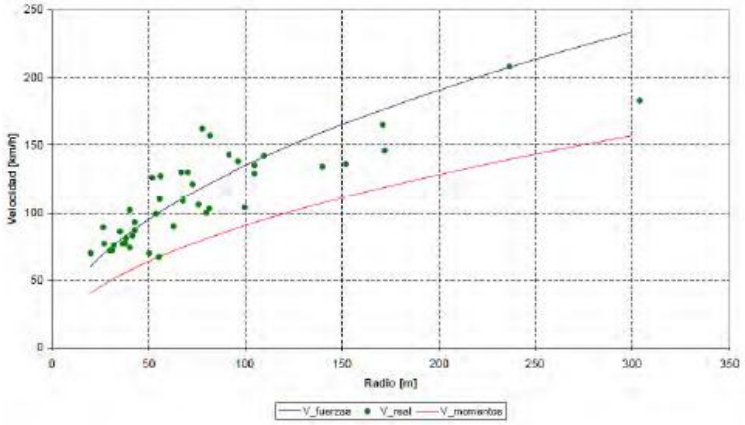


Fig. 6 Comparación datos experimentales con modelos de velocidad en curva

Teniendo en cuenta las consideraciones antes expuestas se opta por la expresión derivada del equilibrio de fuerzas transversales por quedar ésta del lado de la

seguridad. De este modo se asume como expresión para el cálculo de velocidades en curva la ecuación 3 $V \leq (M \cdot g \cdot R)^{0,5}$

3.3 Velocidad en frenada

Se realiza un censo de las frenadas existentes en el circuito internacional de motociclismo a partir de los datos de Brembo, distribuidora oficial de frenos para el campeonato de Moto GP. A partir de estos datos se puede representar la relación distancia de frenado con reducción de velocidad como se muestra en el siguiente gráfico (Fig. 7).

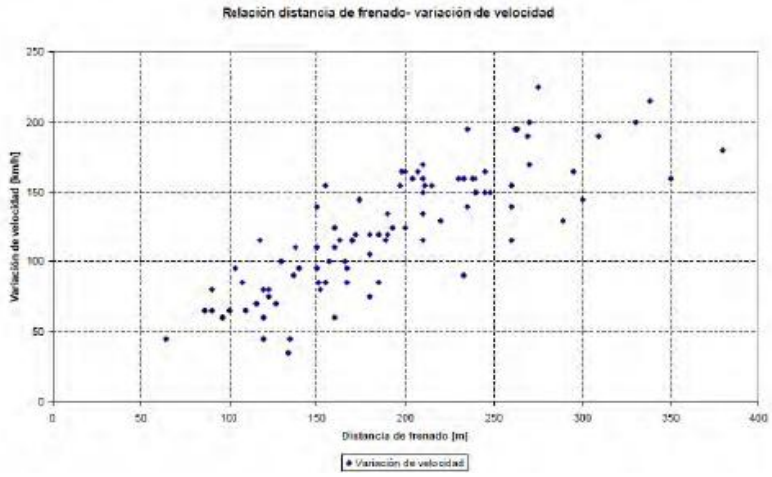


Fig. 7 Relación disminución de velocidad- Distancia de frenado

A partir de estos datos y dado que se desea estar del lado de la seguridad en el cálculo de la simulación se busca la frenada más brusca de todo el campeonato. En base a esto la simulación se realiza con la hipótesis de agresividad máxima, es decir que el piloto frena al máximo en cada curva.
Esto se busca a partir de la relación $k=\Delta v/\Delta x$ definida por las velocidades inicial y final y la correspondiente distancia de frenado. Analizando las distintas frenadas se obtiene que la más agresiva es la curva 6 del circuito de Motegui con los siguientes datos:

Velocidad inicial = 225 km/h
Velocidad final = 70 km/h
Distancia de frenado = 155 m
Tiempo de frenado = 3,9 s
Máxima deceleración = 1,4 g
Δv= 155 km/h
$K=\Delta v/\Delta x$= 1

De esta forma se modela la frenada de las motocicletas como una función lineal.

3.4 Velocidad en aceleración

De la misma forma que en la situación de frenada, se parte de datos reales para motocicletas deportivas de alta potencia. A continuación se muestra la representación gráfica de los datos (Fig. 8) y las aproximaciones realizadas para definir la función aceleración.

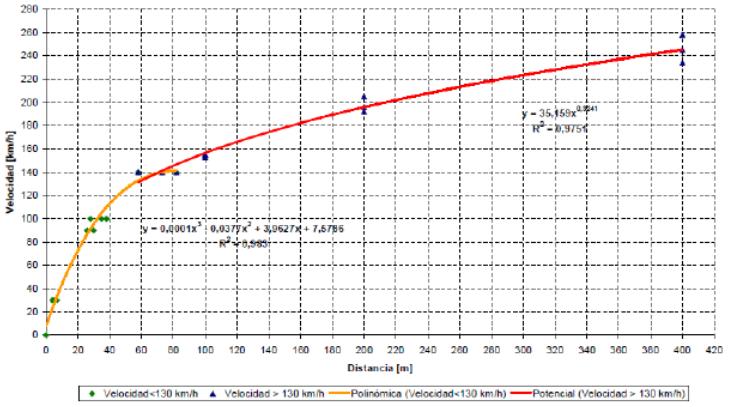


Fig. 8 Función de ajuste a las velocidades de aceleración experimentales

De esta forma la función aceleración queda definida por dos funciones. Para velocidades inferiores a los 130 km/h se aproxima la velocidad en aceleración por una cúbica de ecuación

$$V\_aceleración\ (x) = 0{,}0001 \cdot x^3 - 0{,}0377 \cdot x^2 + 3{,}9627 \cdot x + 7{,}5786 \quad \textbf{(4)}$$

Con la que se obtiene un valor de R2 = 0,983. A partir de los 130 km/h el aumento de velocidad es más lento por lo que se opta por una función potencial con ecuación

$$V\_aceleración\ (x) = 35{,}159 \cdot x^{0.3241} \quad \textbf{(5)}$$

Con la que se obtiene un valor de $R^2 = 0{,}9751$

3.5 Generación de la simulación

Una vez conocidas las funciones que representan la velocidad en las distintas situaciones posibles (paso por curva, aceleración y frenada) se pasa a generar para cada punto el valor de estas funciones. Para la obtención de la velocidad real se busca el mínimo entre las velocidades en curva, en frenada y en aceleración. De este modo en algún caso se dan velocidades irreales para tener una simulación satisfactoria.
Para las distintas situaciones se utilizan unos criterios concretos se exponen a continuación para cada una de ellas.
Velocidad en curva
Se calcula la velocidad para los puntos de la discretización con valor de R distinto de cero considerando el resto de parámetros asociados a dicho punto. Por el contrario a los puntos situados en recta (R=0) se les asocia una velocidad irreal de 600 km/h.

Velocidad en frenada

Se calcula a partir del punto de entrada a la curva y se propaga hacia atrás con la función frenada. Esta función se aplica a cualquier sucesión de alineaciones, ya sea curva-recta o curva-curva.

De este modo en el caso de sucesiones de curvas con relación de radios decrecientes la curva que fija el inicio de la frenada es la que requiere una velocidad menor.

Velocidad en aceleración

Se calcula a partir del punto de salida de la curva. A partir de la velocidad de curva asociada al punto de inicio se propaga la función aceleración en cualquier alineación, ya sea recta o curva. Este hecho no afecta al resultado en curva dado que la velocidad en aceleración será siempre mayor o igual a la de la curva.

Velocidad de simulación

Una vez generados los valores de velocidad en curva, en frenada y en aceleración para todos los puntos del trazado se calcula la velocidad real. Para la determinación de la velocidad de simulación se considera en cada punto la máxima velocidad admisible de acuerdo con el modelo de comportamiento de las motos. De esta forma se considera que a la salida de la curva se acelera hasta llegar al punto tal que la velocidad de frenada es menor que la de aceleración (punto de inicio de frenado). En dicho instante la velocidad de simulación viene marcada por la frenada y la velocidad de paso por la curva siguiente. En el esquema adjunto se muestra el comportamiento entre dos curvas, con el correspondiente proceso de aceleración y frenada (Fig. 9).

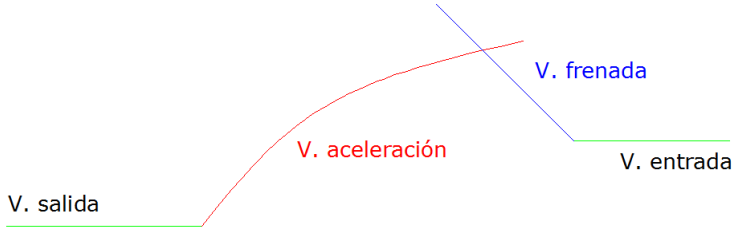


Fig. 9 Esquema de la evolución de la velocidad entre dos curvas.

Se ha realizado un estudio de la velocidad de las motocicletas a lo largo del trazado con el fin de dimensionar de forma correcta las áreas de escape de los vehículos. En la Fig. 10 se detalla la salida del software desarrollado en Visual Basic.

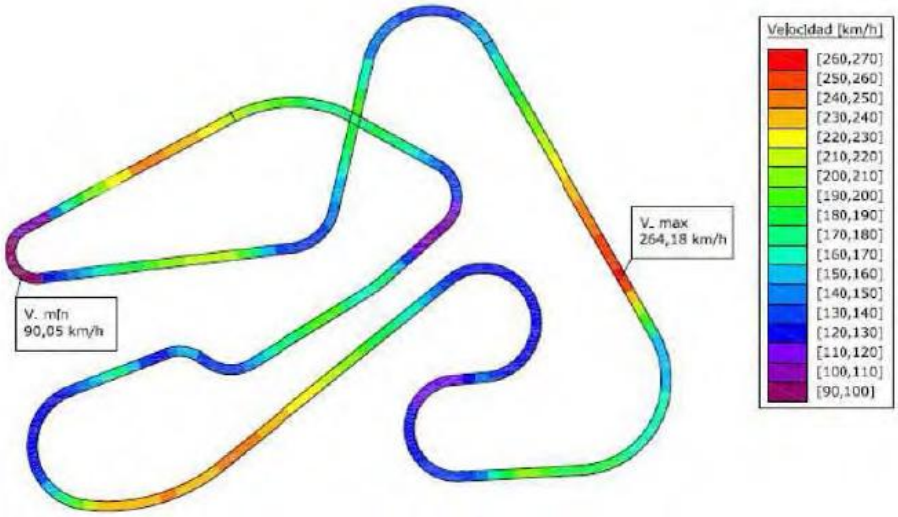


Fig. 10 Velocidades a lo largo de la pista.

Con la simulación realizada se obtiene una velocidad máxima de 264,18 km/h al final de la recta principal y una velocidad mínima de 90,05 km/h en la horquilla de la parte alta del circuito. Con todo esto el tiempo necesario para realizar una vuelta completa es de 1'50.995 minutos con una velocidad media de 160,708 km/h.
Se observa como el tiempo de recorrido y las velocidades características del circuito coinciden con los autódromos existentes en el mundial de Moto GP a partir del cual se han modelado los vehículos.

3.6 Resultados de la simulación

De acuerdo con los criterios expuestos en el apartado anterior se ejecuta la simulación con los datos exactos de la trayectoria de las motocicletas a lo largo de la pista. La simulación se genera partiendo del inicio de la recta de salida hasta completar una vuelta en el trazado más el tramo correspondiente a la recta de salida hasta la primera curva. Esto tiene como objetivo obtener la simulación en una vuelta lanzada, que es la que marcara el tiempo de recorrido al trazado y el dimensionamiento de las zonas de escape. A continuación en Fig. 11 se expone la correspondiente al caso de vuelta lanzada.

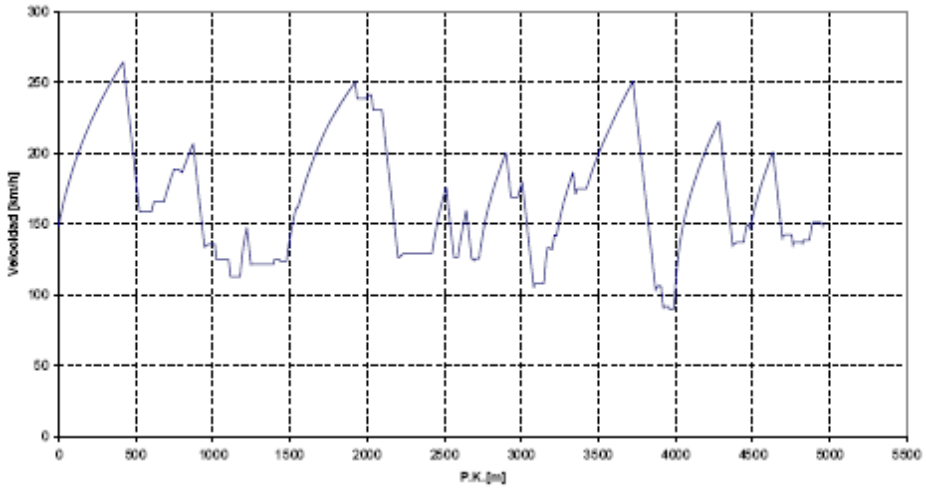


Fig. 11 Resultados de la simulación en vuelta lanzada.

De esta forma se determina que el tiempo por vuelta según la trayectoria de los vehículos es de 110,995 segundos, es decir, 1'50.995 minutos. De acuerdo con esto se obtiene una velocidad media de recorrido de 160,708 km/h. Estos resultados se utilizan para comparar el trazado propuesto con los trazados pertenecientes al mundial de motociclismo y para validar los resultados de la simulación. En este sentido se observa como el tiempo y la velocidad media se ajusta a los valores típicos de otros circuitos de campeonato de motociclismo lo que da validez a la simulación.

4 Cálculo de Escapatorias

4.1 Introducción

A continuación se muestra la definición de las zonas de escape que se disponen alrededor de la pista. Se distingue entre las zonas de recta y las zonas de curva para definir el área libre de acuerdo con las normativas de la FIA y la FIM.
Por otro lado se consideran dos tipos de zona de escape: escapatorias con gravilla o escapatorias de asfalto. La decisión de utilizar uno u otro tipo de material recae en los vehículos que van a utilizar el trazado. El trazado principal ha sido pensado para competiciones de motociclismo homologadas por la FIM, en cambio los ramales han sido diseñados para albergar cualquier tipo de carrera.
Por este motivo se diseñan las escapatorias del trazado principal con gravilla ya que son las más eficientes en cuanto a frenada de los vehículos en caso de salida de la pista. Aún así el uso de asfalto no se prohíbe por lo que se emplea dicho material en zonas comprometidas del trazado.
Dado que los ramales se han diseñado para cualquier tipo de competición se procura el uso de asfalto en la zona de escape correspondiente a éstas. La elección de este

material recae en permitir la reincorporación a la pista de los vehículos que hayan salido de ella.

4.2 Criterios de dimensionamiento

Se utiliza el documento "INTERNAL GUIDELINES FOR MOTOR RACING COURSE CONSTRUCTION AND SAFETY" de la FIA para dimensionar las zonas libres alrededor de la pista. Se distingue entre rectas y curvas para el diseño de escapatorias y zonas libres. A continuación se exponen los criterios utilizados para cada una de estas situaciones.

Zona de Recta

En recta se exige que la primera línea de protección se sitúe como máximo a 5 m del borde de la pista. De esta forma en las zonas de recta se dispone a ambos lados de la pista una zona libre de 5 m.

Zona de Curva

Para el dimensionamiento de las escapatorias en curva se utiliza el apéndice 6 del documento "INTERNAL GUIDELINES FOR MOTOR RACING COURSE CONSTRUCTION AND SAFETY" de la FIA que se detalla en Fig. 13. Alrededor de la pista se dispone una franja de 2 metros de césped artificial. En el caso de existir pianos la franja de césped artificial se dispone a partir del borde exterior de los mismos.

En todas las curvas a lo largo del recorrido se calcula la trayectoria de frenado. Cada trayectoria tiene dos partes, una que recorre sobre la pista y la segunda sobre el lecho de gravilla. Como dato de partida se toma la máxima velocidad teórica que el vehículo lleva en el momento de pérdida de control. La FIA adopta una ley lineal en términos de la velocidad para la desaceleración, tanto en el tramo sobre la pista como en la zona de frenado.

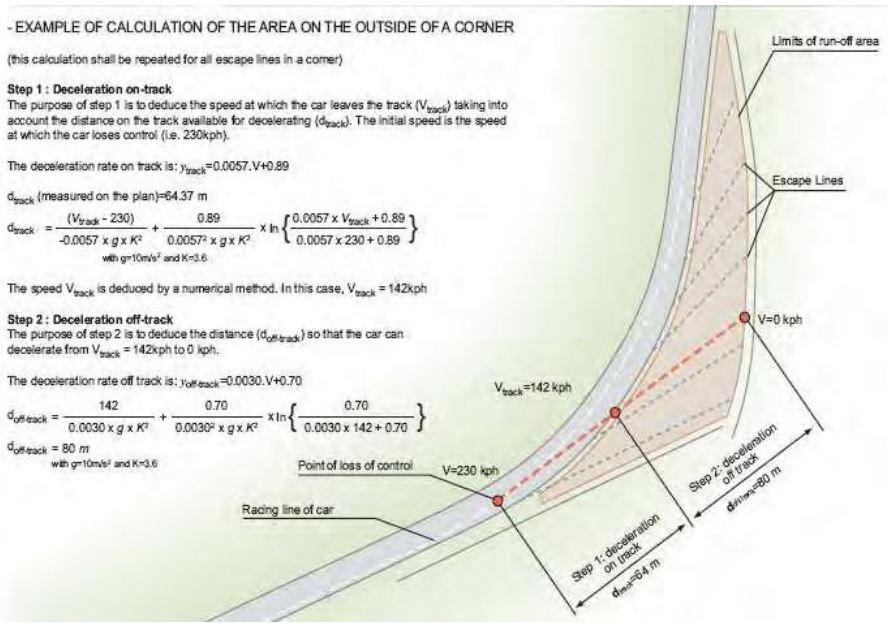


Fig. 12 Método de cálculo de la zona de escapatoria necesaria

Una vez realizada la simulación de velocidades y definido el diseño geométrico de la pista se pasa a dimensionar las áreas de escape mediante el anexo 6 de la normativa facilitada por la FIA. En Fig. 13 se muestra la definición definitiva de la pista y escapatorias.

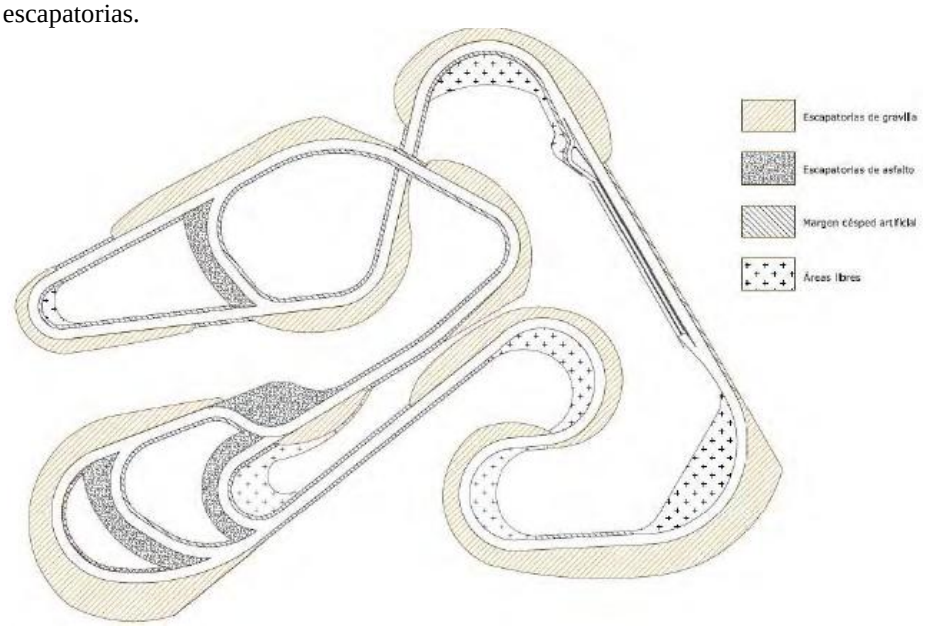


Fig. 13 Esquema de la pista completa y las zonas de escape.

4.3 Caminos de asistencia

Los caminos de asistencia se han diseñado para dar auxilio a cualquier zona de la pista. Por lo general se ha considerado que el camino de asistencia correspondía a los últimos 5 m de las zonas de escapatoria. No obstante, existen zonas del circuito que requieren un estudio aparte y se requiere dar conexión a varios caminos entre ellos. El objetivo final de los caminos de asistencia es auxiliar en pista para trasladar a la zona del paddock. Por este motivo se ha buscado que cualquier punto de la pista quede conectado al paddock por caminos de asistencia. En Fig. 14 se muestra un esquema de los caminos existente a lo largo del circuito.

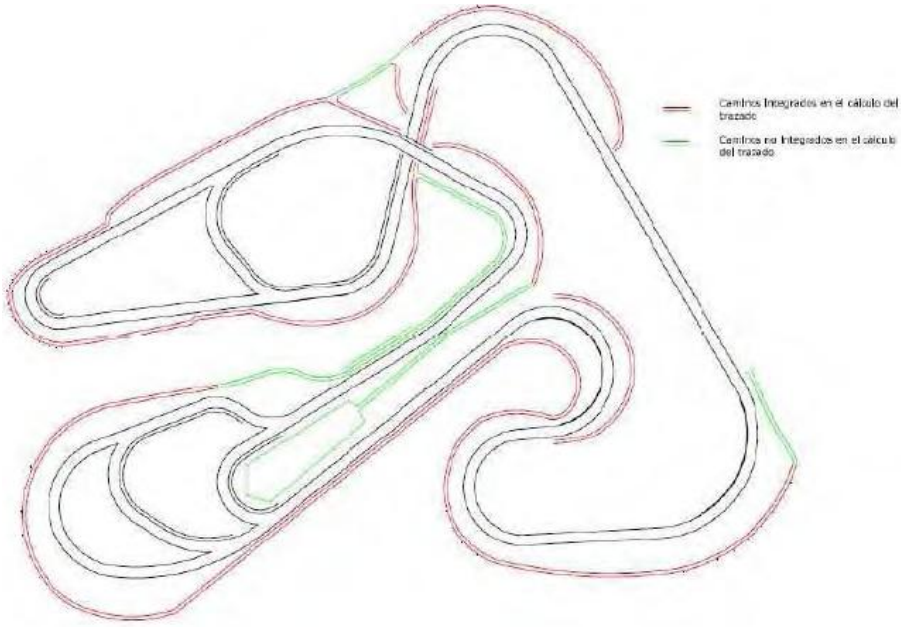


Fig. 14 Esquema de los caminos de asistencia

Conclusiones

En el presente trabajo se ha presentado una propuesta de rehabilitación del Autódromo General San Martín de Mendoza, en vistas a una proyección internacional. El circuito del mismo ha sido analizado siguiendo la normativa y recomendaciones de la FIA y de la FIM.
La rehabilitación del mismo resulta posible, con un costo de inversión relativamente bajo, recuperándose un espacio importantísimo para la comunidad de Mendoza.

Referencias

1. Federation Internationale de'l Automobile (FIA) "*Internal Guidelines For Motor Racing Course Construction and Safety*" www.fia.com (2007).
2. Federation Internationale de Motocyclisme (FIM) *"Règlements techniques Motocross FIM 2011 (Quads et Motoneige inclus)"*www.fim-live.com (2010).
3. Federación Mendocina de Automovilismo Deportivo (http://www.femadmza.com.ar)
4. Escuela de Ingeniería de Caminos de Montaña (EICAM) http://www.eicam.unsj.edu.ar (2010)
5. Dirección Provincial de Vialidad. (DPV) Proyecto Autódromo General San Martín http://www.vialidad.mendoza.gov.ar/
6. Blázquez Bisbe, Xavier. Remodelación del autódromo del General San Martín. "Cátedra Proyecto Final" FRM-UTN (2010)

Base de Datos de los Registros Sísmicos del Servicio de Información Sísmica de UTN-FRM [1].

H. Rodriguez[a], S. Dottori[a] , R. Gallucci[a], F. Luján[a] y C. Frau[a]

[a]Laboratorio de Sismicidad del CEREDETEC (Centro Regional de Desarrollos Tecnológicos para la Construcción, Sismicidad e Ingeniería Sísmica), Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza, Rodríguez 273, CP5500, Ciudad, Mendoza, Argentina
hernanrodriguez_5@hotmail.com, santiagodottori@gmail.com,
fabian.lujan@frm.utn.edu.ar, cdfrau@frm.utn.edu.ar

Resumen. La ciudad de Mendoza está situada en la región de mayor peligrosidad sísmica de Argentina. La presencia de importantes fuentes sismogénicas pone de relieve la importancia del conocimiento de la actividad sísmica a través del registro del movimiento del suelo generado por sismos o terremotos. El CeReDeTeC cuenta con acelerómetros digitales de avanzada tecnología que han acumulado valiosa información por más de 15 años. El trabajo presenta la información obtenida por el CeReDeTec de la Facultad Regional Mendoza Universidad Tecnológica Nacional, en el periodo comprendido entre 1995 y 2013. Los datos presentados corresponden a registros sísmicos locales, cuyo hipocentro se encuentra a no más de 30 km. La información es presentada en forma de tablas y gráficos, los cuales permiten obtener conclusiones acerca de nuestra sismicidad regional.

Palabras Clave: Registros sísmicos. Aceleraciones. Magnitudes. Mendoza

1 Introducción

La ingeniería sísmica de hoy no se concibe si no se cuenta con el conocimiento de las características del movimiento del suelo cuando ocurre un terremoto. La evolución de los registros de terremotos data desde el sismoscopio de Zang que no posee marcas de tiempo y no se puede determinar la hora del evento, pasando por los sismómetros y sismógrafos hasta los actuales acelerómetros [2].

El registro del terremoto de El Centro en 1940 inició un nuevo camino hacia la comprensión del fenómeno sísmico sobre las estructuras y la instalación de nuevos instrumentos permitió a los países más avanzados recolectar una gran cantidad de registros que son la base de muchas investigaciones en ingeniería sísmica y que están disponibles en base de datos virtuales con acceso mediante la red INTERNET. En Argentina la falta de suficiente y adecuado equipamiento sismológico y geofísico en general (inexistente en el siglo XIX) muestra deficiencias en relación con otros países sudamericanos de similar sismicidad [3].

La ciudad de Mendoza está situada en la región de mayor peligrosidad sísmica de Argentina; presenta una importante actividad sísmica y la existencia de fuentes sismogéncias próximas al conurbano pone de manifiesto que la región está expuesta al fenómeno de sismos de campo cercano [4]. Debido a esta característica de la región, resulta importante conocer la actividad sísmica a través de los registros de

sismos que ocurren en la zona; para ello es necesario contar con una adecuada instrumentación. El CeReDeTeC cuenta con acelerómetros digitales de avanzada tecnología que han acumulado valiosa información por más de 15 años.

Con el fin de poder contar con mayor y mejor información sísmica del área del Gran Mendoza y, de esta forma, brindar a la sociedad una herramienta confiable para el desarrollo de investigaciones y toma de decisiones, este trabajo presenta la información sísmica obtenida por el CeReDeTec desde la incorporación del primer acelerómetro digital en 1996. En este caso particular la información corresponde a la estación ubicada en nuestra facultad.

2 Registros Sísmicos

El presente trabajo se ha realizado en base a los registros sísmicos de sismos superficiales con profundidad menor a 30 km y cercanos a la Ciudad de Mendoza, esto es con distancias epicentrales no mayores a 80 km recopilados por el SIS (Servicio de Información Sísmica), perteneciente al CEREDETEC (Centro Regional de Desarrollos Tecnológicos para la Construcción, Sismicidad e Ingeniería Sísmica) de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza.

Zona de Estudio. La información recopilada pertenece a la zona del Gran Mendoza, en particular a los registros obtenidos por los acelerómetros ubicados en el predio de la Universidad.

Tiempo comprendido. El periodo que comprenden estas mediciones abarca desde el año 1995 hasta el año 2013.

3 Elementos utilizados para las mediciones

Las mediciones de los registros sísmicos han sido tomadas con acelerómetros digitales, los cuales cuentan con tres canales para registrar las tres componentes, dos horizontales (Norte - Sur y Este - Oeste) y una vertical.

Los acelerómetros digitales son de la empresa Kinemetrics, cuyos modelos y características más representativas se describen a continuación:

- SSA-2
- ETNA
- BASALT

Tabla 1. Características del acelerómetro SSA-2.

Parámetro	**Valor**
Aceleración a escala plena	± 0,5g
Frecuencia Natural	600 Hz
Amortiguamiento	0,7 nominal
Ancho de Banda	200 sps
Rango Dinámico	Excede los 72 bB
Sensibilidad	± 2,5 Volts

Tabla 2. Características del acelerómetro ETNA.

Parámetro	**Valor**
Aceleración a escala plena	± 2 g
Frecuencia Natural	80 Hz
Amortiguamiento	0,7 nominal
Ancho de Banda	100, 200, 250 sps
Rango Dinámico	108 bB
Sensibilidad	± 2,5 Volts

Tabla 3. Características del acelerómetro BASALT.

Parámetro	**Valor**
Aceleración a escala plena	± 2 g
Frecuencia Natural	210 Hz
Amortiguamiento	0,7 nominal
Ancho de Banda	200 sps
Rango Dinámico	Excede los 127 bB
Sensibilidad	± 2,5 Volts

4 Análisis de los registros

La base de datos se conformó a partir del procesamiento de los registros de aceleración mediante técnicas de análisis de señales digitales, utilizando el software KMI Strong Motion Analyst [5]. Con este programa se pueden obtener los valores de

aceleración, desplazamiento y velocidad del suelo para los distintos canales de cada uno de los registros en estudio.

De la base de datos completa del SIS, se extrajeron los registros correspondientes a fuentes sismogénicas que afectan al Gran Mendoza, cuya profundidad de foco se extiende desde la superficie hasta los 30 kilómetros, contabilizando un total de 70 registros para el estudio.

Las Magnitudes fueron extraídas de los datos suministrados por el Instituto Nacional de Prevención Símica (INPRES), el Servicio Geológico de los EEUU (USGS) y determinaciones propias del CeReDeTeC; las mismas están comprendidas entre 2,5 y 5,0. La distancia epicentral de los registros varía para cada sismo desde los 3,6 km a los 76 km. En el ANEXO 1 de este trabajo se muestra la tabla 5 que reúne esta información. En la figura 1 se puede observar la distribución de los epicentros de los registros tenidos en cuenta, los cuales se encuentran clasificados de acuerdo a su magnitud.

En la figura 2 se presentan las relaciones de magnitud con respecto a la profundidad. Se puede observar que los datos muestran una distribución más o menos uniforme de la magnitud para las distintas profundidades.

En la figura 3 se aprecia una concentración de eventos sísmicos a distancias comprendidas entre 20 a 45 km de la estación registradora ubicada en la Regional Mendoza de la UTN.

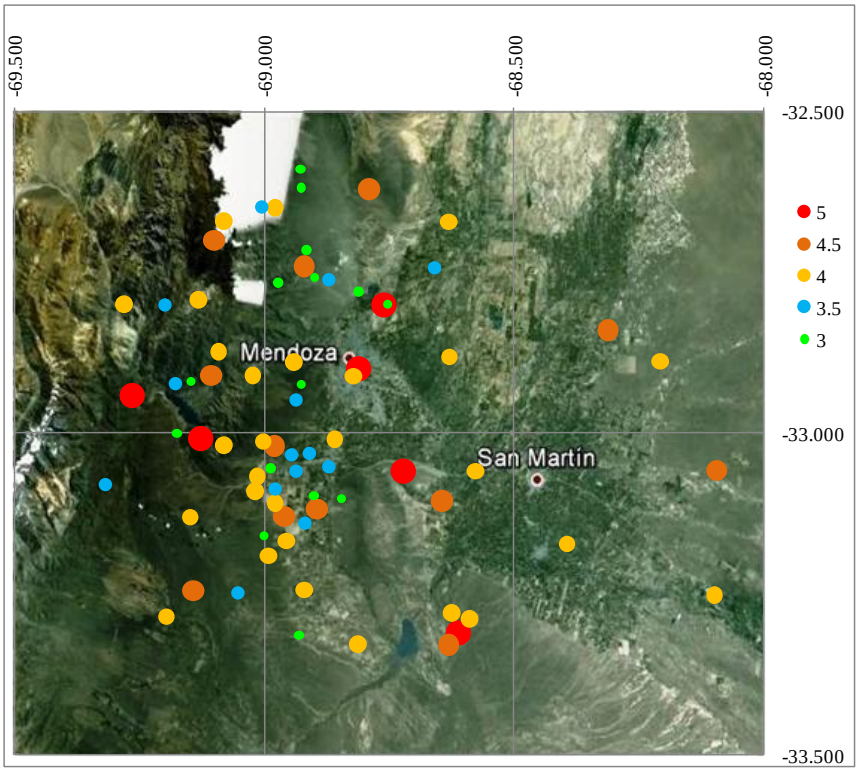


Fig. 1: Mapa de ubicación de epicentros de acuerdo a la Magnitud.

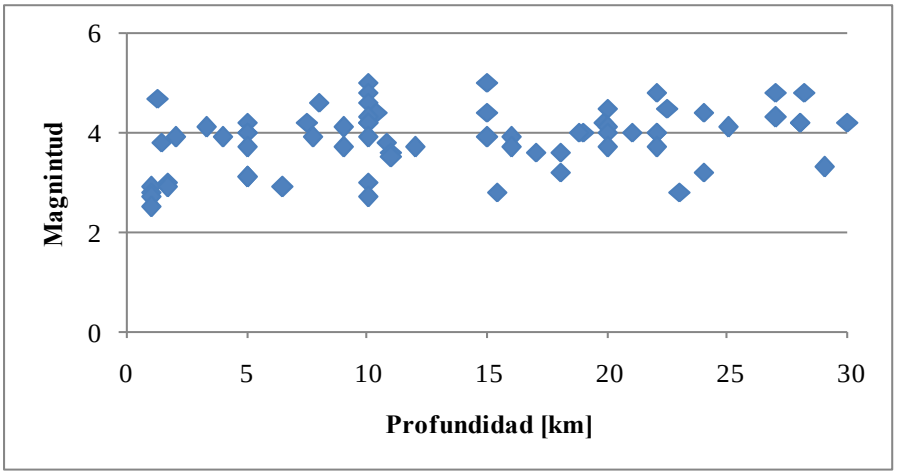


Fig. 2: Relación Magnitud del sismo con respecto a la Profundidad.

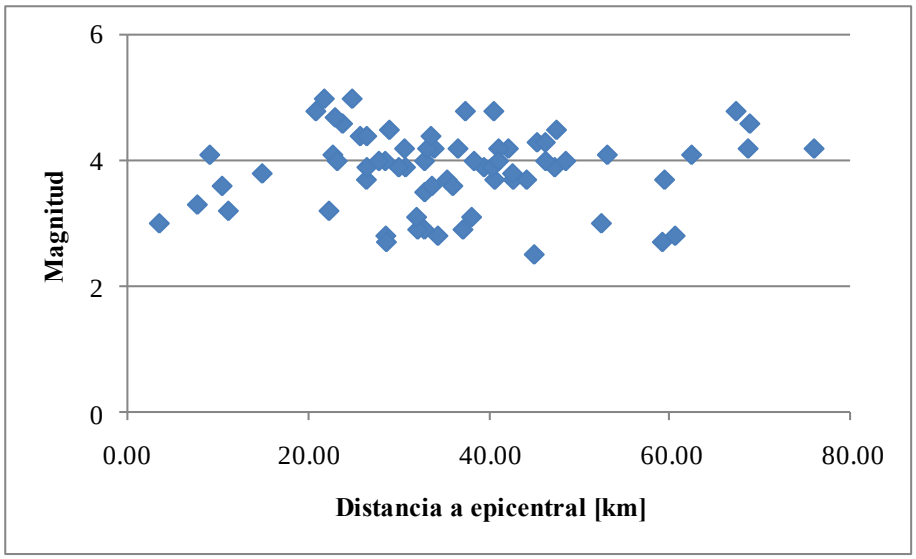


Fig. 3: Relación Magnitud del sismo con respecto a la Distancia Epicentral.

Se analizó también el pico máximo de aceleración de cada componente de los registros (PGA, Peak Ground Acceleration). Los valores máximos y mínimos registrados en el total de registros analizados se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Valores de aceleraciones máximos y mínimos registrados.

Componente	**Máxima [cm/s^2]**	**Mínima [cm/s^2]**
NORTE-SUR	128,9	1,20
ESTE-OESTE	164,1	0,80
VERTICAL	78,0	0,61

Otro aspecto de interés en los registros obtenidos es la polarización del movimiento, esto es la relación entre la máxima aceleración registrada en una componente horizontal respecto de la otra; o bien entre una de las componentes horizontales y la vertical. En la figura 4 se puede observar las relaciones de aceleraciones máximas entre la componente Este-Oeste y la Norte-Sur; en tanto que en la figura 5 se muestra la relación entre la componente horizontal Este-Oeste y la componente vertical. En ambas figuras se han organizado los datos por rangos de distancias epicentrales.

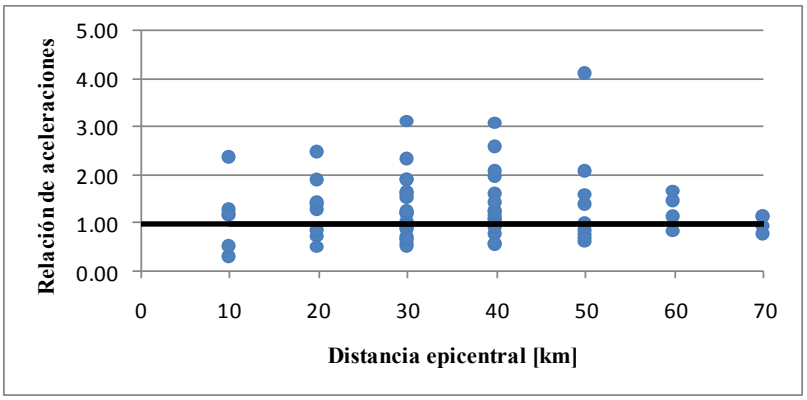


Fig. 4: Relación E-O/N-S con respecto a la distancia a la falla

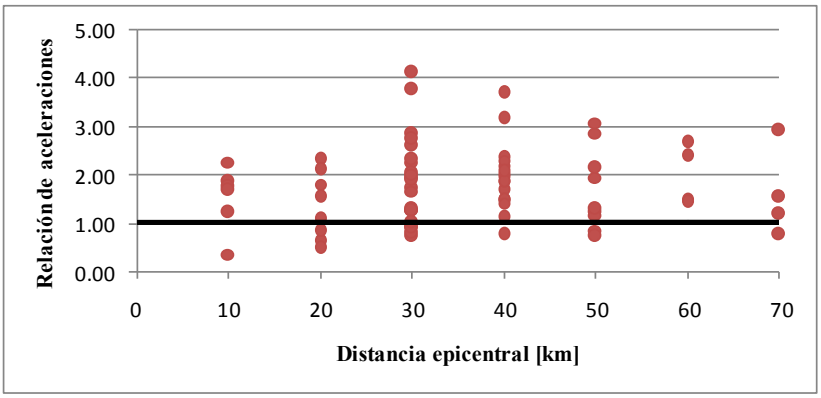


Fig. 5: Relación E-O/Vertical con respecto a la distancia a la falla

De la figura 4 se desprende una marcada polarización de las aceleraciones de los sismos de la zona de estudio en sentido Este-Oeste respecto de la dirección Norte-Sur.

La Figura 5 pone de manifiesto también que la componente horizontal Este-Oeste tiene primacía sobre la componente vertical. No obstante se aprecia mayores valores de aceleraciones verticales cuando los epicientros se ubican a cortas distancias.

5 Conclusiones

1) A partir del mapa de la distribución de los epicentros, clasificados en función de la magnitud, se puede observar que hay una concentración de sismos de magnitud intermedia en lo que es el cauce del Rio Mendoza al sur de la Ciudad de Mendoza, y que los sismos de mayor magnitud no se concentran en una zona particular sino que se hayan dispersos en toda el área estudiada.

2) Con respecto a los gráficos que muestran la relación existente entre la Magnitud y la Distancia Epicentral y la Profundidad, no se pueden extraer conclusiones certeras debido fundamentalmente a poca cantidad de datos disponibles.

3) De acuerdo a la cantidad de registros estudiados, en la mayoría de los sismos, las aceleraciones horizontales máximas en la dirección E-O, son mayores a las de la dirección N-S, lo que es válido de acuerdo a la disposición de las fallas en la provincia de Mendoza. En promedio las aceleraciones de la dirección E-O son un 30% superior a las de la dirección N-S. Se observa que esta tendencia es mayor para distancia epicentrales menores y que a medida que esta distancia crece, la relación tiende a 1.

4) Teniendo en cuenta las aceleraciones horizontales máximas, tanto las de la dirección N-S como las de la dirección E-O, en la mayoría de los casos son superiores a las verticales. En promedio, dichas aceleraciones horizontales, son un 64 % superior a las aceleraciones verticales. Esto se verifica en mayor medida para sismos en los que la distancia epicentral se encuentra entre los 30 y 50 km.

5) Por último se concluye la importancia de intensificar las redes de instrumentación sísmica a fin de contar con más datos que permitan conocer mejor la sismicidad de nuestra región.

Agradecimientos

Un especial agradecimiento al Ing. Eduardo O. Silva, pionero en el desarrollo de la instrumentación sísmica de nuestra Facultad y en la Provincia de Mendoza. Gran parte de los datos presentados en este trabajo fueron obtenidos por él a través de una incansable y paciente tarea.

Los autores de este trabajo expresan su agradecimiento al Laboratorio de Sismicidad del CeReDeTeC y a la Universidad Tecnológica Nacional los cuales con el aporte de la beca de investigación, han hecho posible la presente investigación.

Referencias

1. Servicio de Información Sísmica, Centro Regional de Desarrollos Tecnológicos para la Construcción, Sismología e Ingeniería Sísmica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza.
2. Silva et al, Centro Regional de Desarrollos Tecnológicos para la Construcción, Sismología e Ingeniería Sísmica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza (2005).
3. PICTO Riesgo sísmico, Centro Regional de Desarrollos Tecnológicos para la Construcción, Sismología e Ingeniería Sísmica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza (2005).
4. Panella, S, Frau, C (2011) Base de Datos de Registros Sísmicos de Falla Cercana para uso en Ingeniería Sísmica. Sexto Encuentro de Investigadores y Docentes de Ingeniería EnIDI 2011, Los Reyunos, San Rafael. Mendoza, Argentina.
5. Software KMI Strong Motion Analyst http://www.kmi.com/p-151-SMA.aspx

ANEXO 1

Tabla 5. Tabla de sismos registrados con su Magnitud y Profundidad correspondiente

Fecha	Magnitud	Profund.	ACELERACIONES			Distancia epicentral
			N-S	E-O	Vertical	
		[km]	[cm/s2]	[cm/s2]	[cm/s2]	[km]
28/11/2012	4.6	8	3.248431	-1.709703	-3.491021	23.84
28/11/2012	4.1	9	-8.363396	6.972561	8.329612	22.77
29/08/2012	3.9	15	4.281480	-3.602124	-1.674291	47.30
11/08/2012	4.2	28	11.235776	-12.451129	-5.277494	36.60
18/06/2012	5.0	15	67.175649	94.157671	52.060972	24.90
19/04/2012	3.0	10	-1.394311	3.284776	1.450101	3.57
18/04/2012	3.5	11	1.248800	0.817400	0.906300	32.92
03/04/2012	3.6	17	-4.119630	6.668436	-3.303535	33.73
11/03/2012	3.2	24	1.675203	-1.968557	1.122932	11.21
15/02/2012	3.9	4	3.866390	6.135474	-1.655556	39.48
14/10/2011	3.7	9	1.253041	1.375452	-1.829638	35.40
06/07/2011	4.8	22	-17.411377	9.526476	-8.485570	37.42
17/08/2010	4.3	27	-9.374863	-5.905142	-4.860019	45.35
08/02/2010	3.7	20	-1.504071	-0.891670	0.609810	40.67
12/10/2009	4.0	19	-4.036806	7.562292	-4.882927	23.25
10/10/2009	2.8	23	3.230770	-2.087915	1.611167	28.62
10/07/2009	4.1	25	3.343705	4.621058	-3.573349	53.12
02/06/2009	4.5	20	-8.761836	6.795829	9.295582	47.50
21/05/2009	3.3	29	5.005245	-1.477938	-4.084725	7.78
13/05/2009	3.7	22	6.151494	-9.466275	3.642015	26.47
14/01/2009	3.6	18	4.586109	2.307082	-1.890071	10.52
10/12/2008	4.8	10	-1.295468	3.334752	-2.236827	40.57
16/10/2008	4.4	15	-18.117383	-41.844844	-18.517186	25.79
09/08/2008	4.2	28	8.467139	-9.474125	3.234050	75.99
29/06/2008	4.2	30	-1.496386	-2.337707	-2.320052	33.97
12/05/2008	2.9	0	10.591177	6.276922	-3.297315	32.89
28/04/2008	2.5	0	-3.364604	6.914731	-2.408842	45.03
15/09/2007	4.1	20	-44.204869	55.748512	-29.916495	9.15
19/02/2007	4.1	3.3	-3.376943	-5.692715	-2.388463	62.44
21/10/2006	4.4	24	-3.617634	-3.135692	-3.433691	26.51
26/08/2006	2.8	15.4	2.485834	7.792132	1.895245	34.38
20/08/2006	2.9	6.5	3.975018	-4.707360	-2.435752	32.15

13/08/2006	3.6	11	2.631266	-3.229824	-1.615403	36.03
09/12/2005	3.9	7.7	-5.800671	-10.938915	3.841146	30.80
03/11/2005	3.0	1.7	11.202463	7.924884	-4.066052	52.46
13/10/2005	2.7	10	-2.490572	-3.630798	2.468792	59.20
23/08/2005	5.0	10	-128.962028	164.065873	-78.037026	21.82
01/05/2005	2.9	1.7	-9.504750	11.194767	5.092993	37.16
29/03/2005	3.1	5	3.544131	4.292613	-2.483187	32.03
18/05/2004	3.7	16	4.237095	8.743847	-4.216642	42.71
24/11/2003	2.8	0	-4.120691	4.603418	-1.727003	60.62
15/07/2003	2.7	0	-7.197466	6.904564	3.399503	28.69
13/08/2002	3.1	5	-1.556980	1.921579	-0.837299	38.11
02/06/2002	4.0	22	-2.993209	-1.489307	-1.844755	32.91
24/01/2002	3.9	2	-1.808543	3.514226	1.523555	30.05
05/01/2002	4.8	27	-6.799310	-6.491695	8.485041	67.36
08/07/2001	3.9	16	-1.624256	-1.409295	-1.103093	26.53
07/05/2001	4.2	10	17.009463	-20.913812	7.654665	33.24
16/04/2001	4.0	22	-4.245414	5.090098	-3.986907	28.56
22/11/2000	4.7	1.3	7.532973	18.570853	17.050364	23.01
01/10/2000	4.2	10	1.484670	-1.673207	-1.089929	68.69
06/06/2000	3.9	10	2.565924	2.391022	-1.276333	40.37
15/03/2000	4.0	21	-6.080317	5.968103	5.078214	48.52
18/01/2000	3.7	12	-2.436111	-2.228879	-1.579184	44.20
04/02/1999	4.0	18.8	-2.794672	-2.086083	-1.231716	38.38
29/11/1998	4.2	7.5	1.868161	2.625614	-1.403873	42.17
25/11/1998	3.8	10.8	2.392542	4.657602	-1.473074	42.64
10/10/1998	4.4	10.4	-2.185178	-3.592643	2.152298	33.62
09/10/1998	3.2	18	-1.615309	1.195714	-1.939897	22.34
03/07/1998	4.2	19.8	-3.418903	2.529696	2.005013	30.69
19/04/1998	4.3	10	1.239818	-2.001499	-2.366249	46.26
06/04/1998	4.5	22.5	15.054108	-14.880311	-3.946513	29.02
24/02/1998	3.8	1.4	2.916487	3.539664	-2.094370	14.95
26/08/1997	4.2	5	2.206347	2.063094	-1.356960	41.10
19/08/1997	4.0	20	2.099857	6.514306	-3.276237	41.10
01/05/1997	3.7	5	3.567041	-3.012359	-2.096276	59.45
28/02/1997	4.0	5	-1.769295	-1.799981	-2.475409	27.86
27/11/1996	4.8	28.2	17.574151	-24.024111	10.325659	20.89
13/12/1995	4.0	5	-1.273152	5.230109	-1.699283	46.29
10/12/1995	4.6	10	6.743489	-5.160328	-4.366143	68.88

Modelo Numérico de un Aislador Sísmico Diseñado para Bajo Nivel de Carga Axial

Gioacchini G.; Tornello, Miguel E.; Frau, Carlos D.
CeReDeTeC (Centro Regional de Desarrollos Tecnológicos para la Construcción, Sismología y la Ingeniería Sísmica).
Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Mendoza.
Rodríguez 273, Ciudad, Mendoza, Argentina (5500).
ggioacchini@frm.utn.edu.ar

Resumen. En los últimos años la ingeniería estructural sismorresistente ha desarrollado nuevas estrategias para proteger las construcciones de los terremotos destructivos. Una de las más utilizadas es el aislamiento sísmico. Los antecedentes disponibles indican que las técnicas de aislamiento sísmico han sido orientadas fundamentalmente a grandes emprendimientos, aspecto que se considera altamente positivo. Sin embargo, se ha descuidado un gran número de obras, ampliamente difundidas y de construcción masiva (viviendas de uno o dos niveles, edificios comerciales y edificios de departamentos de baja altura, estructuras y equipos industriales de bajo peso, etc.). El trabajo tiene como objetivo presentar los resultados numéricos y experimentales de un aislador elastomérico diseñado y fabricado para baja carga axial. l. Se ha estudiado la respuesta del aislador bajo carga axial para un modelo de elementos finitos en el código Abaqus utilizando, para el material elastomérico, la propuesta de Ogden basada en una función de energía.Se compararon los resultados obtenidos del modelo numérico propuesto con los ensayos experimentales de compresión. Los ensayos bajo carga axial de compresión permitieron la validación del modelo numérico propuesto con aceptables correlaciones.

Palabras Clave: protección sísmica, aislador sísmico, elementos finitos.

1 Introducción

Los terremotos son fenómenos naturales que ocasionan cuantiosos daños materiales y un número significativo de pérdidas de vidas. En muchas regiones del planeta se producen terremotos severos capaces de colapsar estructuras e interrumpir la actividad económica, las líneas de comunicación y los servicios públicos. Una de las principales causas de las grandes pérdidas es la falta de conocimiento sobre la respuesta de las construcciones frente a terremotos severos, sumado a la incertidumbre del comportamiento de los materiales, tipo de suelos, fundaciones, características de las fuentes generadoras de terremotos, etc., lo cual se traduce en diseños, en parte, no adecuados para afrontar la acción de terremotos destructivos.

Una de las estrategias no tradicionales para controlar el daño en las construcciones es el aislamiento sísmico. El objetivo fundamental de la estrategia es desacoplar la estructura del suelo de fundación con el objeto de que el movimiento del terreno, durante un sismo no sea transmitido a la superestructura y que ella permanezca esencialmente detenida en un marco de referencia inercial, Figura 1. Por cierto, un desacople perfecto entre suelo y estructura es impracticable actualmente, sin embargo,

cualquier sistema de aislamiento busca concentrar en él la deformación impuesta por el suelo, filtrando el movimiento que se trasmite hacia la superestructura.

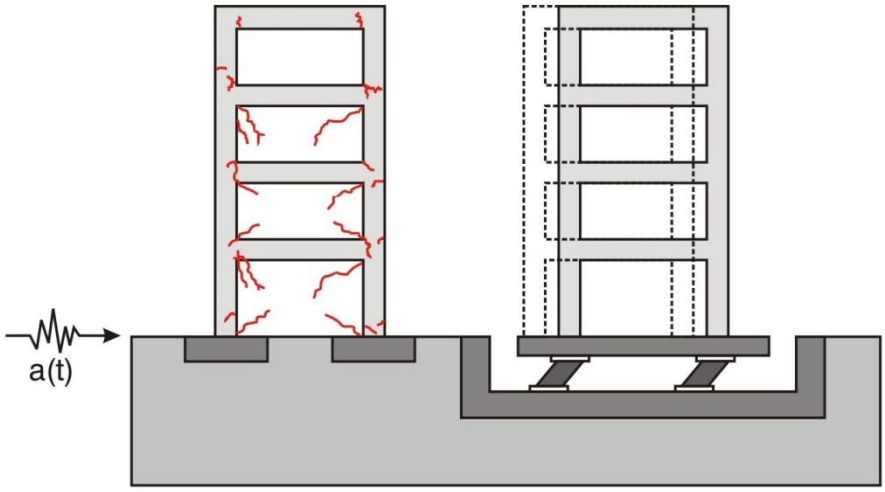


Fig. 1. Respuesta de una estructura convencional y una aislada

La implementación de dispositivos de aislamiento sísmico permite reducir la demanda sísmica sobre las estructuras y asegurar su capacidad de resistencia frente a terremotos destructivos, por lo tanto dichas estructuras muestran un comportamiento elástico ante la ocurrencia de importantes terremotos, situación que garantiza la estabilidad de la estructura aislada, la supervivencia de sus ocupantes y contenidos.

El concepto de aislamiento sísmico es ampliamente aceptado en regiones sísmicas para proteger edificios importantes o que deban cumplir funciones esenciales después de ocurrido el terremoto, de hecho hay muchos ejemplos en Estados Unidos de Norteamérica, Japón, Italia y Nueva Zelanda. También existen proyectos de menor costo para viviendas económicas de los cuales hay casos realmente construidos en Chile, China y Armenia.

Otros de los beneficios importantes de los sistemas de aislamiento es la protección de los contenidos de los edificios (por ejemplo en el caso de hospitales el equipamiento tiene un costo muchas veces mayores que el edificio mismo). Suministrar una mayor resistencia al edificio, en muchos casos, no garantiza valores aceptables de distorsiones de piso o de aceleraciones en altura. Cantidades elevadas de distorsiones de piso causan daños en los componentes no estructurales y en sus contenidos. Aumentar la rigidez del edificio permitiría disminuir la distorsión de piso, sin embargo ello no garantiza una reducción de las aceleraciones, por otro lado reducir la rigidez del mismo permitiría reducir las aceleraciones pero no las distorsiones de piso. Los sistemas de aislamiento sísmico permiten controlar simultáneamente los dos parámetros porque el mismo posee la flexibilidad necesaria como para concentrar toda la deformación a nivel de los dispositivos de aislamiento. [1]

Los sistemas de aislamiento sísmico no sólo se han utilizado en obras nuevas sino también en proyectos de edificios existentes. El problema que enfrentan las regiones de países desarrollados y no desarrollados emplazados en zonas de peligro sísmico, no es solamente la amenaza permanente de un terremoto destructivo sino, además, que muchas de sus construcciones (civiles, comerciales, industriales y de infraestructura) fueron construidas con códigos de edificación hoy obsoletos y en muchos otros casos con pocas prescripciones sísmicas. En alguna ocasión el edificio podrá ser demolido y reconstruido, en otros no, ya sea por razones económicas, sociales o históricas. Por lo tanto, hoy, los sistemas de aislamiento sísmico resultan ser técnicas no tradicionales para recuperar dichas construcciones con un grado de seguridad aceptable.

Los antecedentes indican que las técnicas de aislamiento han sido orientada fundamentalmente a grandes emprendimientos o bien a obras de infraestructura, aspecto que se considera altamente positivo, sin embargo, en países en vías de desarrollo se ha descuidando un gran número de obras, ampliamente difundidas y de construcción masiva (viviendas de uno o dos niveles, edificios comerciales, hoteles y edificios de departamentos de baja altura, estructuras y equipos industriales de bajo peso, equipos de estaciones transformadoras, etc.) que al igual que las grandes obras, sufren el impacto de un terremoto destructivo (pérdidas económicas y de vidas humanas, retraso socio económico de la región).

Si bien los dispositivos que hoy existen comercialmente pueden también utilizarse para el tipo de construcción mencionada en párrafo precedente, los mismos tienen, en general, para los países en vías de desarrollo, los siguientes inconvenientes: i) los dispositivos tienen sus propias patentes, ii) no se fabrican en al país y por lo tanto hay que importarlos con el consecuente incremento de los costos, iii) para amortizar su costo es necesario fabricar un número importante de dispositivos de tal manera que no tenga incidencia importante en el costo de la construcción; iv) no permite generar desarrollos con tecnología local.

Basado en tales necesidades, se ha diseñado y fabricado un dispositivo de aislamiento sísmico elastomérico para bajo nivel de carga axial, con el objeto de ser empleado en las construcciones previamente mencionadas. En el presente trabajo se presenta un estado de avance del proyecto de investigación el cual consiste en la modelación numérica del dispositivo de aislamiento y en el estudio de la respuesta numérica y experimental de los aisladores bajo carga axial controlada.

2 Antecedentes sobre el aislamiento sísmico de construcciones con bajo peso.

A nivel mundial existen escasos antecedentes sobre el uso de dispositivos de aislamiento para estructuras de bajo peso. Existen numerosas aplicaciones para aislar equipos industriales y máquinas en general de las vibraciones de otros equipos o para controlar los efectos de los terremotos.

Las primeras investigaciones sobre un edificio realmente construido sobre un sistema de aislamiento sísmico se atribuyen a John Milne quien fuera profesor de la carrera de ingeniería en minería en Tokio entre 1876 y 1895. La estructura fue

construida sobre "bolas" contenidas en cajas de aceros. Por encima de las mismas existía una placa de acero tomada al edificio cuya superficie de contacto con las bolas era de forma cóncava, otra placa de idénticas características se ubicaba por debajo de las placas de aceros. El edificio fue instrumentado y aparentemente ensayado a movimientos sísmicos, las experiencias obtenidas fueron publicadas en 1885 en el informe de la Asociación Británica para el avance de la ciencia. El primer informe contemplaba un diámetro de bolas de 10 pulgadas, al año siguiente, en 1886, el trabajo fue actualizado y se publicaron los resultados para diámetros de bolas de 8, 1 y ¼ de pulgadas [2].

Los proyectos más recientes hoy utilizan casi exclusivamente aisladores conformados por planchas de goma vulcanizadas a láminas de acero y en muchos países (Estados Unidos de Norteamérica y Nueva Zelanda) con núcleo de plomo para mejorar el amortiguamiento de los dispositivos. Dichas planchas proveen una importante rigidez vertical pero conservan su flexibilidad horizontal parámetro importante para el proceso de disipación de energía.

Muchos proyectos de aislamiento sísmico, particularmente en Nueva Zelanda y Japón, combinan aisladores de goma natural de alto amortiguamiento con amortiguadores hidráulicos, barras de acero retorcidos o núcleo de plomo dentro del aislador elastomérico. Dichos elementos introducen una no linealidad de la respuesta que en parte complican el análisis teórico y por otro lado reducen el grado de aislamiento para los modos superiores de la excitación sísmica [2]. Sin embargo, la presencia de los amortiguadores hidráulicos funcionando en paralelo con aisladores, conduce a respuestas eficientes del sistema de aislamiento cuando se está en presencia de terremotos asociados a falla cercana [3].

Por otro lado, desde hace más de 15 años, los dispositivos de aislamiento sísmico en Japón ya se han extendido a viviendas. Este hecho caracteriza al país en relación a otros países sísmicos del mundo. Manteniendo dicha filosofía y admitiendo que la técnica de aislamiento debe ser también extendida a construcciones de bajo y mediano peso, generando dispositivos para este tipo de construcción. En este sentido se ha realizado análisis teóricos del pandeo de dispositivos de aislamientos elastoméricos que utilizan placas de refuerzo de fibras en vez de placas de acero, con la intención de reducir los costos del aislador y han demostrado que su comportamiento es aceptable para viviendas [4].

Otros trabajos han estudiado el comportamiento de un sistema de aislamiento (PPP), desarrollado como una alternativa para ser usado en construcciones de peso ligero y de bajo costo [5]. También se ha construido una vivienda aislada sísmicamente, la misma está apoyada con elementos tipo bielas y con dos aisladores elastómericos [6]. El sistema de aislamiento utiliza aisladores elastoméricos para concretar la fuerza restitutiva.

3 Características del modelo estudiado

Para predecir el comportamiento del dispositivo de aislamiento sísmico diseñado y fabricado, se estudia numéricamente la respuesta mecánica, considerando el comportamiento no lineal de los materiales componentes y la interacción entre ellos a

partir de una combinación de cargas ficticias. El modelo hiperelástico utilizado para describir el comportamiento del material elastomérico es el Ogden [7]. Para el acero se utiliza un modelo elástico basado en la Ley de Hooke.

Para evaluar el análisis numérico del aislador se utiliza el código comercial ABAQUS [8] como programa de elementos finitos.

Las características geométricas del modelo que se ha estudiado se indican en la Figura 2. El aislador está conformado por dos platinas de acero de conexión, inferior y superior, y por un taco de goma de 200 mm de altura. Los resultados que se presentan en el trabajo corresponden a los aisladores sin núcleo confinado, sin embargo existen otro grupo de aisladores donde el núcleo del mismo ha sido confinado con distintas técnicas, en algunos casos se ha utilizado una lámina de caucho y en otros casos un tubo de acero de distintos diámetros y espesores.

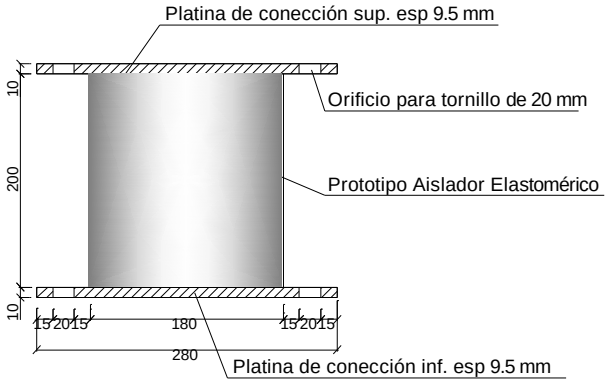


Fig. 2. Características del aislador estudiado (Dimensiones en "mm")

3.1 Modelo de elementos finitos del aislador utilizado en el código ABAQUS.

Para la modelación se utilizaron elementos sólidos deformables en tres dimensiones. Los contactos entre superficies de las placas de acero y taco de goma se definieron con la opción de ABAQUS "surface-surface", especificando superficies maestras (master) y esclavas (slave), las cuales tienen la característica de que la superficie maestra no puede ser penetrada por la superficie esclava. La interacción de las superficies fue definida para un comportamiento longitudinal y transversal, para el primero se especificó un comportamiento de contacto rígido o duro (Hard Contact), y para el segundo se definió un contacto de fricción. En la Figura 3 se observa el modelo de elementos finitos generado para el aislador estudiado.

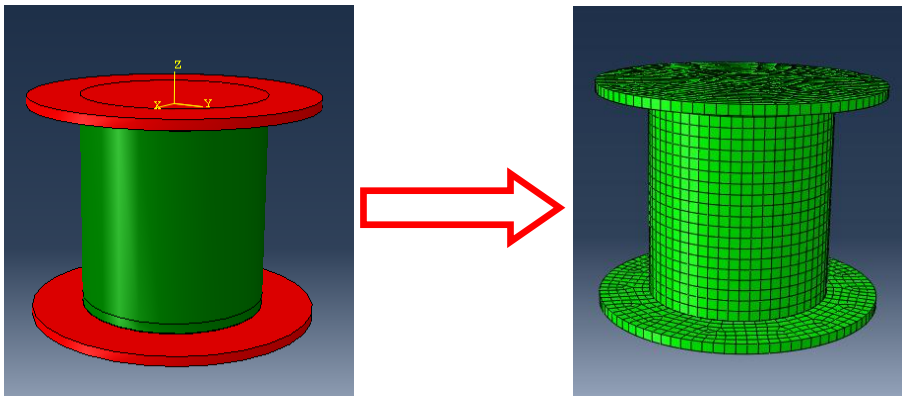


Fig. 3. Modelo de elementos finitos utilizados en la plataforma ABAQUS.

3.2 Especificaciones de los materiales utilizados.

Los materiales utilizados para la modelación fueron goma y acero. Para el acero se utilizó un modelo elástico isotrópico con un módulo de elasticidad E=210000 MPa. Para el elastómero se utilizó el modelo hiperelástico de Ogden [7]. Los parámetros correspondientes al modelo de Ogden se obtuvieron experimentalmente y en forma simultánea mediante ensayos de tracción, compresión y corte, los mismos se resumen en la Tabla 1 [9]. Se utilizó para el módulo volumétrico un valor de de k = 10000 MPa, se observa que con dicho parámetro los resultados numéricos describen una respuesta prácticamente incompresible.

Tabla 1. Parámetros correspondientes al modelo de Ogden.

Constantes (MPa)						
Compuesto	μ1	μ2	μ3	α1	α2	α3
Goma natural	1	0.0012	-0.01	1.3	5	-2

3.3 Descripción del modelo hiperelástico utilizado para el elastómero

El modelo constitutivo utilizado para simular el comportamiento del elastómero está basado en la función de energía propuesta por Ogden [7] [10] [11].

$$W(\lambda_1,\lambda_2,\lambda_3)=\sum_{i=1}^{N}\frac{\mu_i}{\alpha_i}(\lambda_1^{\alpha_i}+\lambda_2^{\alpha_i}+\lambda_3^{\alpha_i}-3) \quad \textbf{(1)}$$

Donde N es un número entero positivo y μ_i, α_i son parámetros del material que se determinan en base a una serie de ensayos experimentales. Las deformaciones están parametrizadas por los estiramientos principales λ_A dados por:

$$\lambda_A = (eig_A(C))^{1/2} = (eig_A(b))^{1/2} \quad \textbf{(2)}$$

Donde los autovalores se obtienen a partir del tensor derecho de Cauchy-Green C ó del tensor izquierdo de Cauchy-Green B. Debido a la cuasi-incompresibilidad que presentan los elastómeros se realiza una descomposición multiplicativa del tensor gradiente de deformación en sus partes volumétrica (F_{vol}) y desviadora ($\overline{F}$).

$$F = F_{vol}\overline{F}, \qquad F_{vol} = J^{1/3}I, \qquad \overline{F} = J^{-1/3}F \quad \textbf{(3)}$$

Mediante esta descomposición, la energía de deformación se puede expresar a través de una descomposición aditiva de sus partes volumétrica y desviadora:

$$W = W(J) + \overline{W}(\overline{C}) \quad \textbf{(4)}$$

Donde C es la parte desviadora del tensor derecho de Cauchy-Green, $C = F^T F$. Asociada con la deformación volumétrica se tiene, en la configuración actualizada, una presión hidrostática p, dada por:

$$p = W'(J) \quad \textbf{(5)}$$

Aplicando la descomposición indicada en la ec. (3) el equivalente de la ec. (4), en estiramientos principales, resulta:

$$W(\lambda_i) = W(J) + W^*(\lambda_i^*) \quad \textbf{(6)}$$

Donde W(J) describe la energía libre asociada al cambio de volumen del sólido y W* (λ_i*) la asociada a las deformaciones isocóricas (a volumen constante).

El potencial en función de los estiramientos modificados se expresa como:

$$W^*(\lambda_i^*) = \sum_{i=1}^{N} \frac{\mu_i}{\alpha_i}(\lambda_1^{*\alpha_i} + \lambda_2^{*\alpha_{ii}} + \lambda_3^{*\alpha_i} - 3) \qquad \lambda_i^* = J^{-1/3}\lambda_i \quad \textbf{(7)}$$

Partiendo de la derivación de la función de energía dada por la ecuación (6) y aplicando la regla de la cadena se obtiene el segundo tensor de tensiones de Piola-Kirchhoff S:

$$S = 2\sum_{A=1}^{3} \frac{\partial W^*(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)}{\partial \lambda_A} \frac{\partial (\lambda_A)^2}{\partial C} \frac{1}{\lambda_A} + JW'(J)C^{-1} \quad \textbf{(8)}$$

En la ecuación (8) la tensión total S resulta desacoplada en sus partes desviadora $\bar{S}$ y volumétrica S_v dadas, respectivamente, por:

$$\bar{S} = 2\sum_{A=1}^{3} \frac{\partial W^*(\lambda_1,\lambda_2,\lambda_3)}{\partial \lambda_A} \frac{\partial (\lambda_A)^2}{\partial C} \frac{1}{\lambda_A} \qquad S_v = JW'(J)C^{-1} \tag{9}$$

El tensor C puede escribirse aplicando descomposición polar, como:

$$C = \sum_{A=1}^{3} \lambda_A N_A \otimes N_A \tag{10}$$

Donde λ_A son, como se expresó anteriormente, los estiramientos principales y N_A son los respectivos autovectores [12]. De la ecuación (10) se obtiene:

$$\frac{\partial (\lambda_A)^2}{\partial C} = N_A \otimes N_A \tag{11}$$

Donde $\{N_1, N_2, N_3\}$ son ortogonales y definen un sistema rectangular de vectores unitarios. Finalmente resulta:

$$\frac{\partial W^*(\lambda_i^*)}{\partial \lambda_A} = \sum_{i=1}^{N} \mu_i J^{1/3} (\lambda_A^{\alpha_i} - \frac{1}{3}(\lambda_1^{\alpha_i} + \lambda_2^{\alpha_{ii}} + \lambda_3^{\alpha_i})) \tag{12}$$

Si se reemplazan las ecuaciones (11) y (12) en la ecuación (9), se obtiene para la parte desviadora del tensor de tensiones, la siguiente expresión:

$$\bar{S} = \sum_{A=1}^{3} \left(\sum_{i=1}^{N} \mu_i J^{-\alpha_i/3} (\lambda_A^{\alpha_i} - \frac{1}{3}(\lambda_1^{\alpha_i} + \lambda_2^{\alpha_{ii}} + \lambda_3^{\alpha_i})) \right) N_A \otimes N_A \frac{1}{\lambda_A} \tag{13}$$

Procediendo de forma análoga, se puede expresar la parte desviadora del tensor de tensiones de Cauchy σ en la forma:

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{J} \sum_{A=1}^{3} \left(\sum_{i=1}^{N} \mu_i J^{-\alpha_i/3} (\lambda_A^{\alpha_i} - \frac{1}{3}(\lambda_1^{\alpha_i} + \lambda_2^{\alpha_{ii}} + \lambda_3^{\alpha_i})) \right) \frac{1}{\lambda_A} F N_A \otimes N_A F^T \tag{14}$$

Se han propuesto varias expresiones para caracterizar la energía interna asociada al cambio de volumen [13]. La expresión utilizada en los desarrollos de este trabajo está dada por:

$$W(J) = \frac{1}{2}k(J-1)^2 \quad \textbf{(15)}$$

Donde k es el módulo volumétrico del material en la configuración de referencia. Teniendo en cuenta la ecuación (15) y considerando Sv positiva para compresión se obtiene:

$$S_v = -Jk(J-1)C^{-1} \quad \textbf{(16)}$$

Las expresiones finales de las tensiones, en las configuraciones de referencia y actualizada, resultan respectivamente dadas por:

$$S = \sum_{A=1}^{3}\left(\sum_{i=1}^{N}\mu_i J^{-\alpha_i/3}(\lambda_A^{\alpha_i} - \frac{1}{3}(\lambda_1^{\alpha_i} + \lambda_2^{\alpha_{ii}} + \lambda_3^{\alpha_i}))\right) N_A \otimes N_A \frac{1}{\lambda_A} - Jk(J-1)C^{-1} \quad \textbf{(17)}$$

3.4 Condiciones de borde del modelo numérico

El modelo de elementos finitos fue restringido a los desplazamientos en las tres direcciones. La restricción se impuso en la parte inferior del aislador, en coincidencia con la platina de conexión inferior. El modelo fue analizado para tres desplazamientos verticales: 2; 3 y 5 cm. En la Figura 4 se observa el modelo del aislador elastomérico deformado baja carga axial con deformación vertical controlada. Las respuestas obtenidas fueron comparadas con los resultados obtenidos experimentalmente. La misma Figura 4, muestra la similitud de respuesta entre el modelo y los ensayos.

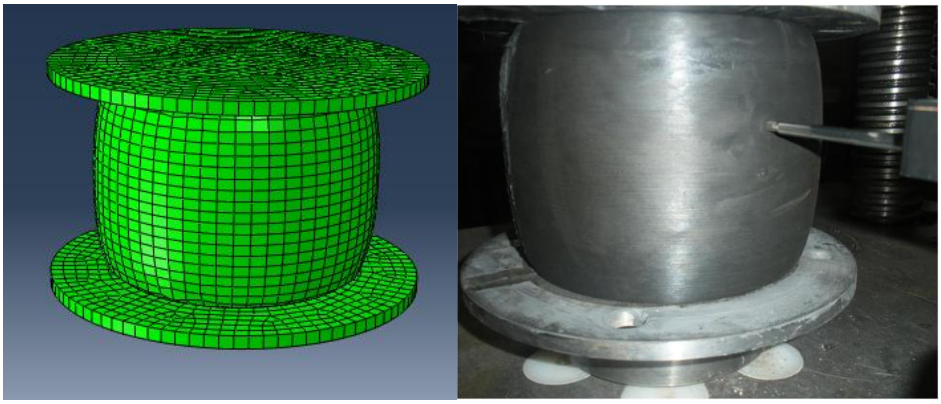


Fig. 4. Modelo del aislador elastomérico baja carga axial de compresión y respuesta de los ensayos experimentales.

4 Resultados experimentales obtenidos.

Para cada uno de los tres desplazamientos verticales mencionados (2, 3 y 5 cm), se trazaron para el modelo numérico del aislador, las curvas de fuerza versus desplazamiento. Una de ellas se muestra en la Figura 5.

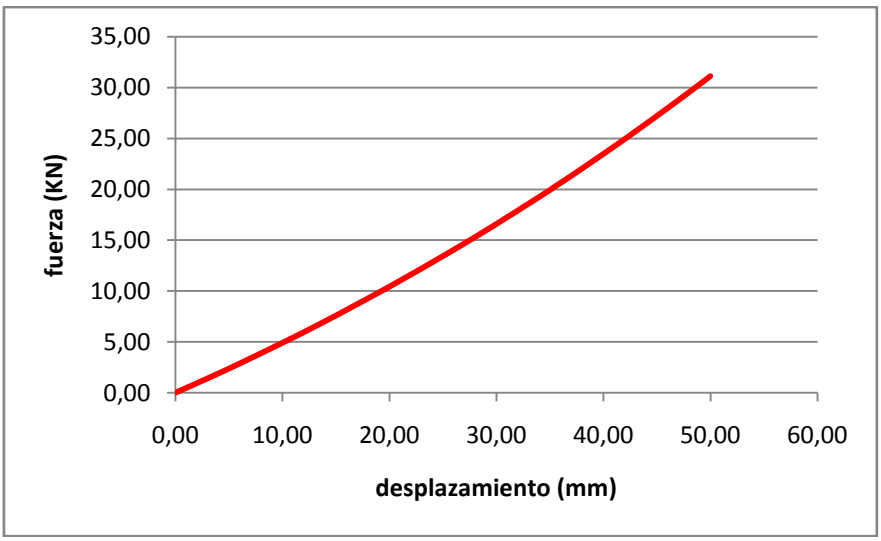


Fig. 5 Curva Fuerza – desplazamiento del modelo numérico para una deformación controlada de 5cm.

En la Figuras 6 se grafican las curvas en las que se comparan los resultados obtenidos con el modelo hiperelástico de Ogden y los resultados obtenidos aplicando la Ley de Hooke. Para este último caso se ha considerado un módulo de elasticidad longitudinal de la goma E = 0.0059 KN/mm2.

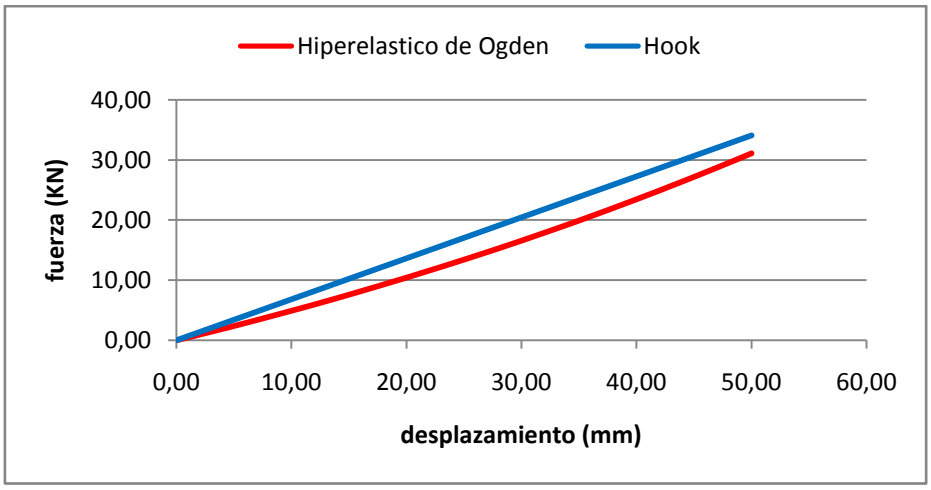


Fig. 6. Curva Fuerza – desplazamiento del modelo numérico para una deformación controlada de 5cm. Modelo de Ogden y Hooke.

En la Figura 7 se muestra la curva, carga-deformación para un desplazamiento máximo de 20 mm. En el eje horizontal se representan las deformaciones en "mm" y en el eje vertical la carga axial en "KN". Los valores obtenidos experimentalmente son muy similares a los obtenidos con el modelo numérico de la Figura 6.

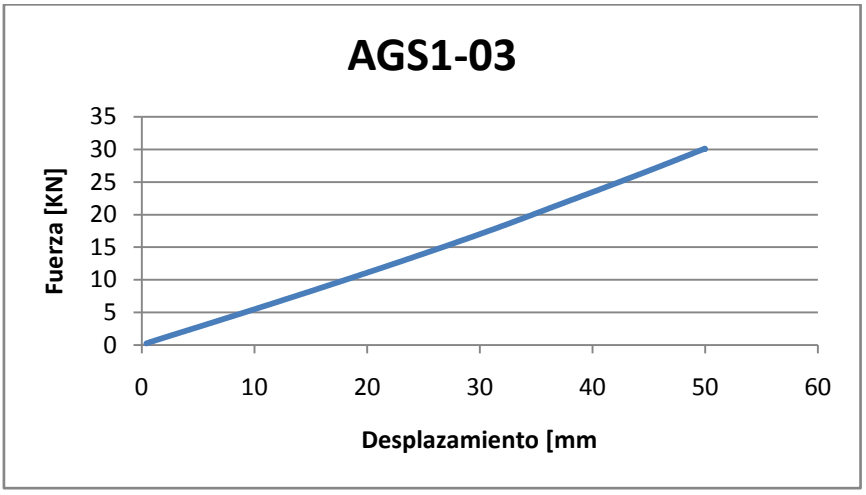


Fig. 7. Curva "Fuerza – desplazamiento" obtenida experimentalmente para una deformación controlada de 5cm.

En las Figuras 8, 9 y 10 se muestra la distribución de tensiones de Mises, para el modelo hiperelástico de Ogden para un desplazamiento de 2, 3 y 5 cm. respectivamente.

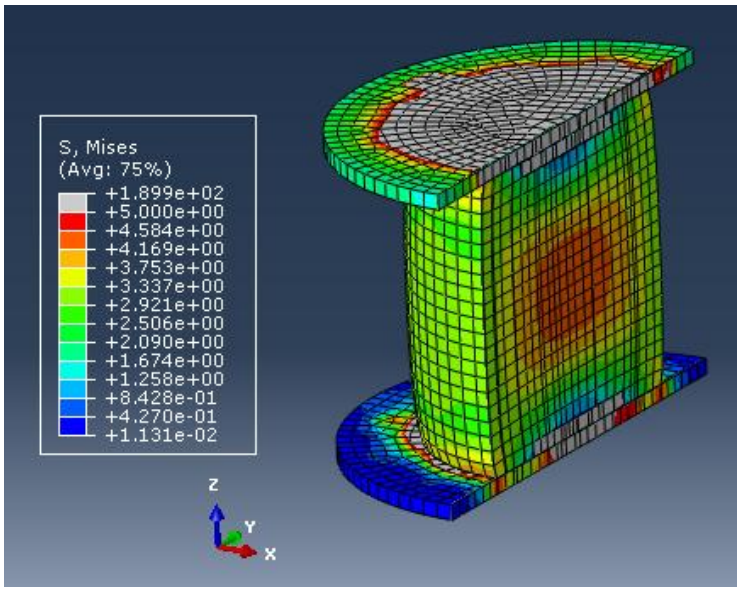


Fig. 8. Estado de tensiones de Mises en [kg/cm2], para un desplazamiento vertical controlado de 2 cm.

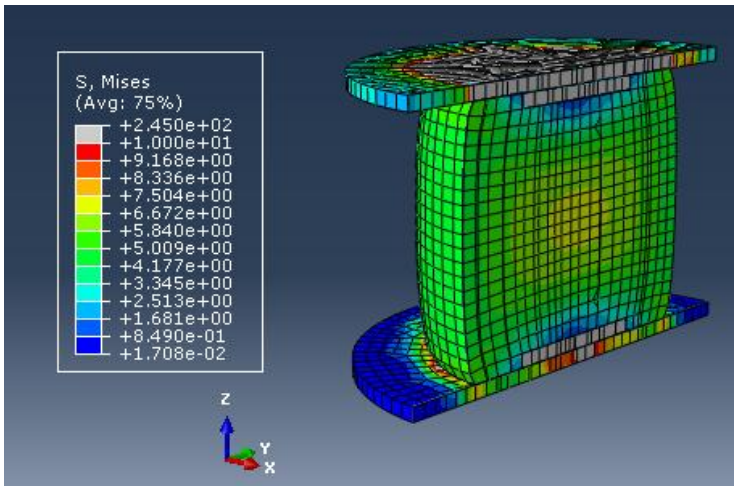


Fig. 9. Estado de tensiones de Mises en [kg/cm2], para un desplazamiento vertical controlado de 3 cm.

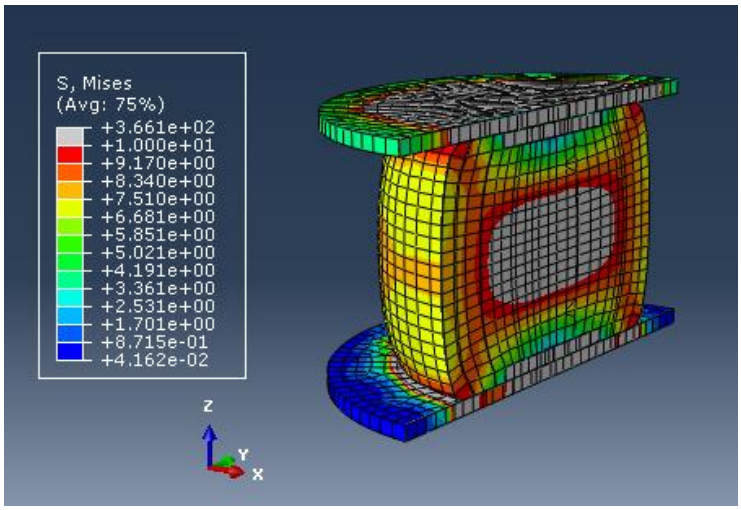


Fig. 10. Estado de tensiones de Mises en [kg/cm2], para un desplazamiento vertical controlado de 5 cm.

5 Conclusiones

Los resultados obtenidos con el modelo numérico propuesto en el trabajo y los ensayos experimentales realizados en los aisladores presentan aceptables correlaciones situación que ha permitido validar el modelo numérico utilizado.
Se observan diferencias de capacidades entre los modelos hiperelástico de Ogden y el elástico de Hooke, siendo este último mayor que el primero. Esto se presenta para los tres desplazamientos verticales analizados en el modelo del aislador elastómerico.

Las tensiones máximas se encuentran en la unión de las placas de conexión superior e inferior con el taco de goma del aislador. Se observa también un crecimiento de las tensiones desde el núcleo de la goma hacia el exterior. Dicha respuesta es más evidente para mayores desplazamientos verticales. .

.

Agradecimientos

Programa de Becas Doctorales para Docentes UTN. Subsecretaría de Posgrado. Secretaría de Ciencia y Tecnología. Rectorado. UTN.
Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Mendoza.
CeReDeTeC. Centro Regional de Desarrollos Tecnológicos para la Construcción, Sismología e Ingeniería Sísmica.

Referencias

1. Tornello M.. Aislamiento sísmico de base en construcciones civiles, emplazadas en zonas de alto riesgo sísmico. Director: Dr. Sarrazin A. M. Tesis Doctoral. Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza. (2007)
2. Naeim F., Kelly J. M. Design of seismic isolated structures. Editorial J. Wiley and Sons. INE (1999)
3. Jangid R. S., Kelly J. M. Base Isolation for near-fault motions". Earthquake Engineering and Structural Dynamics. 30:691-707. 16. (2001)
4. Kelly J. M,. Calabrese A. y Serino G. Design criteria for Fiber Reinforced Rubber Bearings. 15WCEE. Lisboa 2012. (2012)
5. Besa, J., de la Llera J. C., Jünemann R. Experimental behavior and design of a new kinematic isolator. Engineering Structures , Vol.32, 508-522. (2010)
6. Revista BIT, Especial terremoto Chile 2010. Aislación y disipación de energía. Mayo2010.(Disponible online www.fiic.la/.../DELALLERA%202.pdf.). (2010)
7. Ogden R. (1984)Non-linear elastic deformations, Dover Publications, New York.
8. Abaqus 6.4-1. Theory Manual. Hibbit, Karlson and Sorenson, Inc.: Pawtucket, U.S.A. (2003)
9. Weinberg K. Lecture Notes for Zur Methode der finiten Elemente in der Mechanik II: Nichtlineare Probleme, TU Berlin [in English]. http://mechanik.tu berlin.de/weinberg/Lehre/fem2/Chapter4.pdf
10. Núñez C. A. y Celentano D. J. Caracterización experimental y numérica de compuestos elastoméricos utilizados en disipadores de energía. Mecánica Computacional Vol. XXIV A. Larreteguy (Editor) Buenos Aires, Argentina, Noviembre 2005. (2005)
11. Bellomo F., Nallim G., Oller S. Modelo para el análisis del comportamiento mecánico de materiales compuestos de matriz elastomérica reforzada. Mecánica Computacional Vol XXVII, págs. 593-613 Alberto Cardona, Mario Storti, Carlos Zuppa. (Eds.) San Luis, Argentina, Noviembre 2008. (2008)
12. Simo, J. C., Topics on the Numerical Analysis and Simulation of Plasticity, Vol. III of Handbook of Numerical Analysis, Elsevier Science Publishers, (1993)
13. Crisfield, M.A., Non-linear Finite Element Analysis of Solids and Structures, Volume II: Advanced Topics. John Wiley & Sons. (1996)

Mampostería Patrimonial: Su Respuesta a Esfuerzo Biaxial

Gerardo González del Solar,, Pablo Martín, Noemí Maldonado
Colaboradores: Sergio Acosta, Claudio Dagne

Centro Regional de Desarrollos Tecnológicos para la Construcción, Sismología y la Ingeniería Sísmica (CeReDeTeC), Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional, Rodríguez 273, 5500 Mendoza, Argentina, ceredetec@frm.utn.edu.ar, http://www.frm.utn.edu.ar/ceredetec

Resumen. Muchas estructuras de comienzos de Siglo XX en la Ciudad de Mendoza presentan un mal estado producto del paso del tiempo y los eventos sísmicos registrados. Para su rehabilitación es necesario contar con estudios técnicos que avalen las decisiones pertinentes. En este camino el presente trabajo quiere ser un aporte al conocimiento del comportamiento de la mampostería simple en muros de gran espesor sometidos a esfuerzo biaxial. Para ello, se presentan los resultados alcanzados durante el ensayo de probetas de mampostería simple de 45 cm de espesor. El presente estudio forma parte de un trabajo integral que se está llevando a cabo en las instalaciones del CeReDeTeC y que, cuyos resultados finales serán presentados oportunamente.

Palabras Clave: Estructura, Mampostería, Patrimonial, Biaxial.

1 Introducción

El comportamiento de la mampostería simple en muros de gran espesor, difiere mucho del previsto en muros de espesores bajos (hasta 20 cm) como los que se emplean actualmente. Las estructuras de comienzos del siglo XX se caracterizan por muros de mampostería formados por elementos de barro cocido asentados en mortero de cal, de variados tipos de aparejos dando lugar a espesores que oscilan dentro de un rango que va desde los 30 cm hasta valores del orden de los 100 cm. Muchas edificaciones de estas características siguen hoy en pie en la provincia de Mendoza. Como ejemplo podemos citar Templo del Sagrado Corazón de Jesús, la Legislatura, Ex - Escuela Bartolomé Mitre, Honorable Concejo Deliberante de Godoy Cruz, entre otros. Sin embargo, la falta de mantenimiento y los sucesivos eventos sísmicos que han debido soportar, han dejado a las estructuras con una marcada afectación llegando incluso a quedar inhabilitadas para su uso.

La necesidad de reparar y rehabilitar estas estructuras lleva a desarrollar investigación sobre el comportamiento estructural de este tipo de mamposterías. Por otra parte, esta necesidad conduce a obtener información que sustente las decisiones a tomar en cuanto al tipo de refuerzo más adecuado. Finalmente, el costo material y humano de las experimentaciones es elevado, por ello se hace necesario caracterizar estos elementos a fin de ser aplicados en modelos computacionales que permitan predecir su respuesta. “La exactitud de estos modelos depende de los modelos constitutivos reales de los materiales” [1].

El presente estudio tiene como objetivo general, generar conocimiento respecto al comportamiento mecánico de muros conformados con las técnicas y tecnologías de comienzo del siglo XX, solicitados bajo tensiones de corte similares a las inducidas por la acción sísmica. Los cambios en las técnicas de construcción así como en los materiales disponibles desde comienzos del siglo pasado, hacen imposible la reproducción de muretes con las mismas características de aquella época. Debido a esto, se propone para el análisis el estudio de muretes de dos espesores (28 cm y 45 cm) conformados respetando el tipo de aparejo relevado en estructuras patrimoniales y empleando para ello, materiales actuales de similares características a los observados.

3 Ensayo

3.1 Normativa vigente

En nuestro medio se encuentran vigentes dos normativas que tratan el comportamiento y el aporte de paramentos formados por mampuestos de arcilla cocida asentados con mezclas calcáreas en la resistencia al corte de las estructuras.

Por un lado, a nivel provincial, rige el Código de Construcciones Sismorresistentes de la Provincia de Mendoza (CCSR) del año 1987 [2]. El mismo establece los requisitos básicos a cumplir en el proyecto, cálculo, ejecución, reparación y refuerzo de las construcciones y de sus partes componentes con el objeto de considerar en ellas el efecto sísmico. Para el cálculo de la capacidad a corte de la mampostería simple aplica tensiones de referencia según el tipo de mampostería y mortero empleados.

Por otra parte, a nivel nacional se encuentra vigente el Reglamento INPRES CIRSOC 103 “Normas Argentinas para Construcciones Sismorresistentes” Parte III: Construcciones de Mampostería (año 1991) [3]. Este reglamento establece el cálculo de la resistencia básica a corte de la mampostería simple a través del ensayo de compresión diagonal (Ver Fig. 1).

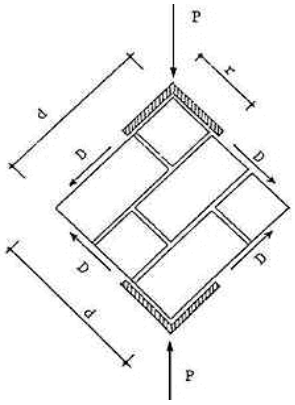


Fig. 1. Esquema de carga. Ensayo de compresión diagonal.

Este ensayo consiste en la aplicación de una carga de compresión, P, según una diagonal del murete hasta alcanzar la rotura. La resistencia al corte del elemento se determina dividiendo la proyección de la carga de rotura sobre la dirección paralela a las hiladas, por el área bruta de la sección transversal del murete según la misma dirección.

$$\tau = {}^{0,7 \times P}\!/_{d \times e} \quad . \qquad \textbf{(1)}$$

3.2 Descripción del ensayo

A fin de someter al espécimen a un estado tensional similar al propuesto en el Reglamento es necesario realizar la adaptación del ensayo.

Debido a las características dimensionales y al peso de la probeta, se ubica al elemento de ensayo en posición horizontal sobre el suelo, aplicando sobre su extremo superior una carga vertical (Fv) más una carga horizontal (Fh) (Ver Fig. 2). Ambas van en aumento, la segunda en función de la primera, con una relación de 1,5. Las cargas se aplican hasta alcanzar la rotura del espécimen en estudio mediante los incrementos exhibidos en la Tabla **1** 1.

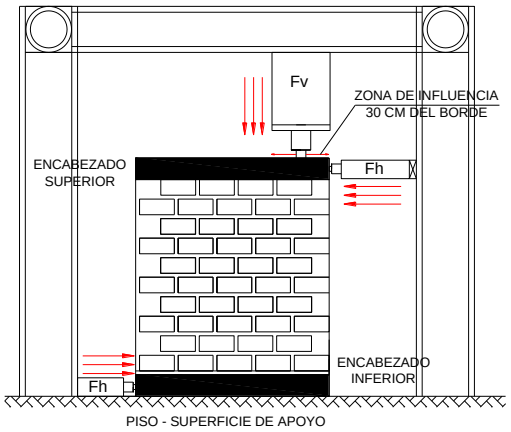


Fig. 2. Esquema de ensayo.

Tabla 1. Escalones de carga horizontal y vertical.

Etapa	Fv [tn]	Fh [tn]
1	0	0
2	2,3	1,5
3	4,5	3
4	6,8	4,5
5	9	6

Etapa	Fv [tn]	Fh [tn]
10	20,3	13,5
11	22,5	15
12	24,8	16,5
13	27	18
14	29,3	19,5

Etapa	Fv [tn]	Fh [tn]
6	11,3	7,5
7	13,5	9
8	15,8	10,5
9	18	12

Etapa	Fv [tn]	Fh [tn]
15	31,5	21
16	33,8	22,5
17	36	24
18	38,3	25,5

Por otro lado, los desplazamientos generados por el estado solicitante son medidos en ocho puntos diferentes (ver Fig. 3).

Desplazamiento horizontal: Medido a través de dos flexímetros (número 1 y 2) ubicados en la cara opuesta a la cara de carga horizontal, a la altura del encabezado superior.

Desplazamiento relativo vertical: Registrado por medio de cuatro flexímetros (números 3, 4, 5 y 6) ubicados dos por cada plano principal, de manera tal de medir la variación en la altura de la probeta, su acortamiento o alargamiento.

Flexímetros de control: También se implementan dos flexímetros más con el fin de realizar un control sobre los desplazamientos generales del espécimen. El primero ubicado en el encabezado inferior de la cara de aplicación de la carga horizontal (flexímetro 8), con la función de controlar el levantamiento o cabeceo del muro. Por otro lado, el segundo flexímetro de control (número 7) posicionado en el talón del muro con la finalidad de controlar el desplazamiento longitudinal total del elemento.

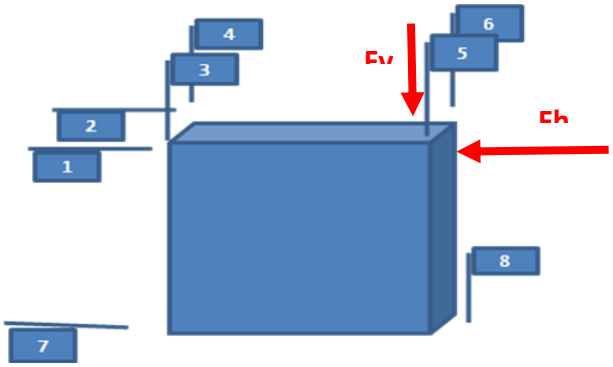


Fig. 3. Esquema de posicionamiento de flexímetros.

4 Caracterización de especímenes para estudio

4.1 Relevamiento en Ex Escuela Bartolomé Mitre

A fin de materializar los especímenes para el estudio es necesario realizar previamente, un relevamiento de los materiales y técnicas empleadas en las estructuras de referencia. Para esto, se adopta como estructura representativa de la

época a la Ex Escuela Bartolomé Mitre (1907) relevada por AHTER-INCIHUSA perteneciente al CCT-CONICET Mendoza [4].
La estructura mencionada posee muros materializados con mampuestos de arcilla cocida y mortero de cal. La combinación de estos elementos se hizo formando aparejos de tres espesores distintos según la función que le corresponda. Para tabiques divisorios se empleó un mampuesto colocado de cabeza dando un espesor de muro de 38 cm. En el caso de muros portantes se emplearon un mampuesto de cabeza y uno de soga, sumando un total de 55 cm de espesor. Finalmente, los basamentos ejecutados con ladrillo cocido tienen un espesor de 75 cm, obtenido con la suma de un mampuesto de cabeza y dos de soga. (Ver Fig. 4)

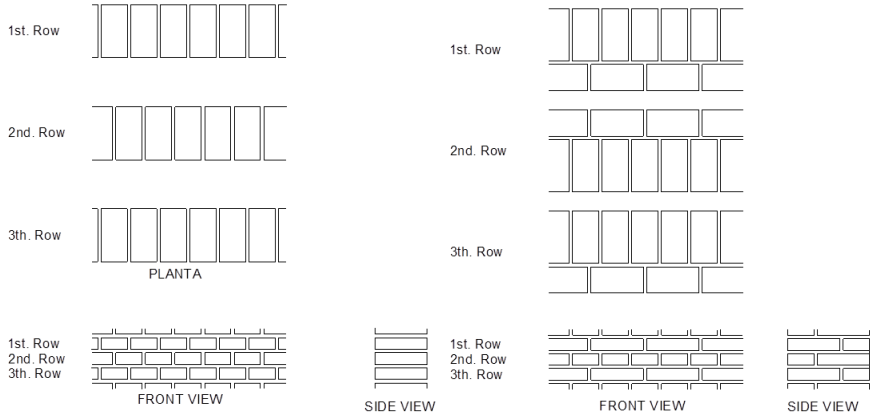


Fig. 4. Detalle de los aparejos relevados en la Ex Escuela B. Mitre. Izq: de cabeza o de un ladrillo. Der: cabeza y soga o ladrillo y medio.

4.2 Ejecución de los especímenes de estudio

Para el estudio del comportamiento de los muros sometidos a las condiciones de carga inducidas por un sismo, se procede a la materialización de una serie de probetas. Las mismas serán ensayadas a rotura, aplicando una carga horizontal en presencia de una carga vertical de confinamiento según lo descripto anteriormente.

Las dimensiones adoptadas en el plano mayor de las probetas son de 100 cm de largo y 100 cm de alto. El espesor es la variable ya que está en función al tipo de aparejo a representar. En este estudio se presenta los resultados alcanzados por las probetas de espesor de 45 cm (denominación M45) formado por un mampuesto colocado de cabeza más uno de soga (ver Fig. 5). Cabe hacer la aclaración que debido a las diferencias dimensionales entre el mampuesto de comienzos del siglo XX y el empleado en este trabajo, se debió hacer una corrección en el aparejo de las probetas M45 incorporando tres medios ladrillos de cabeza. Esto fue con la finalidad de evitar el alineamiento en las juntas verticales.

Fig. 5. Probetas M45 (aparejo de cabeza y soga).

4.3 Materiales

Como se mencionó anteriormente, debido al avance tecnológico, no se encontraron materiales en el mercado actual con las mismas características que los relevados. Sin embargo, para la construcción de las probetas se emplearon técnicas y materiales equivalentes.

Mampostería. Para caracterizar la mampostería empleada se realizaron los ensayos correspondientes a la norma IRAM 12585 "Determinación de las características físicas" [5], Norma IRAM 12587 "Ensayos de flexión en mampostería" [6] y Norma IRAM 12586 "Ensayo a compresión" [7].
Dimensión media: 26,0 cm de largo x 16,4 cm de ancho x 6,6 cm de alto.
Densidad media: 1376,30 kg/m^3
Módulo de rotura característico a la flexión: MR_k = 3,65 MPa
Resistencia característica a la compresión: σ'_{pk} = 4,01 MPa

Mortero. Se realizaron estudios sobre muestras de mortero tomadas aleatoriamente durante la ejecución de las probetas. Para la caracterización de este material se empleo la Norma IRAM 1622 "Cemento Portland. Determinación de Resistencias Mecánicas" [8].
Resistencia característica a la compresión: σ'_{pk} = 5,00 MPa

5 Resultados

En el presente se exponen los resultados alcanzados en los ensayos a compresión diagonal realizados sobre especímenes de 45 cm de espesor y cuyo tipo de aparejo y materiales empleados, equivalen a los de comienzos de Siglo XX.

En la Tabla **2** 2 se presenta la nomenclatura adoptada para identificar cada elemento.

Tabla 2. Paneles de mampostería simple sin reforzar ensayados bajo esfuerzo biaxial.

Tipo de elemento	Espesor [cm]	Designación
M45	45	MMB-05
M45	45	MMB-06
M45	45	MMB-07

5.1 MMB-05

La Fig. **6** 6 presenta al elemento previo al ensayo. Por otro lado, la Fig. **7** 7 exhibe al mismo murete luego de la aplicación de las cargas, en ella se resalta el sistema de fisuración formado en el espécimen.

Fig. 6. Elemento MMB-05.

Fig. 7. Elemento MMB-05 luego de la rotura. Izq. Vista frontal. Der. Vista cara de carga.

La Tabla **3** 3 exhibe los resultados registrados durante el ensayo en función del escalón de carga. En ella se encuentra la deformación horizontal (Dh) registrado a través de los flexímetros 1 y 2; la deformación vertical en el extremo de aplicación de la carga vertical (Dv R3 y R4) provisto por los flexímetros R3 y R4; y la deformación vertical en el extremo opuesto al de aplicación de la carga vertical (Dv R5 y R6) obtenido por medio de los instrumentos R5 y R6.

Tabla 3. Deformaciones registradas en ensayo del espécimen MMB-05.

Etapa	Fv [N]	Fh [N]	Dh [m]	Dv R3 y R4 [m]	Dv R5 y R6 [m]
0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1	2,21E+04	1,47E+04	1,12E-04	-8,25E-05	1,70E-04
2	4,41E+04	2,94E+04	2,25E-04	-1,65E-04	3,40E-04
3	6,62E+04	4,41E+04	2,80E-04	-2,40E-04	4,30E-04
4	8,83E+04	5,89E+04	3,80E-04	-3,15E-04	5,50E-04
5	1,10E+05	7,36E+04	4,50E-04	-3,80E-04	7,35E-04
6	1,32E+05	8,83E+04	4,75E-04	-4,45E-04	9,15E-04
7	1,55E+05	1,03E+05	5,70E-04	-3,75E-04	1,20E-03
8	1,77E+05	1,18E+05	6,20E-04	-4,15E-04	1,39E-03
9	1,99E+05	1,32E+05	7,40E-04	-5,00E-04	1,74E-03
10	2,21E+05	1,47E+05	7,45E-04	-5,40E-04	2,07E-03
11	2,43E+05	1,62E+05	7,75E-04	-5,75E-04	2,27E-03
12	2,65E+05	1,77E+05	9,70E-04	-5,75E-04	1,81E-03
13	**2,87E+05**	**1,91E+05**	**9,25E-04**	**-5,75E-04**	**1,75E-03**

5.2 MMB-06

Fig. 8. Elemento MMB-06.

En la Fig. **8** 8 se observa el murete previo al ensayo, siendo la Fig. **9** 9 aquella que exhibe al mismo luego de la rotura.

Fig. 9. Elemento MMB-06 luego de la rotura. Izq. Vista frontal. Der. Vista cara de carga.

En la Tabla **4** 4, se presentan los resultados obtenidos en el ensayo.

Tabla 4. Deformaciones registradas en ensayo del espécimen MMB-06 (unid N y m).

Etapa	Fv [N]	Fh [N]	Dh [m]	Dv R3 y R4 [m]	Dv R5 y R6 [m]
0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1	2,21E+04	1,47E+04	2,55E-04	-3,25E-05	3,50E-05
2	4,41E+04	2,94E+04	5,10E-04	-6,50E-05	7,00E-05
3	6,62E+04	4,41E+04	7,10E-04	-1,40E-04	9,50E-05
4	8,83E+04	5,89E+04	9,05E-04	-2,15E-04	1,15E-04
5	1,10E+05	7,36E+04	1,08E-03	-2,80E-04	1,35E-04
6	1,32E+05	8,83E+04	1,26E-03	-3,75E-04	1,55E-04
7	1,55E+05	1,03E+05	1,34E-03	-4,40E-04	1,70E-04
8	1,77E+05	1,18E+05	1,42E-03	-5,10E-04	2,05E-04
9	1,99E+05	1,32E+05	1,47E-03	-5,80E-04	2,45E-04
10	2,21E+05	1,47E+05	1,68E-03	-6,70E-04	2,60E-04
11	2,43E+05	1,62E+05	1,80E-03	-7,35E-04	2,75E-04
12	2,65E+05	1,77E+05	1,94E-03	-8,30E-04	3,05E-04
13	2,87E+05	1,91E+05	2,01E-03	-9,05E-04	3,25E-04
14	3,09E+05	2,06E+05	2,20E-03	-1,01E-03	3,45E-04
15	3,31E+05	2,21E+05	2,35E-03	-1,08E-03	3,55E-04
16	3,53E+05	2,35E+05	1,59E-02	-1,33E-03	6,50E-05
17	**3,75E+05**	**2,50E+05**	**1,72E-02**	**-1,35E-03**	**-5,85E-04**

5.3 MMB-07

Se observa en la Fig. **10** 10 el murete previo al ensayo. Asimismo, la Fig. **11** 11 exhibe al mismo luego de alcanzar la falla. Por otra parte, la Tabla **5** 5 expone las deformaciones experimentadas por el elemento durante el ensayo.

Fig. 10. Elemento MMB-07.

Fig. 11. Elemento MMB-07 luego de la rotura. Izq. Vista frontal. Der. Vista cara de carga.

Tabla 5. Deformaciones registradas en ensayo del espécimen MMB-07.

Etapa	Fv [N]	Fh [N]	Dh [m]	Dv R3 y R4 [m]	Dv R5 y R6 [m]
0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1	2,21E+04	1,47E+04	4,65E-04	1,75E-05	9,75E-05
2	4,41E+04	2,94E+04	9,30E-04	3,50E-05	1,95E-04
3	6,62E+04	4,41E+04	1,22E-03	3,50E-05	1,70E-04
4	8,83E+04	5,89E+04	2,22E-03	3,00E-05	1,80E-04
5	1,10E+05	7,36E+04	2,81E-03	2,00E-05	1,75E-04
6	1,32E+05	8,83E+04	3,15E-03	5,00E-06	1,70E-04
7	1,55E+05	1,03E+05	3,53E-03	-1,00E-05	1,70E-04
8	1,77E+05	1,18E+05	3,61E-03	-1,50E-05	1,60E-04
9	1,99E+05	1,32E+05	3,84E-03	-2,50E-05	1,45E-04
10	2,21E+05	1,47E+05	4,72E-03	-9,00E-05	1,45E-04
11	2,43E+05	1,62E+05	4,68E-03	-1,00E-04	1,25E-04
12	2,65E+05	1,77E+05	4,40E-03	-1,40E-04	1,25E-04
13	2,87E+05	1,91E+05	4,44E-03	-1,60E-04	1,25E-04
14	3,09E+05	2,06E+05	4,51E-03	-1,90E-04	1,25E-04
15	3,31E+05	2,21E+05	4,66E-03	-2,45E-04	1,25E-04
16	**3,53E+05**	**2,35E+05**	**4,76E-03**	**-2,80E-04**	**1,40E-04**

5.3 Curvas Fuerza-Desplazamiento y Tensión-Deformación

Con el fin del trazado de las curvas Fuerza-Desplazamiento y Tensión-Deformación, basándose en los resultados expuestos en la Tabla **3** 3, Tabla 4 y Tabla 5, se procede a la determinación de los desplazamientos según una diagonal longitudinal (comprimida) y una diagonal transversal (traccionada). La Fig. **12** 12 esquematiza las diagonales antes mencionadas.

Para ello se empleó la siguiente relación:

$$P = \sqrt{Fv^2 + Fh^2} \quad . \tag{2}$$

$$\delta_{long} = \sqrt{Dv^2_{(R5,R6)} + Dh^2} \quad . \tag{3}$$

$$\delta_{transv} = \sqrt{Dv^2_{(R3,R4)} + Dh^2} \quad . \tag{4}$$

Siendo:
P = Vector fuerza.
Fv = Fuerza vertical.
Fh = Fuerza horizontal.
δ_{long}= Desplazamiento en la diagonal longitudinal al vector fuerza.
δ_{transv} = Desplazamiento según la diagonal transversal al vector fuerza.
$Dv_{(R5,R6)}$, $Dv_{(R3,R4)}$ = Alargamiento o acortamiento vertical de la probeta en el extremo de aplicación de la carga vertical (R5 y R6) y en el opuesto (R3 y R4), respectivamente.
Dh = Desplazamiento horizontal registrado en R1 y R2.

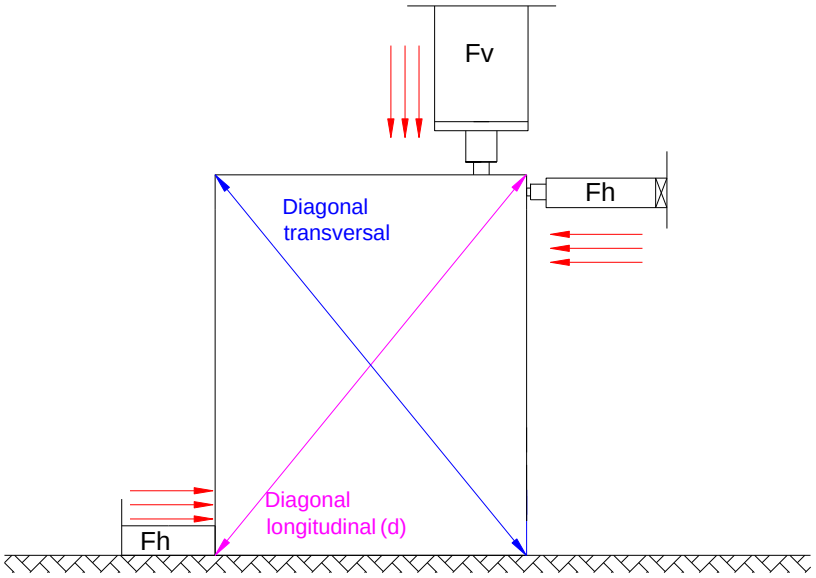


Fig. 12. Diagonal longitudinal y diagonal transversal.

De esta manera, la Fig. **13** 13 presenta el diagrama carga-desplazamiento longitudinal y transversal (P-δlong y δtransv) de los paneles MMB-05, MMB-06 y MMB-07 de mampostería simple sin refuerzos con una relación entre la carga vertical 1,5 veces mayor que la carga horizontal.

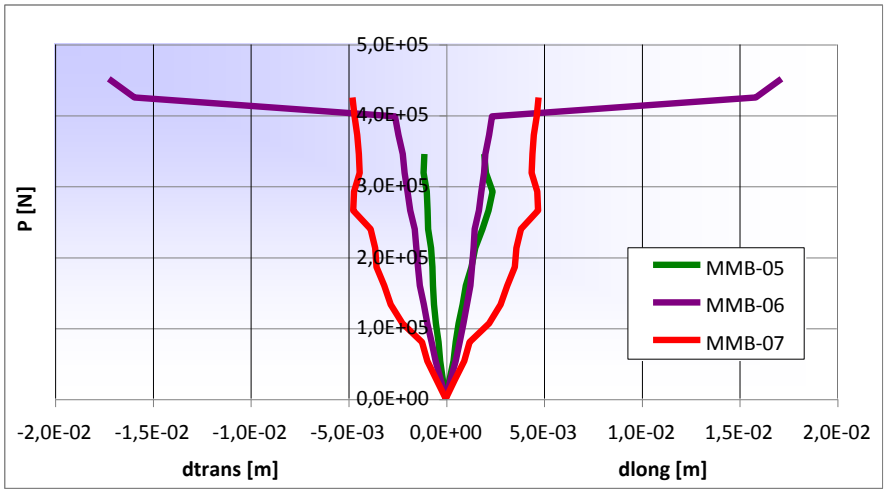


Fig. 13. Ensayos de compresión diagonal de paneles de mampostería simple de 45 cm de espesor. Curvas carga-desplazamiento de las diagonales a compresión (δlong) y a tracción (δtransv).

Por otra parte, la Fig. **14** 14 presenta las curvas Tensión a Corte (τ)-Deformación Específica en la diagonal a compresión (ε) de los elementos MMB-05, MMB-06 y MMB-07, obtenidas mediante el empleo de las siguientes ecuaciones.

$$\tau = P/A \quad . \tag{5}$$

$$\varepsilon = \delta_{long}/d \quad . \tag{6}$$

Siendo:
τ = Tensión de corte.
ε = Deformación específica según la diagonal longitudinal.
d = longitud de la diagonal longitudinal.
A = Área de la probeta según la diagonal longitudinal (Espesor x d).

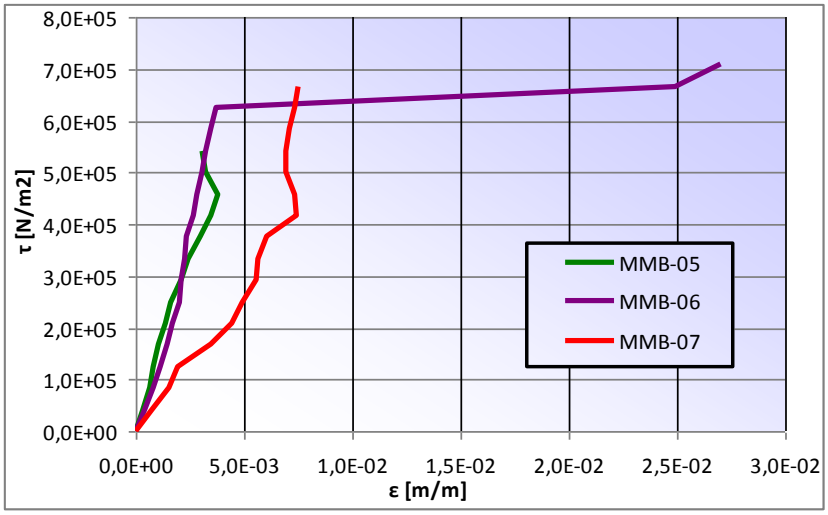


Fig. 14. Ensayos de compresión diagonal de paneles de mampostería simple de 45 cm de espesor. Curvas Tensión-Deformación de las diagonales a compresión (δlong).

6 Conclusiones

Se puede observar a través de las curvas expuestas en Fig. 13 y Fig. 14 que el mecanismo de falla de los elementos MMB-05 y MMB-07 es frágil no siendo así en el caso del elemento MMB-06. Este último exhibe un comportamiento más dúctil permitiendo una mayor disipación de energía a través de la deformación.

Respecto a la fisuración de los elementos, se puede observar en todos los casos analizados una falla a través de una fisura a 70º (aproximadamente), lo que resulta coherente con la relación de carga aplicada, seguida de un deslizamiento horizontal en el talón de la probeta. Además, los tres muretes presentaron una fisura vertical ubicada a la mitad del espesor en la cara de aplicación de la carga vertical evidenciando de esta manera, una falla de esta zona por compresión.

Por otra parte, las curvas para los especímenes MMB-05 y MMB-07 exhiben un marcado incremento en los desplazamientos relativos bajo cargas del orden de 2,8 E+5 N seguida de un importante recupero. Este comportamiento puede deberse a la aparición de las primeras fisuras internas en el elemento seguidas de un reacomodamiento de las piezas lo que permite el posterior incremento en la resistencia observado.

Finalmente, la Tabla **6** 6 presenta el promedio de las cargas de rotura de los especímenes estudiados.

Tabla 6. Promedio de Fv y Fh para elementos M45.

	Fv [N]	Fh [N]
MMB-05	2,87E+05	1,91E+05
MMB-06	3,75E+05	2,50E+05
MMB-07	3,53E+05	2,35E+05
Promedio	3,38E+05	2,26E+05

Agradecimientos

Este trabajo forma parte de la tesis de grado del autor, quien agradece la colaboración técnica y económica prestada por el personal y directivos del Centro Regional de Desarrollos Tecnológicos para la Construcción, Sismología y la Ingeniería Sísmica.

Referencias

1. Page, A.W. Unreinforced Masonry Structures – An Australian overview. Clay Brick and Paver Institute. 2002.
2. Código de Construcciones Sismorresistentes de la Provincia de Mendoza (CCSR). 1987
3. INPRES-CIRSOC 103 Parte III. Normas Argentinas para Construcciones Sismorresistentes. Construcciones de mampostería. 1991.
4. AHTER-INCIHUSA-CONICET. Informe: Ex-Escuela Bartolomé Mitre. 2da Etapa: Diagnóstico y pronóstico. Mendoza, 2007.
5. IRAM 12585. Ladrillos y bloques cerámicos para la construcción. Métodos de ensayo de las características geométricas. Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
6. IRAM 12586. Ladrillos y bloques cerámicos para la construcción. Métodos de ensayo de resistencia a la compresión. Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
7. IRAM 12587. Ladrillos y bloques cerámicos para muros. Métodos de determinación de las características físicas. Ensayo a la flexión. Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
8. IRAM 1622. Cemento Portland. Métodos de determinación de las resistencias a la compresión y a la flexión. Instituto Argentino de Normalización y Certificación.

Vector Velocidad Resultante y Dirección Predominante de Registros Sísmicos

Sebastián D. Panella [a], Carlos D. Frau [a], Miguel E. Tornello [a]

[a] CeReDeTec. Facultad Regional Mendoza. UTN, Rodríguez 273,
5500 Ciudad Mendoza, Argentina
spanella@frm.utn.edu.ar; cdfrau@frm.utn.edu.ar, mtornell@frm.utn.edu.ar

Resumen. El conocimiento de las características del movimiento del suelo debido a terremotos que afectan las construcciones es de vital importancia para poder elaborar métodos confiables de diseño sísmico, La presencia de pulsos largos de aceleración y velocidad en el movimiento del suelo constituye un factor importante en el daño de las estructuras. Distintos investigadores han identificado en registros de campo cercano la incidencia de pulsos largos de velocidad en la respuesta de las estructuras, donde los picos de velocidad son un parámetro que afecta notablemente la máxima respuesta inelástica de las estructuras. En el presente trabajo se propone una definición particular de dirección predominante de un registro sísmico y una metodología sencilla para obtenerla. Se constata en todos los casos estudiados que los valores máximos de velocidad hallados en la dirección predominante son siempre mayores a los máximos de cada componente original. En algunos casos los incrementos llegan al 38%.

Palabras Clave: Registros Sísmicos - Dirección Predominante - Velocidad Máxima

1 Introducción

El conocimiento de las características del movimiento del suelo debido a terremotos que afectan las construcciones es de vital importancia para poder elaborar métodos confiables de diseño sísmico que minimicen los daños y las pérdidas de vidas ante la ocurrencia de fuertes terremotos.

En la zona cercana a la fuente sismogénica el movimiento del terreno contiene pulsos de ondas que dominan el movimiento horizontal pudiendo manifestarse como pulsos simples o dobles y con amplitudes en uno o ambos sentidos. Las características de estos pulsos dependen del tipo, longitud y distribución de las asperezas y la complejidad de la ruptura sísmica; los pulsos se manifiestan en los registros de aceleración pero más marcadamente en la historia de tiempo de las velocidades del suelo [5]. La presencia de pulsos largos de aceleración y velocidad en el movimiento del suelo constituye un factor importante en el daño de las estructuras debido a que

involucra la transmisión de grandes cantidades de energía en muy corto tiempo, así, la presencia de pulsos largos de aceleración y velocidad le confiere a los registros alto poder destructivo [4].

Distintos investigadores han identificado en registros de campo cercano la incidencia de pulsos largos de velocidad en la respuesta de las estructuras, donde los picos de velocidad son un parámetro que afecta notablemente la máxima respuesta inelástica de las estructuras [3].
Los pulsos de velocidad controlan generalmente la amplitud de la aceleración espectral para un rango de periodos entre 0.5 y 3.0 segundos. Por tal motivo es de gran interés conocer la orientación y la amplitud de la máxima directividad a lo largo de la ruptura de fuertes terremotos [1].

En el presente trabajo se propone una definición particular de dirección predominante de un registro sísmico y una metodología sencilla para obtenerla.

2 Datos de registros sísmicos

Para este estudio se han seleccionado un set de registros sísmicos correspondientes a terremotos destructivos y cuyas estaciones registradoras tenían sus emplazamientos cercanos a fallas sismogénica. Los terremotos a los que pertenecen el set de registros presentaron profundidades de foco menor a 18 km y magnitudes momento comprendidas entre 6.5 y 8.0.

La fuente principal para obtener los registros, fue la base de datos internacional PEER NGA (Pacific Earthquake Engineering Research Center) [8]. La tabla 1 muestra los parámetros de la fuente sísmica y la estación seleccionada para analizar su registro.
De la base de datos analizada se seleccionaron 15 registros que corresponde a las dos componentes horizontales de 7 terremotos, considerados todos en regiones de falla cercana, corresponden a fallas tipo inversa--oblicua, transcurrente e inversa.

La distancia epicentral de los registros varia para cada sismo desde los 2,47 km a los 47,86 km, mientras que la distancia más cercana al plano de falla desde la estación registradora varia de 0,07 km a los 11,07km para los registros seleccionados.
El conjunto de registros utilizados, son catalogados como registros de campo cercano (*near-fault)* y de tipo impulsivo según el criterio de clasificación de registros de J. Baker.[2]

A los registros seleccionados se los procesó mediante técnicas de análisis de señales digitales, con el software SeismoSignal [6] y software MatLab [7] a fin de la determinación de las historias de tiempo de las velocidades y desplazamientos de suelo por integración numérica en el tiempo del registro de las aceleraciones corregidas. El valor máximo de la velocidad del suelo (PGV), es registrado en la región cercana a la fuente y varía fuertemente con la magnitud y la distancia.

Tabla 1. Registros seleccionados de terremotos de falla cercana para análisis de parámetros

Nombre de Terremoto	Año	Nombre de Estación	Mw	Tipo de Falla	Distancia Epicentral (km)	Distancia al plano de falla (km)
Imperial Valley-06	1979	Aeropuerto Mexicali	6,53	Trans.	2,47	0,34
Imperial Valley-06	1979	Agrarias	6,53	Trans.	2,62	0,65
Imperial Valley-06	1979	EC Meloland Overpass FF	6,53	Trans.	19,44	0,07
Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #7	6,53	Trans.	27,64	0,56
Loma Prieta	1989	Gilroy Array #2	6,93	Inv. Obl.	29,77	11,07
Loma Prieta	1989	Saratoga Aloha Ave	6,93	Inv. Obl.	27,23	8,50
Cape Mendocino	1992	Petrolia	7,01	Inv.	4,51	8,18
Landers	1992	Lucerne	7,28	Trans.	44,02	2,19
Northridge-01	1994	Jensen Filter Plant	6,69	Inv.	12,97	5,43
Northridge-01	1994	Newhall - W Pico Canyon Rd.	6,69	Inv.	21,55	5,48
Northridge-01	1994	Sylmar Converter Sta	6,69	Inv.	13,11	5,35
Kobe, Japan	1995	Takarazuka	6,90	Trans.	38,60	0,27
Kobe, Japan	1995	Takatori	6,90	Trans.	13,12	1,47
Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU068	7,62	Inv. Obl.	47,86	0,32
Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU076	7,62	Inv. Obl.	16,03	2,76

3 Dirección predominante

Los movimientos sísmicos son generalmente registrados por acelerómetros que capturan tres componentes traslacionales del movimiento del suelo (dos horizontales

y una vertical). La orientación de los instrumentos de medición no sigue una regla fija y en muchos casos no guarda relación con las características de la fuente sísmica próxima al emplazamiento de la estación registradora.

Con el propósito de indagar el carácter impulsivo de los registros, algunos investigadores como J. Baker [2], han rotado las componentes horizontales de la aceleración del suelo según una dirección normal y la otra paralela a la traza de la falla sísmica que origino el evento lo que permitió identificar el fenómeno "*Near Fault*". En él la componente de aceleración en la dirección normal a la traza de la falla resulta en ciertos casos más significativa que aquella orientada paralelamente.

Resulta que en muchos casos la rotación de las componentes horizontales a la dirección normal y paralela a traza de la falla que dio origen al sismo, no muestra una marcada polaridad del movimiento. En otros, las condiciones locales del suelo o el mecanismo de la fuente sísmica no polarizan el movimiento claramente en la dirección normal a la traza de la falla. En tales casos el rotar las componentes de un registro sísmico según un ángulo de giro preestablecido no lleva a obtener la componente más significativa del registro.

A los fines de salvar esta situación se plantea una metodología para identificar la dirección predominante del movimiento del suelo, de manera que en la dirección predominante se presenten los picos máximos de aceleración, velocidad o desplazamiento. La dirección predominante puede resultar de aplicación para registros cercanos a la fuente sísmica donde la polarización del movimiento es marcada como para aquellos de campo lejano en donde esta particularidad no siempre está presente.

La determinación de la dirección predominante se realiza a partir de las componentes horizontales de un registro sísmico dado en términos de aceleración, velocidad o desplazamiento. La determinación de la dirección predominante permite luego investigar si los parámetros de daño que caracterizan los registros como así también la respuesta de sistemas se maximizan para esa dirección predominante respecto de cualquier otra.

Si se toma como magnitud a estudiar las velocidades del suelo, el procedimiento consiste en determinar la velocidad resultante VR(n) en cada instante de tiempo como la suma vectorial de las dos componentes horizontales y el ángulo que esta forma con un eje de referencia (Ecuación 1 y 2, figura 1) donde V1(n) y V2(n) son las velocidades en cada instante de tiempo n para dos componentes de velocidad como fueron registradas.

$$VR(n) = \sqrt{V1(n)^2 + V2(n)^2} \quad \textbf{(1)}$$

$$\alpha(n) = art\,\frac{V1(n)}{V2(n)} \quad \textbf{(2)}$$

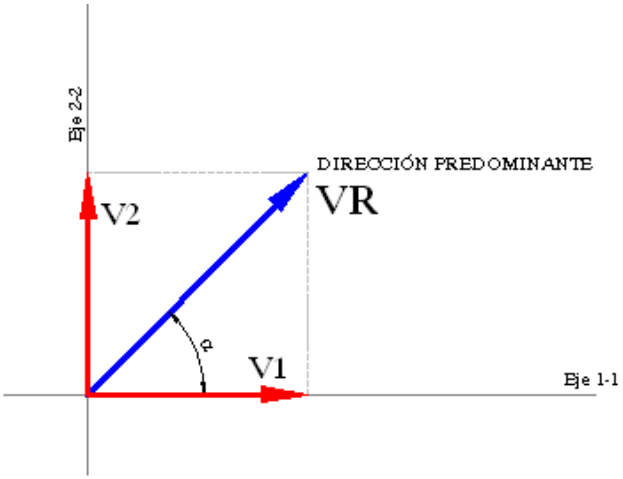


Fig. 1: Velocidad Resultante para un instante de tiempo

Con esta información es posible representar las velocidades resultantes en el tiempo y en correspondencia con él otro gráfico que muestra la variación del ángulo de la velocidad resultante en cada instante.

Luego en el gráfico de velocidades resultantes se identifica el pico máximo y en correspondencia con él la orientación en la cual tiene lugar (Figura 2).

Se considera que el seno de un ángulo está definido para cualquier valor de ángulo en el intervalo (-∞, ∞), por lo que definimos una función variable seno, de tal modo que, a cada valor de ángulo $\alpha(n)$, le haga corresponder el valor del Seno $\alpha(n)$. La función seno puede tomar los valores comprendidos entre -1 y +1, considerando siempre el ángulo en radianes. De esta forma representamos la variación del ángulo en cada instante de tiempo del registro de velocidad afectada por la función seno.

Por último se rotan los registros bases (originales), uno a la dirección obtenida y el otro perpendicular a esta. (Figura 3).

Este procedimiento puede luego extenderse a las aceleraciones y desplazamiento del suelo, ya sea determinando la dirección predomínate para cada uno de ellos o bien encontrar las componentes de aceleración o desplazamientos que corresponden a la dirección predominante de velocidades.

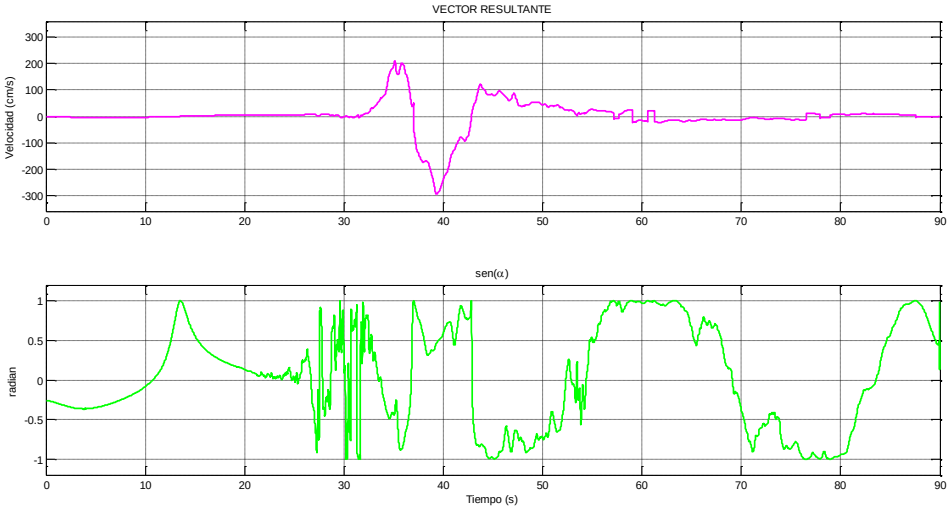


Fig. 2: El primer gráfico contiene los vectores de la velocidad resultante. El segundo grafico representa la variación del ángulo en cada instante de tiempo afectada por la función seno.

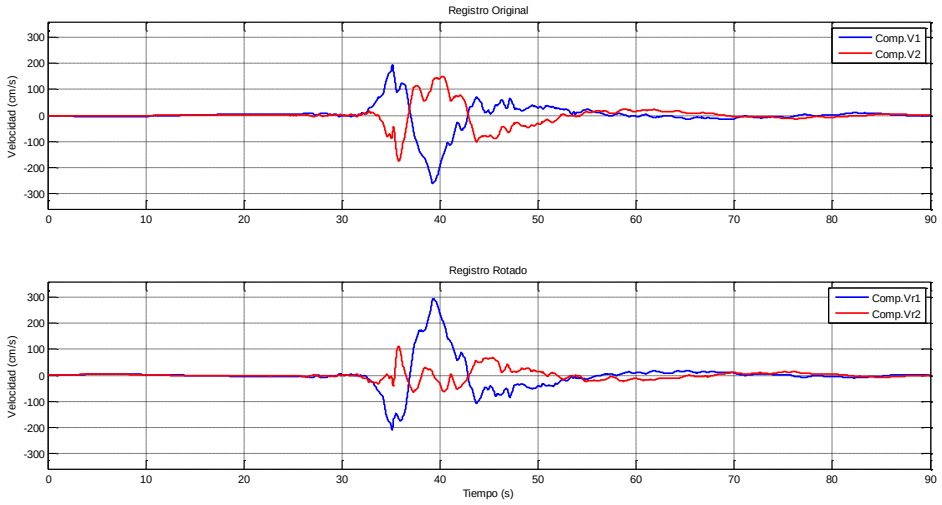


Fig. 3: El primer gráfico contiene la dos componente horizontales de la velocidad original. El segundo contiene la velocidad rotada para el ángulo de la dirección predominante α .

Para la rotación de los registros se aplican las clásicas ecuaciones de transformación de coordenadas. (Figura 4).

$$v_{r1}(n) = v_1(n) \times \cos(\alpha) + v_2(n) \times sen(\alpha) \quad \textbf{(3)}$$

$$v_{r2}(n) = -v_1(n) \times sen(\alpha) + v_2(n) \times \cos(\alpha) \quad \textbf{(4)}$$

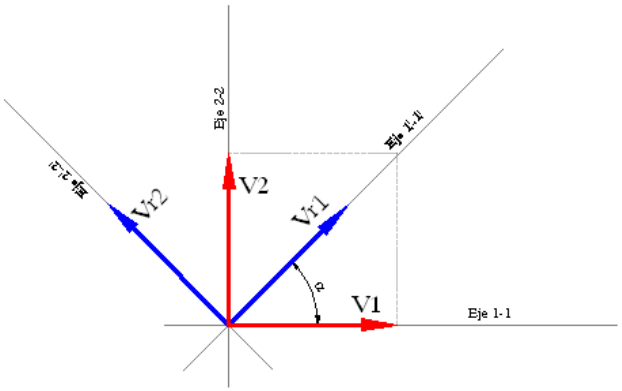


Fig. 4: Rotación de los registros con el ángulo α respecto del eje de referencia 1-1

5 Resultados

De los registros sísmicos seleccionados, se procedió a determinar los valores de la velocidad resultante y dirección predominante con la metodología descrita.

En la tabla 2 se puede observar los valores máximos de la velocidad del suelo (PGV) para la componente V1 y V2 del registro original tal como lo captura la estación; Debe notarse que estos PGV no se producen en el mismo instante de tiempo, sino que cada componente presenta su máximo a tiempos distintos. La tabla muestra también la velocidad resultante máxima VRmáx obtenida para cada par de componentes, el tiempo Trs en el que se alcanza, y la orientación o ángulo α comprendido entre la dirección 1 medido hacia 2 de las componentes originales.

Como resultados más destacados se observa que para el par de componentes EC M. O. FF se encontró en la dirección predominante un PGV del 27% mayor al correspondiente de la componente original con PGV más alto. De la misma manera para los casos de Saratoga-Aloha Ave, Takatori y TCU076 se encontraron valores superiores a las componentes originales de 31%, 35,6% y 38% respectivamente.
En el resto de los casos también el PGV de la dirección predominante es mayor al de las componentes originales pero con diferencias menores.

Luego se rotaron los registros originales en la dirección predominante para cada instante de tiempo, de esta manera se obtuvieron nuevos registros, uno en la dirección buscada y otro perpendicular a este.

En la tabla 3 se observan los valores de máximo de la velocidad del suelo PGV para la componente Vr1 del registro rotado en un instante de tiempo *ti* y el valor que toma Vr2 en el mismo instante de tiempo *ti*.

Tabla 2. Valores de la velocidad máxima y dirección predominante del conjunto de registro seleccionados, obtenidos de la suma vectorial de las componentes horizontales en cada instante.

Nombre de Registro	PGV original (cm/s)		Velocidad Resultante VRmáx. (cm/s)	Trs (s)	Dirección Predom. (α)
	Componente V1	Componente V2			
Aeropuerto Mexicali	42,776	24,84	**45,077**	5,4	159,9
Agrarias	36,264	42,528	**54,399**	7,72	128,6
EC M. O. FF	71,69	90,41	**114,978**	4,97	128,5
El Centro Array #7	47,596	109,22	**109,399**	5,90	86,5
Gilroy Array #2	32,899	39,152	**46,118**	3,88	46,1
Saratoga - Aloha Ave	41,164	42,573	**55,941**	6,31	224,8
Petrolia	48,08	89,951	**97,896**	3,08	294,9
Lucerne	32,094	97,714	**97,921**	10,71	273,7
Jensen Filter Plant	106,245	99,193	**106,248**	3,3	180,4
Newhall - W Pico	92,747	67,444	**93,824**	5,64	350,0
Sylmar - Converter Sta	117,593	102,267	**133,022**	3,46	147,0
Takarazuka	68,543	85,389	**89,788**	5,88	72,0
Takatori	127,197	120,786	**169,921**	5,98	316,2
TCU068	263,206	176,66	**295,968**	39,32	152,3
TCU076	64,234	62,667	**88,761**	28,24	315,7

Tabla 3. Valores de la velocidad máxima y dirección predominante del conjunto de registro seleccionados.

Nombre de Registro	Velocidad Resultante (cm/s)	Dirección Predom. (α)	Velocidad para Registros Rotados en α	
			PGV(*ti*) para Componente Vr1 (cm/s)	Velocidad(*ti*) para Componente Vr2 (cm/s)
Aeropuerto Mexicali	**45,077**	159,9	**45,077**	0,00
Agrarias	**54,399**	128,6	**54,399**	0,00
EC M. O. FF	**114,978**	128,5	**114,978**	0,00
El Centro Array #7	**109,399**	86,5	**109,399**	0,00
Gilroy Array #2	**46,118**	46,1	**46,118**	0,00
Saratoga - Aloha Ave	**55,941**	224,8	**55,941**	0,00
Petrolia	**97,896**	294,9	**97,896**	0,00
Lucerne	**97,921**	273,7	**97,921**	0,00
Jensen Filter Plant	**106,248**	180,4	**106,248**	0,00
Newhall - W Pico	**93,824**	350,0	**93,824**	0,00
Sylmar - Converter Sta	**133,022**	147,0	**133,022**	0,00
Takarazuka	**89,788**	72,0	**89,788**	0,00
Takatori	**169,921**	316,2	**169,921**	0,00
TCU068	**295,968**	152,3	**295,968**	0,00
TCU076	**88,761**	3 15,7	**88,761**	0,00

Para contrastar los resultados obtenidos se trazaron odogramas de velocidades que permiten visualizar sin escala de tiempo la dirección predominante a partir de los registros de velocidad de dos componentes horizontales como fueron registrados.

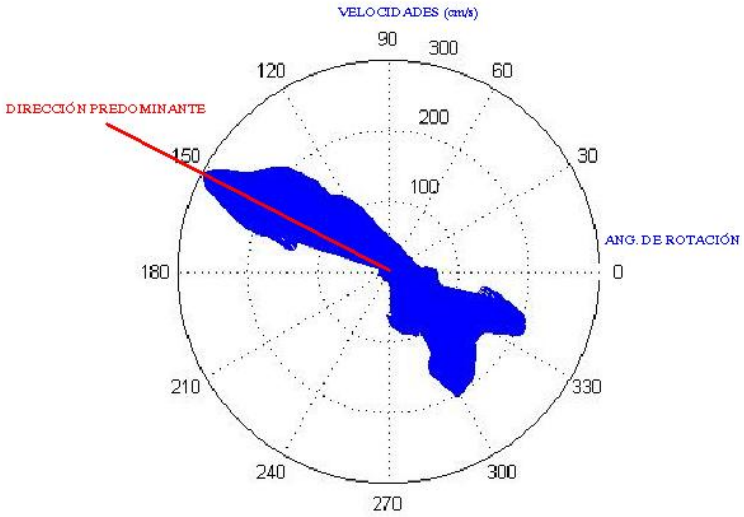


Fig. 5: Odograma de la velocidad horizontal del suelo, Se indica la dirección predominante. Registro Chi-Chi, Taiwán - TCU068. Los radios de los círculos concéntricos respresentan la escala de las velocidades en cm/s en tanto que los ejes radiales son los ángulos que toma la velocidad resultante horizontal.

5 Conclusiones

Se propone una definición de dirección predominante de un registro sísmico a partir de dos componentes horizontales según fueron capturadas por la estación registradora. Esta resulta ser aquella que arroja el máximo valor absoluto fruto de la composición vectorial de ambas componentes calculada en cada instante de tiempo.

Se presenta una metodología sencilla y eficaz para determinar la dirección predominante de un par de registros sísmicos de velocidades del suelo según la definición dada. Esta misma metodología puede ser aplicada al par de componentes de aceleración o desplazamientos del suelo.

Se constata en todos los casos estudiados que los valores máximos hallados para la velocidad resultante en la dirección predominante son siempre mayores a los máximos de cada componente original. En algunos casos los incrementos llegan al 38%.

Agradecimientos

El presente trabajo ha sido desarrollado dentro del marco del proyecto PICT Promocional PICT2010/27 de la UTN. Se agradece el apoyo brindado por el CeReDeTeC y por el Programa de Becas para Docentes de la Universidad Tecnológica Nacional - Formación de Posgrado.

Referencias

1. Howard, J. K., C. A. Tracy and R. G. Burns (2005). Comparing observed and predicted directivity in near-source ground motion. Earthquake Spectra, Volume 21, Nº 4, November 2005, 1063-1092.
2. Jack W. Baker, 2007, Quantitative Classification of Near-Fault Ground Motions Using Wavelet Analysis, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 97, No. 5, pp. 1486–1501
3. Baez, José I. And Miranda E.. Amplification factors to estimate inelastic displacement demands or the design of structures in the near field. 12th World Conference on Earthquake on Engineering, New Zeland, paper 1561, (2000)
4. Decanini, L; Saragoni R. Energy and displacement demands imposed by near-source. 12 th World Conference in Eartquake Engineering. (2000)
5. Frau, C. D. Demanda Sísmica Incluyendo Efectos De Directividad En Zonas Near-Fault De Argentina. CeReDeTeC Facultad Regional Mendoza Universidad Tecnológica Nacional. (2009)
6. Software SeismoSignal http://www.seismosoft.com/en/HomePage.aspx
7. Sofware MatLab www.manualespdf.es/manual-matlab-6-1
8. PEER NGA (Pacific Earthquake Engineering Research Center). http://peer.berkeley.edu/smcat/

ÁREA VII EnIDI

CIVIL
Y
MATERIALES

RESÚMENES

Análisis Espectral de Vibraciones Ambientales

Carlos D. Frau[a], Francisco Calderón[a], Rodrigo González[a,b],
Noemí Graciela Maldonado[a]

[a] Centro Regional de Desarrollos Tecnológicos para la Construcción, UTN-FRM,
Rodriguez 273, Capital, Mendoza, Argentina.
{cdfrau, francisco.calderon, ngm}@frm.utn.edu.ar

[b] Laboratorio de Computación Reconfigurable, UTN-FRM,
Rodriguez 273, Capital, Mendoza, Argentina.
rodralez@frm.utn.edu.ar

Resumen. El presente trabajo muestra un método para evaluar las vibraciones ambientales de una estructura de hormigón, a partir del análisis espectral de señales de aceleración en ejes cartesianos. Motiva este trabajo la necesidad de instalar un microscopio electrónico, el cual debe ser sometido a muy bajos niveles de vibración para su correcto funcionamiento. Como instrumento de medición se utiliza un acelerómetro modelo Balsalt marca Kinemetrics. Las aceleraciones son registradas durante 24 horas. Se aplica la transformada discreta de Fourier a cada medición. Luego, se agrupan por hora las respuestas en frecuencia de las aceleraciones y se promedian para obtener un valor representativo por cada hora del día y se comparan con curvas límites. De los datos obtenidos se concluye que el sitio elegido para instalar el microscopio electrónico no cumple con las exigencias impuestas por el fabricante de dicho instrumento.

Palabras Clave: vibraciones ambientales, análisis espectral, acelerómetros

Tratamientos Anticorrosivos mediante Recubrimientos en Base a Cobalto Obtenidos por Electrodeposición

Francisco Membrives[a], Silvia Clavijo[a], Gabriela Tudela[a] , Omar Arab[a]

[a] Grupo Materiales, Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria, UNCuyo, Argentina
scclavijo@fcai.uncu.edu.ar, fmembriv@fcai.uncu.edu.ar

Resumen. Frente a la exigencia de procesos de elaboración de películas de recubrimiento que reemplacen al cromo duro, sólo obtenible mediante el uso de cromo hexavalente; se estudió el comportamiento frente a la corrosión de películas obtenidas mediante deposición electrolítica de aleación de Cobalto-Tungsteno sobre láminas de acero. Este tipo de aleación tiene la particularidad de presentar una elevada dureza, lo que la convierte en candidata ideal para reemplazar las electrodeposiciones de cromo duro. El estudio de la resistencia a la corrosión se realizó mediante la exposición de las piezas protegidas con aleación de Co-W a soluciones de NaCl y HCl. Para estudiar la incidencia de la composición del baño electroquímico en los valores de dureza obtenidos, se varió el porcentaje de cobalto y tungsteno en el mismo. Las muestras fueron caracterizadas mediante microscopía metalográfica, SEM y EDS. Posteriormente se utilizó un diseño factorial para determinar los factores influyentes en la obtención de películas altamente homogéneas y con buena adhesión. Los resultados obtenidos permiten afirmar que las películas en base a cobalto-tungsteno pueden ser utilizadas eficazmente como protección en tratamientos anticorrosivos con resultados similares a los obtenidos al analizar recubrimientos protectores basados en cromo hexavalente.

Palabras Clave: deposición electrolítica, cobalto, wolframio, corrosión.

Deposición Electroforética (EPD) de Chitosán-TiO_2 para Aplicaciones en Implantes Óseos

Silvia Clavijo[a], María José Santillán[a], Elías González[a], Gisela Quiroga[a],
[a] Grupo Materiales, Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria, UNCuyo, Argentina
scclavijo@fcai.uncu.edu.ar, mjsanti@fcai.uncu.edu.ar

Resumen. En el presente trabajo se utilizó la técnica de deposición electroforética (EPD) para fabricar recubrimientos de biopolímeros sobre acero inoxidable 316L, para emplearse en implantes óseos. El material que se ha utilizado es chitosán. Existen dos razones que justifican que en el campo de la cirugía ortopédica se busque la aplicación de implantes recubiertos con materiales de origen natural: a) se ha demostrado que tales materiales promueven una mejor y más rápida cicatrización, y b) al biodegradarse estos materiales, no generan productos tóxicos nocivos para el cuerpo humano. Se ha realizado la EPD de chitosán a fin de probar si es posible obtener recubrimientos protectores del biopolímero mediante esta técnica. Los resultados obtenidos permiten concluir, que el chitosán puede servir como barrera natural entre la prótesis y el tejido humano circundante, pudiendo transportar otras partículas tales como TiO_2

Los estudios experimentales permitieron optimizar la calidad de las películas depositadas por EPD, e incluyen la evaluación de diversos parámetros tales como tiempo de deposición, voltaje aplicado, y pH de la suspensión. La caracterización microestructural de los depósitos de chitosán-TiO_2 obtenidos sobre acero inoxidable, fue realizada por microscopía electrónica de barrido corroborando de este modo, la obtención de recubrimientos funcionales con la microestructura buscada.

Palabras Clave: Chitosán, EPD, implantes, biomateriales.

Utilización de Asfalto Modificado con Neumáticos fuera de uso (NFU) en Microconcreto Discontinuo en Caliente

Cristian Di Gioia[1]; Adrián Segura[1]; María Positieri[1], Gerardo Botasso[2]

[1] CInTeMaCUniversidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Córdoba
Maestro López esq. Cruz Roja Argentina. Cuidad Universitaria. (5016) Córdoba.
Fax: 00-54-351-4681823 Te: 5986050 mpositieri@gmail.com

[2] LEMaC, Centro de Investigación Vial
Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional La Plata
Avda. 60 y 124, La Plata. Buenos Aires, Tel/fax (0221) 4890413
lemac@frlp.utn.edu.ar

Resumen. Los pavimentos de carreteras han sido considerados tradicionalmente más bien como una estructura que debe soportar las cargas del tránsito que como una superficie sobre la que se deslizan los vehículos.

A fin de optimizar las dos funciones (estructural y superficial), la tendencia es considerar el espesor del paquete del pavimento con función estructural y una piel más o menos fina con parámetros superficiales (macrotextura y microtextura) con una adecuada función de rodadura formada por mezclas especializadas a su función, como son la adherencia neumático-calzada, proyecciones de agua, desgaste de neumáticos, ruido.

Así surgen los microconcretos discontinuos en caliente que cuentan con la incorporación de ligantes asfálticos modificados, siendo los modificadores más usuales el SBS, EVA, SBR.

Este trabajo es producto del PID UTN FRC y UTN FRLP "Contribución a la sustentabilidad en las mezclas asfálticas de altas prestaciones para pavimentos"; se valoran las propiedades físico-mecánicas de este tipo de mezcla al producirse la sustitución de un asfalto modificado con polímero virgen por uno modificado con reciclado de NFU. Se diseña una modelado en laboratorio que permite predecir el comportamiento de la mezcla bajo un simulador de tránsito y observar los gradientes de deterioro de la macrotextura y de la mircrotextura cuando se produce la sustitución.

Palabras Clave: Asfalto, polímero, caucho, microconcretos, macrotextura, microtextura

ÁREA

VII EnIDI

ENERGÍA, AMBIENTE Y PETRÓLEO

TRABAJOS COMPLETOS

Contaminación hídrica por RSU en Cauces del Gran Mendoza - Medidas de Mitigación y Gestión

Luis Enrique Guisasola, Mario Alberto Salomón, Patricia Susana Infante, Luis María Magistocchi, Claudio Cabiudo, Javier Zamorano

Maestría en Ingeniería Ambiental. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Cuyo
Facultad de Ingeniería. Centro Universitario. Parque Gral. San Martín. C.P. 5500. Teléfono. 0261-4135000. int. 2129. Fax. 0261-4380120.
lguisasola@fing.uncu.edu.ar

Resumen: Los propósitos de este trabajo son resaltar la importancia de las obras de retención de residuos sólidos urbanos (RSU) que son arrojados a la red hídrica del Gran Mendoza y la necesidad de contar con criterios técnicos para su diseño que mejoren la concentración, retiro y disposición de los mismos, evitando su dispersión en la red hídrica. Es necesario el relevamiento de los distintos tipos de obras de retención, (*trampas de basura)*, instaladas en la red de conducción a cargo de las Asociaciones de Usuarios del río Mendoza. La caracterización de las obras se realizó conjuntamente con los operadores del sistema. Se consideraron otros aspectos como cantidad, frecuencia, composición y volumen del residuo y régimen hídrico, como así también la forma de operación y su tratamiento. Las iniciativas implementadas se constituyen en medidas estructurales y no estructurales para la mitigación y gestión de la contaminación hídrica, aunque surge la necesidad de profundizar los estudios hidráulicos para mejorar el funcionamiento de las obras como: redefinir ángulo de instalación de las rejas, revisar pendientes las soleras, recalcular longitudes de vertederos laterales, rediseñar sifones y alcantarillas. Es conveniente implementar protocolos operativos para optimizar el sistema de manejo actual y lograr mayor fortalecimiento institucional.

Palabras Clave: Acequias, red hídrica, residuos sólidos urbanos.

1. Introducción y Objetivos

El Área Metropolitana de Mendoza (AMM) ocupa una superficie urbana de 30.437 ha y posee una red de distribución de 7.500 kilómetros de acequias para la dotación y riego del arbolado y otros usos públicos.

El agua de riego que abastece el AMM proviene del río Mendoza (50 m3/s de caudal modular anual) y es captada en el Dique Cipolletti [1]. La conducción principal que allí nace es el Canal Cacique Guaymallén. El río tiene régimen nivo-glacial con un derrame anual de 1.540 hm^3 y se encuentra regulado parcialmente por el Dique Potrerillos (distante 45 km de la ciudad). El embalse posee una capacidad de 450 hm3 que posibilita dar un cierto grado de garantía a las concesiones de riego empadronadas y posibilita lograr una regulación estacional para la zona cultivada que cuenta con unas 81.000 ha, especialmente durante los meses de agosto a noviembre de cada ciclo hidrológico (Figura 1)[2].

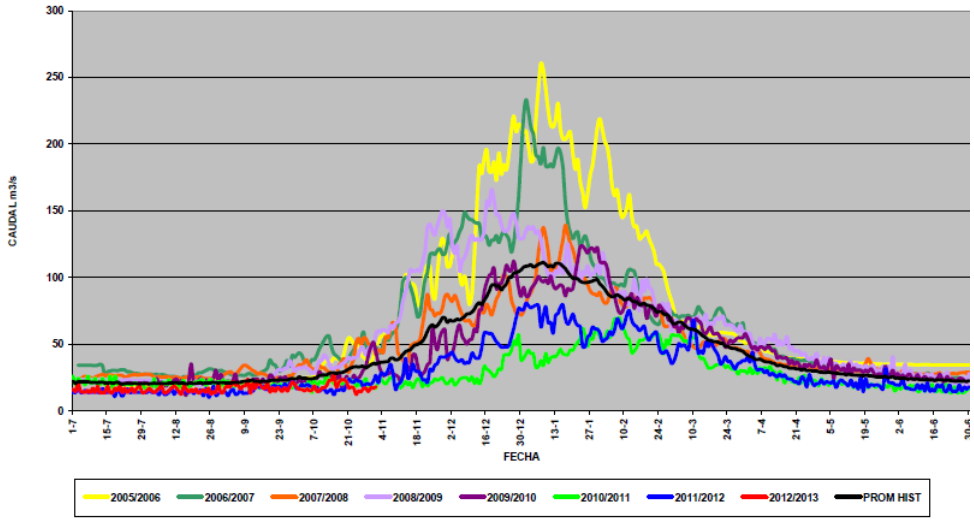


Figura 1. Gráfico que representa los caudales medios diarios del Río Mendoza (en m^3/s) de los últimos cinco ciclos hidrológicos y el actual, en línea roja, del cual puede deducirse la crisis hídrica declarada oportunamente. La línea negra representa la oferta promedio de caudales diarios. Fuente: Departamento General de Irrigación

El Departamento General de Irrigación administra el agua en la Provincia de Mendoza (Autoridad de Aplicación, AA) y distribuye de múltiples maneras, el mayor consumo corresponde a la agricultura. Las dotaciones también se destinan para otros usos tales como abastecimiento de agua cruda para las cinco plantas potabilizadoras que posee el Gran Mendoza, para el riego del arbolado público y para el uso industrial (conservera, vinícola, curtiembres, cervecera). El sistema de conducción consiste en una red muy importante y extendida de canalizaciones abiertas [1]. El sistema de riego incorpora al AMM dentro de su área de influencia, por lo que los canales atraviesan el casco urbano y, aguas abajo dotan a las propiedades que se encuentran al norte y este.

Debe tenerse presente que el AMM crece de una manera desordenada, en una especie de maniobra de "pinzas", tratando de acorralar tierras de alto valor agrícola (distritos de Chacra de Coria y Vistalba), las cuales se transforman paulatinamente en urbanas, pero con la infraestructura que poseían cuando eran rurales.

El AMM, que cuenta con 1.029.129 habitantes, es considerada una gran consumidora o gran cliente para la AA y recibe las dotaciones en sus distintos departamentos, distritos y secciones en múltiples puntos para el mantenimiento del arbolado público (ciudad bosque) y también para otros usos tales como limpieza de plazas y otros espacios verdes como parques.

Debido a que la red de distribución consiste en canales a cielo abierto, se encuentra sometida a los efectos torrenciales originados por tormentas convectivas de alta intensidad (período de octubre a abril de cada ciclo hidrológico) y a la presión antrópica. Ello implica que las aguas pluviales tendrán como destino el sistema de distribución de las dotaciones produciendo eventuales desbordes. Ello ocurre debido a

que los caudales superan a las capacidades de proyecto, al producirse la superposición del agua para riego las dotaciones del turnado, con el escurrimiento de los excesos hídricos provenientes de las tormentas convectivas. A esta situación se agrega la presencia de residuos sólidos urbanos (RSU) y todo tipo de elementos que la población, desaprensivamente, vierte a los cauces, sin distinguir la magnitud de los mismos. A todo ello se agregan los eventuales efectos de la acumulación de residuos transportados por vientos cálidos y secos tipo fohën (conocido en Mendoza como "Viento Zonda"). Este panorama indica que el sistema se encuentra bajo la acción permanente de agentes externos que inciden negativamente en su capacidad, calidad y en la gestión del recurso. Estos impedimentos producen múltiples inconvenientes sobre los usuarios quienes reciben las dotaciones fuera de término, junto con todo tipo de RSU y restos de la monda (hojas y ramas de arbolado). Si se suman los inconvenientes causados por los RSU sobre la operación y mantenimiento de las canalizaciones a las pérdidas en términos económicos a causa de los desbordes en los cauces, hacen que la problemática de la basura y los residuos tengan un peso cada vez mayor y que, por lo tanto, las autoridades estén cada vez más preocupadas por la temática. A continuación pueden observarse los datos suministrados por la Asociación de la Primera Zona de Riego donde se explicitan las inversiones realizadas relacionadas con los RSU.

Tabla N°1: Costos del Tratamiento de Residuos. Fuente, Subdelegación del Río Mendoza

Costos tratamiento residuos -Presupuestos IC Río Mendoza	
2004	**$ 1.720.000**
2009	**$ 3.119.494**
2011	**$ 3.899.367**
2012	**$ 4.350.000**

Paralelamente, los desbordes perjudican a las calles paralelas y a toda la infraestructura circundante, inundando propiedades públicas y privadas, aumentando aún más los daños causados, tanto a terceros, como así también, a las distintas redes de caminos, tuberías (cloacas y agua potable) y a los peatones. A su vez, las inundaciones perjudican al tránsito disminuyendo la velocidad aceptable de conducción y se aumenta la probabilidad de accidentes viales.

Esta situación ha obligado que los operadores de la red hídrica construyan sobre la infraestructura existente, una serie de instalaciones destinadas a la intercepción y captura de los residuos que, de otra forma, serían arrastrados por medio de los caudales de riego, por la red de conducción, afectando la distribución y disminuyendo la capacidad de las secciones hidráulicas, por lo tanto, su eficiencia de conducción y de distribución. Estas construcciones, han sido ejecutadas bajo criterios empíricos y experiencia operativa de los administradores que, si bien han permitido mitigar parcialmente la acumulación de RSU, no han posibilitado lograr una solución integral sobre la red hídrica.

Algunos de los objetivos planteados para este trabajo son: resaltar la importancia de las obras de retención y captura, la necesidad de contar con criterios técnicos para su diseño, con criterios generales para la ubicación de las estructuras y el mejoramiento de la gestión de los residuos en el Gran Mendoza. Las obras

mencionadas contribuyen a la concentración, retiro y disposición de los RSU en lugar que se repartan a lo largo de toda la red hídrica y de las propiedades de las zonas terminales de la red.

2. Materiales y Métodos

2.1- Medidas estructurales – trampas para captura de RSU

Conceptualmente una Trampa para la Captura de los RSU se trata de una obra concebida para retener el material que transporta el agua, tanto de manera flotante y en suspensión, como así también de arrastre de fondo, con una adecuada autonomía de manejo, de manera tal de no comprometer el régimen de escurrimiento y no producir desbordes aguas arriba de la estructura. Con autonomía de manejo se define al tiempo entre dos trabajos de limpieza consecutivos, de manera tal que la canalización no se desborde, o lo que es lo mismo, el tiempo en que tarda en atarquinarse totalmente el sistema de captura de RSU.

El diseño de las obras conocidas como trampas de basura consiste en la interposición de un sistema de rejas o rejillas en el cauce del canal, para la captación de los RSU. La forma de colocación de un sistema de interceptación de este tipo, consiste en la instalación de rejas inclinadas fijas o móviles, de dos o más etapas sobre la sección hidráulica. La materialización de se logra, construyendo sobre el cauce principal del canal, un ensanchamiento, de forma tal de duplicar la sección transversal y un tabique longitudinal de menor altura en el centro del ensanchamiento, tal como puede observarse en la Figura 2. Las obras son normalmente interpuestas en sectores previos a puntos críticos de la red tales como sifones, alcantarillas y sistemas de compuertas.

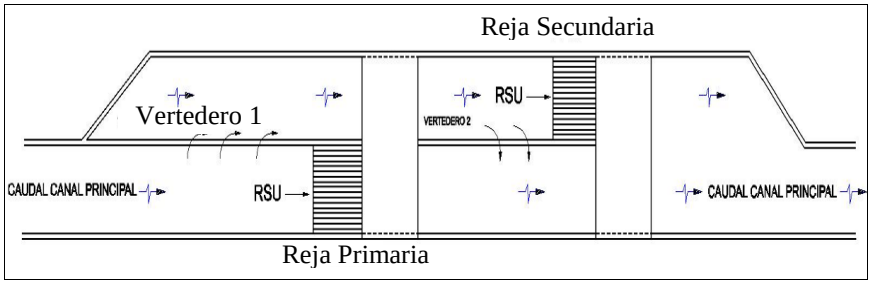


Figura 2. Croquis Típico de una Trampa de Basura construida sobre un canal de distribución

El principio de funcionamiento consiste en retener los RSU mediante la primera reja inclinada hacia aguas abajo, con un ángulo máximo de 45º respecto de la vertical. Debido a que el material que transporta el canal obtura rápidamente a la rejilla, el tabique (vertedero 1 y vertedero 2 en Figura 2) que separa la segunda conducción comienza a funcionar como un aliviadero, a fin de permitir el paso de la porción de caudal que no puede pasar por la reja inicial.

Es por ello que este tabique divisorio se construye con una menor altura. El agua comenzará su vertido a medida que la reja se va colmatando. Esta situación provoca que parte del material tienda a sobrepasar la obra de retención, por lo que, aguas abajo de la reja inicial se coloca la segunda etapa de la obra de captura (reja secundaria) en el cauce paralelo. Aguas abajo de esta segunda cámara, la canalización retoma la alineación de la traza original. A medida que la segunda reja va reteniendo los RSU, se va a ir obturando por lo que es necesario que el tabique intermedio también funcione como aliviadero (vertedero 2 en la Figura 2). Tradicionalmente se construye con una altura equivalente a la mitad de la altura física del cauce. Todo ello tiende a evitar que se produzca un desborde ante una falla en el mantenimiento del sistema de retención. Esta situación se produce cuando el personal responsable no alcanza a efectuar la limpieza de las estructuras, removiendo el material acumulado que obstruye el flujo a través de las rejas atarquinadas.

En ciertos sectores, tras la reja secundaria se hace necesario colocar una tercera captura, a fin de aumentar la capacidad de retención de RSU y evitar la obstrucción aguas abajo de estructuras tales como sifones, alcantarillas, derivaciones y aforadores. Estas estructuras deberán repetirse en serie a lo largo del canal, tantas veces como fuere necesario. Los costos de inversión y los espacios disponibles suelen ser uno de sus límites principales.

En la mayoría de los casos, la construcción de las obras de retención se ve restringida por la geometría de las conducciones existentes, sus dimensiones, espacios disponibles para vertederos, puentes de maniobra y lugares para acopio o retiro del RSU. Entre las condiciones que intervienen en el dimensionamiento de estas estructuras, puede contarse el caudal de diseño de la canalización, la pendiente de la solera de la canalización y el posicionamiento de la obra. Las características del lugar donde se encuentran las trampas de RSU tienen en cuenta las condiciones urbanas, rurales, o la combinación de ellas para poder estimar la cantidad y calidad de residuos que podrían llegar a incidir y transportar las canalizaciones sobre las que se encuentran, tanto en suspensión como arrastre de fondo. Puede citarse como ejemplo aquellos tramos que se encuentran alejados de zonas urbanizadas, los cuales están sometidos a la depositación del follaje de especies arbóreas como álamos, plátanos, pimientos (aguaribay), sauces y eucaliptus (Figura 3). En este tipo de obras la limpieza de las rejas se debe realizar dos veces al día como valor medio. Dado que, en general, se trata de materia orgánica, se ha realizado un retiro promedio, cada cuatro días, de alrededor de 6 m3 de material proveniente del área aguas arriba, desde las áreas cultivadas, previas al conglomerado urbano en estudio, que ha coincidido con los últimos años de baja oferta hídrica. De acuerdo con su situación geográfica, existen convenios para que algunos municipios retiren los RSU y los dispongan conjuntamente con los suyos.

En aquellos sectores en que las conducciones se encuentran rodeadas por los núcleos urbanos, podrá encontrarse todo tipo de RSU en cualquier época del año, afectando el transporte de las dotaciones de riego. Esta eventualidad se ve agravada por los efectos torrenciales durante la época estival de tormentas convectivas, en las que las crecidas agregan los sedimentos que aportan. (Figura 4).

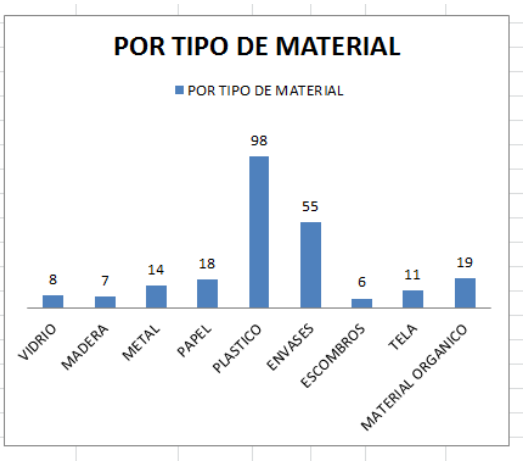
Figura 3. Trampa para la captura de RSU de dos etapas en una zona rural

Figura 4. Trampas para captura de dos etapas en la zona terminal del canal en el área urbana

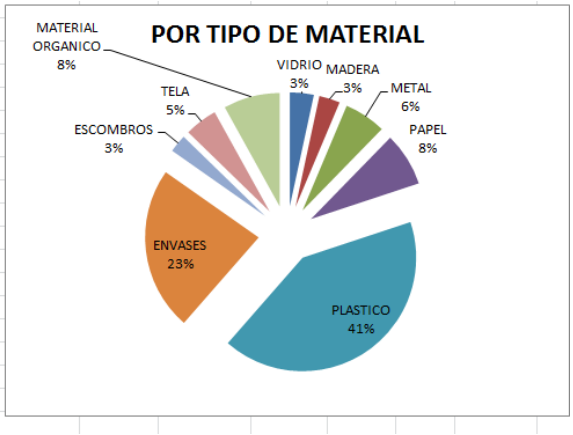
La mayor cantidad de RSU que inciden en la red de riego se produce al comenzar cada turno de riego (variable según la época y disponibilidad hídrica) ya que durante el periodo en que el canal no está dotado (su cauce se encuentra seco) las poblaciones cercanas arrojan con igual o mayor intensidad sus desechos. Para las progresivas de canales que cuenten con obras de tres etapas, la cantidad de material acumulado alcanza a picos de más de 50 m^3 cada cuatro días (dato suministrado por la 1º Asociación de Inspecciones de Cauces, a través de la Inspección del Canal Jarillal), los que deben ser convenientemente dispuestos, en los vaciaderos habilitados a tales fines. En estos casos, algunos municipios se niegan a retirar estos RSU lo que obliga a las organizaciones de usuarios del agua de riego a realizarlos a su cargo. Es conveniente que los aliviaderos laterales estén previstos para que su carga hidráulica sea la menor posible, a fin de evitar que los residuos flotantes sobrepasen las obras. Este criterio de diseño tiende a retener la mayor cantidad de elementos. Ello implicará obras más extensas en las progresivas del canal, con altas inversiones iniciales. La construcción de estas obras llevan muchas veces a adoptar soluciones de compromiso entre una inversión inicial de menores proporciones que las ideales y los costos de operación, ya que deberá incrementarse la frecuencia de operación de limpieza y remoción, debiéndose adicionar a estos trabajos, la carga, el acopio y el transporte de los residuos a sitios adecuados. Debe tenerse presente que la disminución de la pendiente implica la disminución de la velocidad y de la energía de trasporte y provocará la sedimentación aguas arriba del sistema de captura de manera de disminuir la posibilidad de sobrepaso de los RSU, de manera que la basura tenga la menor velocidad de llegada posible. A su vez, debe tener presente que una menor velocidad de llegada, para el caso en que las obras de retención se encuentran totalmente colmadas, se producirá un proceso de sedimentación. Para el caso en que la canalización se encuentra en una zona susceptible de ser afectada por una tormenta convectiva, será perjudicial ya que disminuirá la capacidad de conducción y necesitará de la correspondiente acción correctiva a través de mano de obra que desembanque el sitio.

La composición de los RSU es uno de los factores determinantes en la definición para el diseño de las obras. Se han realizado algunos análisis de los RSU con los resultados que se muestran en la siguiente tabla y gráficos, donde puede verse la cantidad de elementos obtenidos de la muestra en la primera parte del gráfico, y la composición en términos porcentuales, en el diagrama de torta incluido, reflejándose en la tabla de la derecha del gráfico.

Gráfico N°1: resultados de una muestra realizada sobre el canal Jarillal a cargo de la Asociación de la Primera Zona de Riego. Fuente: Asociación de la Primera Zona de Riego.



Naturaleza del RSU	Cantidad de elementos obtenidos en la muestra	Composición porcentual
VIDRIO	8	3%
MADERA	7	3%
METAL	14	6%
PAPEL	18	8%
PLASTICO	98	42%
ENVASES	55	23%
ESCOMBROS	6	3%
TELA	11	5%
MATERIAL ORGANICO	19	8%



Las situaciones anteriores indican que dentro de una misma zona, pueden darse infinidad de efectos que determinan las condiciones más apropiadas para el diseño y operación de las obras de intercepción de RSU.

2.2- Obras hidráulicas que acumulan RSU por su configuración y funcionamiento

Existen obras hidráulicas singulares que, por su configuración y funcionamiento energético, provocan la acumulación de todo elemento que sea transportado por el agua. Estas estructuras están relacionadas con la interferencia de otras obras lineales, a veces de gran tamaño como canales, y, vías de comunicación y transporte, de manera que debe efectuarse obras como sifones y alcantarillas, resultando algunas de estas obras de grandes dimensiones.

Los sifones se componen por la cámara de carga, la conducción principal y la cámara de salida. En la primera cámara, se produce un aumento en la carga hidráulica (energía) a fin de poder sobrepasar las singularidades que implican los cambios de sección y dirección y de las pérdidas de energía por fricción en el tramo inferior (esquema de la Figura 5). Es en esta sección donde se produce una disminución de las velocidades medias con la consiguiente decantación de fondo y acumulación superficial en la boca de la cámara de todo material flotante.

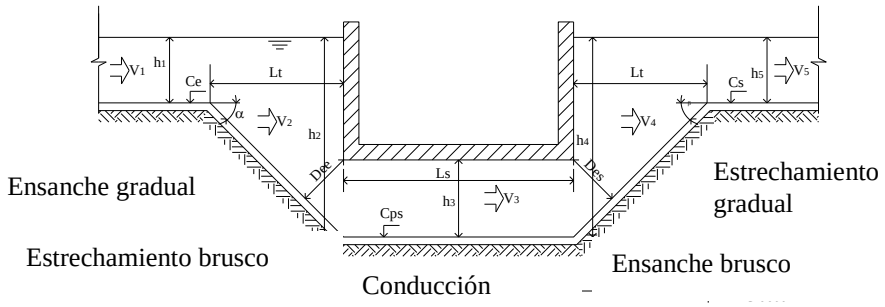


Figura 5. Corte típico de un sifón hidráulico

Para el caso usual, de obstrucción parcial, el agua deberá levantar su nivel aguas arriba, de manera tal de incrementar su energía para sobrepasar el sifón que se encuentra aguas abajo. Dado que no siempre se cuenta con los muros laterales lo suficientemente elevados para lograr las cargas hidráulicas necesarias, es que se producen desbordes e inundaciones en los terrenos aledaños, donde se encuentran caminos y todo tipo de infraestructura urbana. Para esta situación, en algunos sectores, debe sobreelevarse los muros del canal, de acuerdo a la curva de remanso hacia aguas, aumentando las inversiones a realizar, pero sin lograr la solución del verdadero problema que es el atarquinamiento y obstrucción de las secciones hidráulicas a causa de los RSU.

En las fotografías siguientes se puede observar el caso del Canal Jarillal en su paso por debajo del Zanjón Frías, en donde lo hace por medio de un sifón (Figura 6) donde la cámara de carga posee todavía no se ha llenado, pero pueden observarse una gran cantidad de RSU, principalmente envases plásticos. En la fotografía de la Figura 7 se observa la descarga del sifón al cauce del Zanjón Frías, a fin de evitar que los primeros volúmenes de agua, que van arrastrando la suciedad existente, sean

conducidos hacia aguas abajo. Puede observarse en ambas fotografías que el color del agua es marrón negruzco, con un alto contenido de coloides y material muy fino con una muy alta polución, a pesar de provenir de un sistema regulado como lo es el del río Mendoza.

Figura 6. Vista de la cámara de carga del sifón del Canal Jarillal bajo el zanjón Frías durante los primeros instantes luego de la corta de riego.

Figura 7. Vista del desagüe del sifón del Canal Jarillal hacia el cauce del Zanjón Frías, canal de desagües pluvioaluvionales, que toma las escorrentías provenientes del piedemonte y de gran parte de la ciudad de Godoy Cruz.

Otra dificultad que suele presentarse en el escurrimiento se relaciona con las alcantarillas. Estas estructuras no poseen cambios en la dirección, y la conducción necesita de una losa superior. En la generalidad de los casos, la losa se coloca sobre el canal (en general rectangular), sin preocuparse que se mantengan, al menos, las condiciones hidráulicas de aguas arriba, sino que solamente se realiza una simple compensación geométrica, en lugar de hidráulica. Estos defectos de diseño provocan que la alcantarilla comience a funcionar como sifón y necesite mayor energía a la entrada y se produzca, por lo tanto, el desborde aguas arriba ya que la sección de la conducción resultará insuficiente.

Cada caso merece un estudio particular, en cuanto a la topografía del lugar (pendientes dominantes) y caudales de diseño, sin embargo, las municipalidades han adoptado unas pocas tipologías normalizadas que, en muchos casos, no son aplicadas adecuadamente, por lo que los desbordes y los atoraderos son habituales en las bocas de entrada de las alcantarillas.

A todos los casos anteriores, se le debe sumar la temática de la operación y mantenimiento, los cuales, muchas veces, se encuentran limitados por los presupuestos asignados (falta de personal y elementos) o ausencia de criterios, protocolos y conocimientos de las diversas problemáticas puntuales o bien, por la combinación de ambas situaciones.

3. Resultados y Discusión

Los tópicos que deben destacarse en relación a las obras mencionadas y el manejo de los RSU capturados, pueden dividirse en medidas estructurales (obras) y en medidas no estructurales.

Se ha llevado a cabo una cantidad importante de reuniones con los operadores de los sistemas de riego, como así también con las Autoridades encargadas de la administración del sistema de riego, a fin de detectar y confirmar las observaciones realizadas. En su mayoría, han coincidido en las conclusiones que a continuación se esbozan. Asimismo, será necesario, en caso que las medidas estructurales como no estructurales que las mayores erogaciones que resultaren necesarias para el mejoramiento del sistema, sean aprobadas oportunamente, por las asambleas de regantes, cuando se determinen los presupuestos del año correspondiente.

Medidas Estructurales

- Instalación de rejas anguladas, como máximo, a 45º respecto de la horizontal: tal como se ha mencionado en los apartados anteriores, existe una serie muy importante de obras que necesitan de la intercepción de los RSU aguas arriba para su correcto funcionamiento y eficiencia en el manejo del Recurso Hídrico, recordando que es quien limita el crecimiento y desarrollo de las áreas en zonas áridas como la Provincia de Mendoza.
- Inclusión de las etapas que sean necesarias en las obras de captura de RSU: cuando se decide la instalación de un sistema de rejas, debe realizarse un estudio del tramo aguas arriba, de manera de identificar los escurrimientos adicionales que pueda recibir y las zonas pobladas que tal canalización atraviesa. De esta manera, puede caracterizarse con cierta exactitud cuáles son las condiciones de borde a que se encuentra expuesta y, por lo tanto, se podrá realizar la previsión de la cantidad de etapas necesarias (cantidad de rejas). La obra civil podrá plantearse en una sola etapa, y el resto de las obras hidromecánicas, podrán realizarse por etapas sucesivas, a fin de disminuir las inversiones iniciales.
- Motorización de los elementos móviles para facilitar la operación de limpieza de las rejas, con la regularidad requerida por las necesidades de cada canal. Las tareas de remoción de los RSU capturados por las rejas es una actividad que debe ser realizada por el personal propio afectado a cada canalización. Este personal, debe conocer las características de cada tramo y ser conciente de la importancia que una tarea tan simple como lo es la limpieza de las rejas tiene para el buen funcionamiento de todo el resto de la red de distribución de agua. Las autoridades de cada Inspección de Cauce y de cada Zona de Riego deben concientizar al personal de operación acerca de la importancia de estos trabajos y que, a fin de mejorar la efectividad y eficiencia, es conveniente la motorización de las rejas de las obras más importantes a fin de facilitar y acelerar las operaciones de limpieza. La motorización deberá tener el factor común de la utilización de un mismo motor para la operación de todas las rejas de una misma Inspección. El motor deberá ser portátil y transportable mediante los medios de movilidad que usualmente son

utilizados por el personal. La facilidad de acople y desacople deberá ser otra de las características que deben ser contempladas y capacitados los operadores para su optimización. Una de las obras que puede utilizarse como piloto de esta sistematización es la trampa de sólidos en el Canal Jarillal en la progresiva previa al sifón de cruce por debajo del Zanjón Frías.

Figura 8. Vista de la obra civil preparatoria para recibir un sistema de rejas para la intercepción de los RSU en el canal Jarillal, aguas arriba del puente canal sobre el Zanjón de Los Ciruelos. La rejas de dos etapas serán ejecutadas en los próximos dos presupuestos anuales.

Figura 9. Fotografía de la descarga al Zanjón de los Ciruelos de los caudales iniciales a fin de no permitir el ingreso a los sectores aguas abajo del agua contaminada por la suciedad acumulada en el cauce durante los 105 días de corta anual del año 2012.

Figura 10. Sistema de Trampa de Basura, previamente a ser mantenido. Puede observarse la curva de remanso hacia aguas arriba. El diseño más moderno y de mayores dimensiones permitirá la instalación experimental de un motor para aumentar la velocidad de izaje y los trabajos de limpieza de la reja. Trampa en el Canal Jarillal, aguas arriba del sifón de cruce debajo del Zanjón Frías.

Figura 11. Sistema de dos etapas en la progresiva 20.000 desde el Dique Carrodilla, previo a un sifón de muy baja pendiente, cuya cámara de carga también posee una reja auxiliar, ya que la incidencia de los RSU es demasiado intensa y se hace necesario una tercera y cuarta etapas para poder disponer de tiempo antes que el sistema se atarquine totalmente. El sistema de rejas también puede ser motorizado experimentalmente mediante el mismo sistema que poseerá la sección de control de basura de la fotografía anterior. Esta imagen puede complementarse con la Figura 4.

- Estudio de las pendientes de soleras y longitudes de vertederos laterales para comparar operación versus sedimentación en las obras de captura. A fin de poder realizar un correcto dimensionamiento se debe contar con el relevamiento topográfico a fin de poder compatibilizar las pendientes óptimas con las posibles desde el punto de vista económico. Estos datos condicionarán las secciones transversales y la cantidad de etapas de rejas que deberá atravesar el flujo de agua. El tema de la sedimentación deberá estudiarse conjuntamente, de manera de lograr secciones autolimpiantes, con posibilidad de evacuación hacia cauces mayores de desagüe, tal como es el caso de la progresiva del canal Jarillal sobre el Zanjón de los Ciruelos.
- Estudio de las pendientes de los sifones y alcantarillas de manera de lograr la autolimpieza a través del aumento de la velocidad media de la corriente, de manera que no se facilite el atarquinamiento de las secciones transversales con los residuos. Para lograr estos objetivos es necesario contar con la topografía del sector y con las características y condiciones de contorno, para poder lograr la autolimpieza y lograr el desagote de las conducciones hacia conducciones mayores de desagüe (como por ejemplo los Zanjones Frías y de Los Ciruelos)

Medidas no Estructurales

- Aumentar la frecuencia de limpieza de aquellas obras de captura más expuestas. Las obras interpuestas deben ser estudiadas y monitoreadas de manera tal de poder encontrar las frecuencias más adecuadas de manera tal de optimizar los circuitos y recorridos, fundamentalmente teniendo en cuenta la época del año y las zonas por las que atraviesan los canales de riego.
- Concentrar las obras de captura con las secciones de aforo y derivación, de tal manera que el mismo equipo de trabajo efectúe la limpieza, recuente los RSU y afore los canales. Los operadores podrán realizar el monitoreo de las obras de captación de RSU durante las operaciones de ajuste de caudales y de control de las dotaciones, de manera tal de obtener un registro más detallado del estado de las distintas obras de captación, además de los turnos de vigilancia propios de las mencionadas obras.
- Tomar especiales recaudos en la limpieza de las obras de captura durante las primeras horas de los turnados de los cauces, y la asignación de una mayor cantidad de personal calificado para la operación y mantenimiento de las obras de captura de RSU.
- Fortalecimiento Institucional para la acción de concientización sobre la necesidad de la limpieza de los canales de riego, y distribución de dotaciones como una tarea inherente a la actividad de la administración del recurso superficial. Esta medida no estructural ya fue mencionada en el cuerpo del texto, lo que lleva a la necesidad de la capacitación de los operadores de la red de riego, no solamente en los aspectos mecánicos sino también el la importancia que tienen los RSU en el funcionamiento de las canalizaciones, en la eficiencia global del sistema y en los recursos económicos que los regantes deben invertir por causa de la falta de educación de la

población, a la cual se debe enseñar a ser cuidadosos con la infraestructura y con el recurso agua principalmente.

- Fortalecimiento institucional de las Autoridades de Aplicación con jurisdicción sobre las márgenes de los canales que se encuentran ocupadas por poblaciones que usurpan esos espacios. La Autoridad de Aplicación, es decir el Departamento General de Irrigación debería contar con procedimientos expeditivos para poder proceder al desalojo de las márgenes de las canalizaciones que son de su jurisdicción y se encuentran ocupadas. Por otro lado, las márgenes debieran ser vigilados tanto por los vecinos como por los inspectores municipales, quienes deben ser los que miren permanentemente a estas franjas de terrenos, de manera que permanezcan libres de toda ocupación ilegal, caso contrario, se hace la inmediata denuncia y se evita la ocupación mediante una casilla y menores.
- Lograr que los municipios se involucren más a la problemática de los RSU en la red hídrica a fin de compartir las cargas y compartir los esfuerzos y los recursos. Los RSU que son arrojados a los canales de riego provienen de espacios que son jurisdicción de los municipios, es decir por los vecinos y los que no son vecinos de la red de canales, quienes arrojan sus residuos y elementos que ya no usan a los cauces. Luego, con el uso de los canales para la distribución de las dotaciones de riego, los RSU y los desechos son arrastrados por el agua y los operadores deben limpiar los canales y retirar lo recolectado y disponerlos convenientemente. Estas últimas actividades debieran ser realizadas conjuntamente por los operadores de las canalizaciones y por los municipios de manera coordinada, en lugar de crear conflictos entre las asociaciones de usuarios y las autoridades municipales sobre quiénes deben cubrir los costos del retiro de los RSU y de los desechos que los sistemas de intercepción recolectan.

4. Conclusiones

Frente a los antecedentes y a estos resultados detectados se hace imprescindible la mayor participación conjunta de organismos oficiales de manera sistemática e institucionalmente establecida, sin depender de la buena voluntad de funcionarios o de cualquier coyuntura que haga fracasar el trabajo conjunto tendiente a que los residuos extraídos de cada cauce tengan el destino que les corresponde en tiempo y forma.

Asimismo, se ha detectado como muy necesaria la interrelación entre los organismos operadores (en este caso el Departamento General de Irrigación y los Municipios) con organismos de investigación de manera tal que las contingencias que se detecten cuenten, no solamente con la resolución de sus especialistas propios, sino con el apoyo académico y científico que pueden aportar los Centros de Estudio (en nuestro caso, la Maestría en Ingeniería Ambiental y el Instituto de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo).

Debe existir un seguimiento y monitoreo constante del funcionamiento de las estructuras hidráulicas de retención a fin de evaluar su comportamiento a lo largo del tiempo a fin de obtener una serie de datos que permita el seguimiento de la conducta

de la población asociada a estos canales de riego y dar apoyo o soporte técnico a los operadores de tales estructuras.

5. Referencias Bibliográficas

1. [1] Magistocchi L, Salomón M, Infante P y Guisasola L, *Impacto Ambiental y Contaminación Hídrica Zona Metropolitana del Gran Mendoza – Provincia de Mendoza – República Argentina*, 3º Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos, Brasil, 2010, p. 67.
2. [2] Departamento General de Irrigación, Boletín de Hidronivometeorológico de la Provincia de Mendoza, 14 de mayo de 2012, p 4.

Utilización de Orujo Agotado para la Producción de Biogás

María Elisa Indiveri [(1) (2)], Sebastián Pérez [(1) (2)], Nehuén Angileri [(2)], Carina Maroto [(2)]

[(1)] Centro de Estudio de Ingeniería en Residuos Sólidos (CEIRS) – Instituto de Medio Ambiente – Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional de Cuyo - Centro Universitario, 5500, Mendoza, Argentina. elisaindiveri@gmail.com, p.sebastianperez@gmail.com

[(2)] Instituto de Energía – Universidad Nacional de Cuyo - Centro Universitario, 5500, Mendoza, Argentina. angilerinehuen@gmail.com, carinamaroto@gmail.com

Resumen. El presente trabajo aborda el estudio de la degradación anaeróbica de orujo agotado, en términos energéticos, de producción de biogás, en condiciones mesofílicas mediante la utilización de líquido ruminal vacuno como inóculo. Se busca hacer hincapié en demostrar la potencialidad energética de estos recursos renovables y su posible impacto en la provincia de Mendoza. Estos recursos en la actualidad se encuentran subvalorados comercialmente y en muchos casos desechados. En la digestión anaeróbica de inóculo y orujo agotado como sustrato se obtuvo biogás con una composición media del 55%molar aproximadamente de metano, sin presencia de H_2S. Al adicionar un 23% másico de orujo al inóculo ruminal se obtuvo un incremento en el volumen de biogás del 120%. Secundariamente mejoró la energía obtenida por unidad de volumen, que además, superó la media del control. Se concluye que si se procesara todo el orujo agotado de la provincia de Mendoza, se podría generar energía como para abastecer 1.513 casas, mediante el biogás producido y 49 calderas industriales, mediante la energía generada con la combustión de la masa residual producida en los bioreactores.

Palabras Clave: biogás, digestión anaeróbica, orujo agotado, metano, inóculo ruminal.

1. Introducción

1.1. Biogás

La fermentación anaeróbica o la digestión anaerobia es un proceso, en el cual no se encuentra oxígeno en disolución. En este proceso los electrones equivalentes de materia orgánica se utilizan para reducir el carbono al estado de -4, este es un estado más reducido. El producto final es CH_4 (Metano). La materia orgánica es descompuesta en metano mediante bacterias de origen natural. El metano es poco soluble en agua y por lo tanto, abandona la fase líquida y es fácil de separar [1].
El poder calorífico del metano (210,8 kCal/mol ó 55 MJ/kg), el principal componente del biogás, es equivalente a 1,2 kg de gasóleo o 3,7 kg de madera. La producción total de biogás a través de la digestión anaerobia ha estado en un aumento constante en los últimos años [2].

1.2. Antecedentes

En Argentina se pueden citar experiencias como la provincia de Santa Fe, en donde la Universidad Nacional del Litoral ha colaborado en la construcción de digestores para el tratamiento de residuos y abastecimiento energético de casas, escuelas, comedores sociales, ONGs y pequeñas poblaciones [3].
En la Universidad Nacional de Cuyo, se comenzó a trabajar en este tema hace más de dos décadas, pero sin continuidad. Desde hace cuatro años, el Instituto de Medio Ambiente de la Facultad de Ingeniería con el Instituto de Energía de la Universidad retomó las experiencias en producción de biogás.
El equipo de investigación, perteneciente a los institutos de la UNCuyo mencionados anteriormente ha desarrollado investigaciones y experiencias en el ámbito universitario sobre el manejo de residuos sólidos (urbanos y agroindustriales) y el aprovechamiento energético de los mismos. A su vez se trabaja en la transferencia del conocimiento mediante proyectos de construcción de biodigestores en dos escuelas técnico agrarias [4].

1.3. Orujo

Argentina es el primer productor de vinos de Latinoamérica y el quinto mayor productor del mundo según la OIV [5].
Alrededor del 67,39% de la uva producida en la Argentina se cultiva en Mendoza [6].
Mendoza posee la mayor superficie cultivada con vides en la Argentina. Según el INV en el 2011 se registró una superficie cultivada de 217.750 hectáreas de vid. En el año 2011 se vinificaron en Mendoza 1.935 miles de toneladas de uva y el volumen total de vino elaborado fue de 1.463 millones de litros. Mendoza y San Juan representan el 92% de la superficie cultivada y el 86% del total de viñedos [7].
La región que abarca Mendoza y San Juan representa el 94,78 % del total de vinos y mostos elaborado en el país. Cuenta con 1.194 bodegas y fábricas de mostos inscriptas de las que 862 elaboraron en la cosecha 2009 [8].
El INV establece, mediante estudios estadísticos y enológicos, que el orujo representa el 8% de los kg de uva cosechada. Por lo tanto, se estarían generando en Mendoza 154,82 miles de toneladas de orujo, según las estadísticas del año 2011 del INV [9][10].
El orujo agotado es un residuo obtenido en la industria vitivinícola. Es uno de los principales desechos de las bodegas. Compuesto por el epicarpio de la baya de uva y la semilla. Obtenido luego del prensado de la uva o de la vinificación, en el caso de los vinos tintos.
El orujo es extraído de las bodegas y llevado a las destilerías en donde se realiza la extracción del alcohol remanente, el ácido tartárico y la semilla (pepita de uva) a la cual se le extrae el aceite. Luego de atravesar este proceso, el producto obtenido se denomina orujo agotado. Actualmente después de esta extracción, el orujo agotado se utiliza como enmienda orgánica en cultivos ya que el mismo actúa como mejorador de suelos. También para la obtención de energía térmica a través de su combustión en calderas. A veces, cuando no es factible de utilizar como fertilizante ni como combustible éste es dispuesto finalmente en el vertedero local.

1.4. Objetivos

El objetivo de este trabajo fue estudiar los efectos de la degradación anaeróbica del orujo agotado, en términos de producción de biogás, en condiciones mesofílicas.

2. Desarrollo experimental

2.1. Materiales y Métodos

2.1.1. Baño de agua termostatizado

Se utilizó un baño termostatizado marca Dalvo para mantener la temperatura de los ensayos a 37°C. El mismo está compuesto por: un recipiente de acero inoxidable 304L; 3 resistencias blindadas de inmersión de acero inoxidable de 1500 W; una válvula flotante; un termostato; aislación envolvente de lana de vidrio; soportes mecánicos conformados de acero inoxidable 304L.

2.1.2. Reactores

La degradación anaeróbica fue realizada en reactores cilíndricos de acero inoxidable AISI 316L de 4 l de capacidad con cierre bridado con junta intermedia de EPDM, con 1 válvula de venteo de tipo esférica.
Los mismos fueron dispuestos en el baño termostatizado. No se utilizó ningún dispositivo de agitación. Los reactores fueron agitados con movimientos circulares cada vez que fue medida la presión de gas.

2.1.3. Sistema de medición

La medición de volumen de gas generado se realizó indirectamente mediante la lectura de la presión en cada reactor. Se utilizaron manómetros analógicos marca Beyca, sin glicerina, de 0,02 kg/cm^2 de sensibilidad, con rango de 0 a 1 kg/cm2 y presión máxima de 4 kg/cm2.

2.1.4. Sustrato

Como sustrato se utilizó orujo agotado de uva obtenido de la empresa Derivados Vínicos S.A., una destilería local.

2.1.5. Inóculo

Se trabajó en la obtención de un inóculo adecuado para el ensayo. Para este fin se analizaron distintas muestras de líquidos provenientes de la digestión ruminal de vacunos. Ésta es un proceso dinámico relacionado a la ingestión y deglución del alimento (ingesta) y la salida de líquido, bacterias y alimentos residuales no digeridos [11]. El líquido ruminal vacuno fue donado por mataderos locales de la empresa Vildoza SA.

2.1.6. Caracterización del sustrato e inóculo

En la digestión anaeróbica, el sustrato a utilizar es uno de los factores más importantes para determinar la cantidad de biogás que se va a generar.
Para conocer la carga con la cual se trabajará durante la experiencia se determinó analíticamente la cantidad de sólidos totales presentes en el sustrato y en el inóculo utilizado, y sus respectivas densidades.
Se midió la densidad del orujo mediante método picnométrico.

2.1.7. Determinación de Sólidos Secos y Volátiles

La determinación de sólidos secos y volátiles se realizó según métodos normalizados.
Estos cálculos son de suma importancia ya que determinan la proporción de sustrato que llevarán los digestores.

2.1.8. Diseño Experimental

El experimento contó con dos tratamientos triplicados:
Serie 1, Blanco de Inóculo: Los reactores fueron cargados exclusivamente con líquido ruminal para medir el biogás producido por el inóculo solo.
Serie 2, Orujo: Los reactores fueron cargados con orujo e inóculo para medir la cantidad de biogás producida por estos dos componentes.
Los biodigestores quedaron cargados de la siguiente manera:

Tabla 1. Especificación de carga másica.

Nº Reactor	Nombre Reactor	Masa Inóculo [kg]	Masa Orujo [kg]	% TS [kg s. Seco/kg sólido]
1.A – 1.B – 1.C	Blanco Inóculo	1,6	0,0000	1,3
2.A – 2.B – 2.C	Orujo	1,6	0,4880	14,8

2.1.9. Metodología para la carga

Los reactores anaeróbicos trabajan con una cantidad de inóculo que provee los microorganismos suficientes para digerir al sustrato, produciendo biogás. Por este motivo se debe dejar volumen en el recipiente para alojar este gas. Aproximadamente se dejó un 50% del volumen total del reactor disponible para el biogás y el otro 50% para la digestión de la fase semilíquida.
Dentro del volumen de digestión, la relación entre el inóculo y el sustrato fue de 80/20, es decir un 80% de la carga fue inóculo y el 20% restante sustrato.
Se tomaron los volúmenes calculados de orujo e inóculo correspondientes a cada tratamiento y se incorporaron dentro de los reactores. En el caso del inóculo se utilizó agua de red para completar el volumen a 2 l.
En el tratamiento del orujo se buscó mantener la concentración de sólidos totales en un rango de 10-15% aproximadamente. Los sólidos totales son un parámetro de gran importancia ya que en este rango se puede desarrollar de manera eficaz el crecimiento microbiano [13].

2.1.10. Mediciones de biogás

El volumen de gas fue medido indirectamente registrando la presión en cada reactor. Luego el biogás fue quemado en un mechero para evaluar presencia de metano y para evitar malos olores.
Periódicamente se le realizaron determinaciones cromatográficas para conocer la naturaleza y cantidad de los gases que componen a este biogás, con el fin de poder calcular el poder calorífico que contenían dichos gases. Las determinaciones cromatográficas arrojaron los resultados en %molar.
Antes de determinar el volumen total se consideró el gas en la idealidad y se lo comparó con el gas en condiciones reales. Para ello se determinó el volumen del gas obtenido por la ecuación de estado de los gases ideales y por la ecuación de Peng Robinson. Mediante la ecuación de estado de los gases ideales se calculó el volumen de gas obtenido.

Ecuación de Estado

$$PV = nRT \qquad (1)$$

Dónde:

- P es la presión medida en cada reactor.
- V es el volumen libre en el reactor que ocupa el gas.
- n es la cantidad de moles del gas presente.
- T es la temperatura absoluta del gas, en este caso la tempera se mantuvo constante en el baño termostatizado a 309,15 K, o sea 37ºC.
- R es la constante universal de los gases, cuyo valor es 0,082 $\frac{\text{atm} \bullet \text{L}}{\text{mol} \bullet \text{K}}$

A partir de la ecuación 1 se despejó n, el número de moles producidos. Luego este valor se convirtió a litros producidos en condiciones normales de presión y temperatura (CNPT) resultando el volumen de gas producido en litros normalizados, a 1atm y 273 K.
Mediante la ecuación de Peng Robinson se iteró con distintos volúmenes, partiendo del volumen obtenido como gas ideal, hasta lograr la presión parcial de cada componente, obtenida mediante la ecuación de Dalton.

Ecuación de Dalton

$$p_i = P*y \qquad (2)$$

Dónde:

- p_i es la presión parcial del gas.
- P es la presión total medida.
- *y* es la fracción molar de cada componente gaseoso.

Ecuación de Peng Robinson

$$p_i = \frac{R*T}{(V-b)} - \frac{a}{(V+b)V+b(V-b)} \qquad (3)$$

Dónde:

- $a = 0{,}45724 \frac{R^2*Tc^2*\alpha^2(T)}{Pc}$
- $b = 0{,}0778 \frac{R*Tc}{Pc}$
- $\alpha = 1 + m(1-\sqrt{Tr})$
- $Tr = \frac{T}{Tc}$
- $m = 0{,}37464 + 1{,}54226\omega - 0{,}26992\omega^2$
- T = 310 K

Tabla 2. Constantes de los compuestos

Componentes	ω	Pc	Tc
CH_4	0,0114984	46,4068	-82,451
CO_2	0,23894	73,7	30,95
H_2S	0,081	90,0779	100,45
N_2	0,03999	33,9437	-146,956
H_2	-0,12009	13,155	-239,71

Posteriormente se calculó el volumen total acumulado. La acumulación de gas se llevó a cabo en el espacio que quedó libre en cada reactor. Esta cámara tiene un volumen de 2 litros el cual se venteó periódicamente. Luego de cada venteo se alojan otros 2 litros nuevamente, este gas se alojó en condiciones particulares por lo cual el volumen total en condiciones normales (CNPT) es la suma de los volúmenes producidos, en condiciones particulares y expresados en CNPT.

2.1.11. Mediciones de calidad de biogás

Gracias al convenio que mantiene la UNCuyo con la empresa YPF SA se pudieron realizar las determinaciones de la composición de los gases.
Los ensayos se realizaron bajo el método UOP 539/87 en cromatógrafo (LB417) HP 5890 Serie II. Este cuenta con detector FID y 2 columnas cromatográficas [14].
Columna N°1 – Sebaconitrili ON PAW 80/100 Mesh 1 Molecular Sieve 13x45/60 mesh
Determina H_2 con N_2 como gas carrier.
Columna N°2 – Porapak Q 80/100 Mesh
Determina Hidrocarburos con He como carrier.
El equipo ha sido calibrado con un patrón CIL 124351-1.
La determinación de H_2S se llevó a cabo con un kit DrägerRöhrchen con límite de detección de 100-2000ppm de H_2S para 100 ml de muestra. En este caso empleamos una modificación validada a este método empleando 10ml de gas como muestra y su resultado fue multiplicado por diez. Se debió recurrir a este método alternativo por no contar con el suficiente volumen de muestra en el momento de la determinación.

2.1.12. Cálculo Energético del biogás

El cálculo energético se realizó conociendo la presión acumulada de cada reactor. Aplicando la ecuación (1), se calculó la cantidad de moles de gas producido.
El ensayo consistió en un periodo de 63 días debido al calendario de trabajos del laboratorio. Éste se dividió en 3 etapas, al término de cada una de ellas se determinó la composición de los gases cromatográficamente. Con la cantidad molar de cada uno de los gases determinados y su correspondiente poder calorífico se calculó el

contenido calórico total de cada etapa, según las ecuaciones siguientes. La suma de las tres etapas arroja el contenido calórico total del biogás generado.

$$Qtotal = Qet1 + Qet2 + Qet3 \quad (4)$$

$$Qet1 = n_{CH_4} * Q_{CH_4(molar)} + n_{H_2} * Q_{H_2(molar)} \quad (5)$$

$$Qet1 = \frac{P_{ac1} * V}{R * T} * \%molar_{et1CH_4} * Q_{CH_4(molar)} * 100 + \frac{P_{ac1} * V}{R * T} * \%molar_{et1H_2} * Q_{H_2(molar)} * 100 \quad (6)$$

P_{ac1}= Presión acumulada durante la etapa 1 (en atm)
V= Volumen que ocupa el biogás, 2 L
R= Constante Universal de los gases $0{,}082 \frac{atm \bullet L}{mol \bullet K}$

$\%molar_{et1CH_4}$ = cantidad molar de Metano registrado cromatográficamente al final de la etapa 1

$Q_{CH_4(molar)} = 210{,}8 \frac{Kcal}{mol}$ [15]

$\%molar_{et1H_2}$ = cantidad molar de Hidrógeno registrado cromatográficamente al final de la etapa 1.

$Q_{H_2(molar)} = 29{,}15 \frac{Kcal}{mol}$ [16]

Para las demás etapas el cálculo se desarrolló de la misma manera y posteriormente se calculó la energía total generada.

2.1.13. Cálculo Energético de la masa residual

Luego del tratamiento experimental se recaudó la masa que quedó en cada bioreactor. Se comparó con la cantidad de masa colocada al principio de la experiencia y se le determinó el poder calorífico.
La determinación de poder calorífico se hizo mediante el método ASTM D 240 [17]. Los instrumentos utilizados fueron:

- Balanza Analítica A&D HR 20
- Calorímetro Manual Marca PARR Modelo 1341 EE con su bomba Calorimétrica.

3. Resultados

3.1. Caracterización de sustrato inóculo y glicerina.

Mediante las determinaciones previamente explicadas se pudo cuantificar la densidad y la cantidad de sólidos totales y volátiles en el orujo y el líquido ruminal.

Tabla 3. Características del sustrato y cosubstrato.

Nº	Contenido	Densidad (g/ml)	SV%	ST%
1	Inóculo	1,0012	48,1	0,014
2	Orujo	1,2206	91,45	0,586

3.2. Producción de Biogás

En esta sección se presentan los resultados de producción de biogás en el ensayo.
En la figura 1 se observa la media del registro de las presiones de cada serie ensayada. Observando el comportamiento de la serie que contiene orujo, se aprecia un gran incremento en el ritmo de producción de biogás a partir del día 10. La serie 1 siguió el mismo comportamiento pero a una tasa menor de crecimiento a lo largo del experimento.

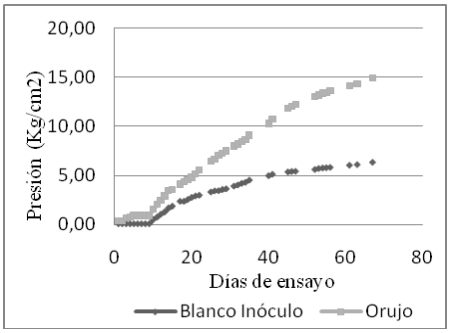


Fig.1. *- Registro de presiones acumuladas*

Tabla 4. Presiones Acumuladas.

Ensayo	Presiones acumuladas [Kg/cm2]
M1 (Media)	6,12
M2 (Media)	14,32

En esta tabla se pueden observar las presiones acumuladas a lo largo de los 63 días de ensayo. Se observa que la cantidad media de gas producido por la serie que contiene orujo como sustrato es 2,34 veces mayor que la que no lo tiene.

3.3. Comparación de comportamiento Real vs Ideal.

Mediante el uso de la ecuación de estado para gases ideales y la ecuación de Peng Robinson se determina el volumen de gas promedio obtenido en las serie 2. Este gas tendría una composición promedio entre los obtenidos en los reactores 2 A, 2 B y 2 C, de acuerdo a las 3 cromatografías realizadas a lo largo del ensayo, durante los 63 días de acumulación.
El promedio de la composición de los gases de las repeticiones de cada tratamiento arroja una composición molar como se observa en la Tabla 5. Se utilizó una presión de cálculo de 2 atm a los fines de comparar su comportamiento.

Tabla 5. Comparación V(ideal) vs. V(Real).

Comp.	%molar	V(ideal)	V(real)	Error
CH_4	54,526%	23,310	23,260	0,215%
CO_2	41,824%	30,389	30,265	0,411%
H_2S	0%	0	0	0,000%
N_2	1,24%	1025	1025	0,000%
H_2	0%	0,000	0	0,000%

Según esta comparación el error no supera el 0,5% por lo cual se considerará el biogás como gas ideal, durante todos los cálculos.

3.4. Cálculo del Volumen del gas acumulado.

Según las presiones registradas en cada venteo, y la temperatura, manteniendo el volumen constante en la cámara, se obtuvieron los volúmenes de la tabla 6. Bajo la metodología explicada en la sección 2.1.10.

Tabla 6. Volúmenes producidos.

Ensayo	**Volumen Producido [Nm^3]**
M1 (Media)	**0,01410**
M2 (Media)	**0,02738**

3.5. Caracterización del gas obtenido.

Mediante las cromatografías realizadas durante las 3 fases del experimento se determinaron las composiciones molares de cada uno de los gases generados según 2.1.11. De cada serie se calculó el promedio de las composiciones del gas en cada una de las 3 fases y luego se obtuvo el promedio de las composiciones de dichas fases.

$$\%molar\,promedio = \frac{\%molar\,et1 + \%molar\,et2 + \%molar\,et3}{3} \qquad (7)$$

Tabla 7. Caracterización de los gases promedios.

Comp.	Unidades	Gas Inóculo (Serie 1)	Gas Orujo (Serie 2)	Especificaciones
H_2	%molar	0	0	0,5
N_2	%molar	4,859	1,240	0,01-5
CH_4	%molar	54,526	54,526	45-75
CO_2	%molar	33,374	41,824	25-55
H_2S	ppm	333	0	10-30000

Los gases promedio se los compara en la tabla 7 con un gas de referencia, el cual fue obtenido mediante un sustrato de efluentes agroindustriales por Dieter Deublein [18].

3.6. Cálculo Energético del gas obtenido

Se calculó la energía del gas generado según el punto 2.1.12.
Se obtuvo la siguiente tabla:

Tabla 8. Cálculo Energético por etapas y total.

Ensayo	Q 1ra Etapa [kCal]	Q 2da Etapa [kCal]	Q 3ra Etapa [kCal]	Q Total [kCal]
M1 (Media)	6,72	31,56	32,46	**70,74**
M2 (Media)	20,79	56,49	84,97	**162,24**

Según se observa en los resultados de las tablas, la producción media de biogás en la serie que contuvo orujo (M2) produjo una cantidad de energía mucho mayor que la otra serie (M1).
De acuerdo a estos valores, la cantidad de energía (promedio) producida por el inóculo es de 70,74 kCal y la del inóculo con orujo como sustrato es de 162,24 kCal.
Se observa que el aporte de 0,488 kg de orujo incrementa la energía obtenida en 91,5 kCal. Entonces la energía másica del orujo agotado es 187,5 kCal /kg.

La energía media obtenida se convierte a unidades de kWh y se la relaciona con el volumen producido (tabla 6) a fin de poder compararla con un gas de referencia, obtenido con efluentes agrícolas como sustrato [19].
Los resultados se pueden observar en la tabla 9.

Tabla 9. Energía específica obtenida.

Tratamiento	Volumen Producido [Nm^3]	Energía Obtenida [kCal]	Energía Específica [kWh/ Nm^3]	E. E. de referencia [kWh/ Nm^3]
M1 (Media)	0,01410	70.74	**7,28**	**5,5 a 8,2**
M2 (Media)	0,02738	162,24	**7,67**	

3.7. Cálculo Energético del residuo.

Luego de las 3 fases del experimento se abren los reactores y se extraen los líquidos residuales de las 2 series ensayadas a fin de determinar sus poderes caloríficos.
La serie 1 no posee contenido calórico, ya que los sólidos totales son despreciables.
La serie 2 presentó un poder calorífico significante con el cual se determinó la energía específica y la energía total generada por la cantidad de masa que contenían los reactores, y sus medias.

Tabla 10. Energía producida por los residuos.

Tratamiento	Energía Obtenida [kCal]	Poder calorífico [kCal/kg]	Masa residual [kg SS]
M1 (Media)	**0**	0	0,0224
M2 (Media)	**1475,45**	4784,67	0,30837

3.8. Aporte a la matriz energética provincial

3.8.1. Aporte energético del biogás producido.

El orujo degradado anaeróbicamente en las condiciones anteriormente mencionadas, produce biogás con una energía másica del orujo agotado de 187,5 kCal/kg.
Teniendo en cuenta que según el INV la disponibilidad de orujo es de 154.823.241 kg y que el consumo de gas natural cuyo poder calorífico es 9300 kCal/m^3 en una vivienda tipo en Mendoza es de 100 m^3/mes, es decir una demanda de 11.160.000 kCal anuales [20] [21] [22].

$$\text{Demanda energética por vivienda} = 100\frac{\text{m}^3}{\text{mes}\times\text{vivienda}} * 12\frac{\text{mes}}{\text{año}} * 9300\frac{\text{Kcal}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Demanda energética por vivienda} = 1{,}11\times10^7\frac{\text{Kcal}}{\text{vivienda}} \quad (8)$$

Según informó DERVIN S.A. la relación entre el orujo agotado y fresco es de 0,58. Por lo cual la disponibilidad energética es de:

$$\text{Demanda energética} = 154.823.241\text{Kg}_{\text{orujo}}\times 0{,}58\frac{\text{Kg}_{\text{orujo agotado}}}{\text{Kg}_{\text{orujo fresco}}}\times 187{,}5\frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}_{\text{orujo}}}$$

$$\text{Demanda energética} = 1{,}68\times10^{10}\text{Kcal} \quad (9)$$

$$\text{Viviendas} = \frac{\text{Disponibilidad energética}}{\text{Demanda energética por vivienda}} = \frac{1{,}68\times10^{10}\text{Kcal}}{1{,}11\times10^7\frac{\text{Kcal}}{\text{vivienda}}} \quad (10)$$

$$\text{Viviendas} = 1513\ \text{Viviendas}$$

Entonces mediante un cálculo matemático se observa que se podrían abastecer con biogás 1513 viviendas anualmente reemplazando el uso de gas natural.

3.8.2. Aporte energético de la masa residual.

De acuerdo a las determinaciones realizadas bajo la metodología descripta en 2.1.13 el poder calorífico de esta masa residual es de 4784,67 kCal/kg.
Si consideramos una disponibilidad de orujo fresco de 154.823.241 kg, teniendo en cuenta una relación fresco/seco de 0,58, se obtienen 89797479,78 kg de orujo seco a procesar.
De este orujo se obtiene la misma cantidad de kg de masa residual, por lo cual se puede obtener la siguiente energía:

$$\text{Energía Disp Masa residual} = 89797479{,}78\frac{\text{Kg}}{\text{año}}\times 4784{,}67\frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} = 4{,}30\times10^{11}\frac{\text{Kcal}}{\text{año}} \quad (11)$$

Esta energía puede ser utilizada en calderas de biomasa, primero deben pelletizarse y posteriormente se utiliza como combustible.
Se toma como referencia una caldera industrial, que se puede utilizar en invernaderos, secaderos de frutas, avícolas y otras industrias de la región. La caldera seleccionada es de la marca "ecobiotermica" modelo TRMH-1000, la cual tiene una capacidad de 1.000.000 kCal/h [23].

Teniendo en cuenta su capacidad, considerando un rendimiento del 100% y la energía disponible; se calcula la cantidad de calderas a suministrar energéticamente con la masa residual obtenida:

$$\text{Calderas} = \frac{4{,}30\times10^{11}\,\frac{\text{Kcal}}{\text{año}}}{8{,}76\times10^{9}\,\frac{\text{Kcal}}{\text{año}\times\text{caldera}}} = 49\,\text{calderas} \qquad (12)$$

4. Conclusiones

A partir de una digestión anaeróbica de inóculo solo se obtuvieron 0,01410 m^3 de biogás, con una composición de CH_4=54,526 %molar; CO_2=33,374 %molar; N_2=4,859 %molar, H_2S=0,311 %molar y el resto fueron componentes no detectados en la cromatografía gaseosa.
Mientras que en la digestión anaeróbica de inóculo y orujo agotado como sustrato se obtuvieron 0,02738 m^3 de biogás, con una composición de CH_4=54,526 %molar; CO_2=41,824 %molar; N_2=1,24 %molar, no se generó H_2S y el resto fueron componentes que no se detectaron en la cromatografía gaseosa.
Es decir, con orujo como sustrato se obtuvo más del doble de volumen, con composiciones semejantes y además no se generó H_2S.
Las características energéticas son semejantes, ya que la energía volumétrica obtenida en el gas producido con inóculo más orujo fue levemente mayor.
Al adicionar un 23% másico de orujo al inóculo ruminal se obtuvo un incremento en el volumen de biogás del 120%. Secundariamente mejoró la energía volumétrica, que además, superó la media de referencia.
En relación con la disponibilidad de orujo en la provincia de Mendoza se concluye que si se procesara todo el orujo agotado se podría generar energía como para abastecer 1513 casas mediante el biogás producido y 49 calderas industriales, mediante la energía generada con la combustión de la masa residual producida en los bioreactores.

Agradecimientos

A los profesores orientadores, MSc. Llamas e Ing. Jorge Fuentes Berazategui quienes contribuyen diariamente con sus conocimientos y experiencias para nuestra formación integral como futuros profesionales en el ámbito científico tecnológico.
Al Técnico Químico César Cáceres, Jefe Sección Cromatografía - Laboratorio Complejo Industrial Luján de Cuyo – YPF S.A, Mendoza, Argentina.
Al Ing. Roberto Peral, Ingeniería de Procesos, Derivados Vínicos S.A.
Al Sr. Rubén Arévalo, Encargado Planta Piloto de Biodiesel – UNCuyo.

A las siguientes dependencias académicas y sus profesionales, que colaboraron en aspectos técnicos-operativos:
Centro de Estudio de Ingeniería en Residuos Sólidos (CEIRS) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo (UNCUYO).
https://fing.uncu.edu.ar/Investigacion/institutos/ima/ceirs/centro-de-estudios-de-ingenieria-de-residuos-solidos
Grupo a-Oil, Laboratorio a-Oil, Institutos Multidisciplinarios (IMD) de la UNCUYO. https://algae-oil.com.ar/
Instituto de Energía (IDE) - IMD - UNCUYO.
http://www.imd.uncu.edu.ar/paginas/index/energia
Laboratorio de Análisis Químico de la Dirección de Estudios Tecnológicos e Investigaciones (DETI) de la Facultad de Ingeniería de la UNCUYO.

Referencias

[1]Rittman, Bruce E., y Perry L. Mc Carty. Biotecnología del medio ambiente, principios y aplicaciones. España: McGraw-Hill Interamericana de España, 2001.
[2]M.F. Demirbas a, Mustafa Balat b. "Avances recientes en la producción y tendencias de utilización" (en inglés) Conversión de energía y manejo, (en inglés) 2006
[3] Groppeli, E., y O Giampaolli. El Camino de la Biodigestión.Santa Fé: UNL-Proteger, 2007.
[4] Atem, A.D., Indiveri M.E., Llamas S. "Almacenamiento de biomasa para el mayor uso de la energía en la producción de Biogás" Revista internacional de la energía del Hidrógeno (en inglés) 2010: 6048-6051 .
[5] OIV. Situación del sector vitivinícola. Estadísticas vitivinícolas anuales., Francia: OIV, 2007.
[6] INV. «REGISTRO DE VIÑEDOS Y SUPERFICIE» Anuario de Cosecha, 2010.
[7], [20] INV, Departamento de Estadística y Estudios de Mercado. Estadísticas Cosecha 2011 - Form. CEC/05 CIU FORM 1814 CEC-04. Anuario, Mendoza: INV, 2011.
[8],[10] INV, Instituto Nacional de Vitivinicultura. Informe de Cosecha. Estadística Anual, Mendoza: INV, 2010.
[9]Anzorena, Ing. Agr. Carlos. Nota N°001 - D.P. y C.T./97. Nota, Mendoza: INV, 1997.
[11] Kamande, MBA Ph.D. George M. «Digestión Ruminal y Nutrición.» Congreso de Forrajes, 2006.
[12] APHA-AWWA-WPCF. Métodos Normalizados para análisis de aguas potables y residuales. Madrid: Díaz de Santos S.A., 1992.
[13] Foster-Carniero T., Pérez M., Romero L.I. "Influencia del contenido de sólidos totales e inóculo en el rendimiento de reactores anaerobios para el tratamiento de residuos de comedor" , Tecnología en Biorecursos (en inglés), 2008: 6994-7002.
[14] UOP, ASTM /. Análisis de gas refinados mediante cromatografía de gas. ASTM, 2002.
[15], [16] Blas, Dr. Luis. Agenda del Químico. Madrid: Aguilar, 1963.

[17] ASTM. ASTM D240 - Método de prueba estándar para el calor de combustión de hidrocarburos líquidos mediante bomba calorimétrica. Normas Estandarizadas internacionales., ASTM, 2009.
[18], [19] Dieter Deublein, Angelika Steinhauser. Biogás a partir de residuos y recursos renovables (en inglés), Alemania: Wiley-VCH, 2008.
[21] ENARGAS. Informe Anual de Gas entregado por área de licencia. Anuario, Buenos Aires: Enargas, 2010.
[22] Mitchell, Jorge Alberto. Consumo de energía para calefacción en el hábitat social de Mendoza: Un caso de estudio. Avances en Energía Renovables y Medio Ambiente, Mendoza: Asades, 2005.
[23] Ecobiotermica. Calderas de biomasa. Catálogo Industrial, Albacete, España: Ecombiotermica, s.f.

Evaluación de los Niveles de Radiación SAR para Dispositivos de Comunicación Inalámbrica Portátiles

José Balacco[a], Ricardo Cesari[a], Edgardo Sparacino[a], Martín Wiens[a], Carlos María Puliafito[b]

[a] Grupo LECER , Facultad Regional Mendoza- Universidad Tecnologica Nacional Rodriguez 273- (5500) Mendoza, Argentina bacoom@gmail.com

[b] Universidad de Mendoza, Facultad de Ingeniería, Instituto de Alta Frecuencia y Microondas, Paseo Emilio Descotte 750, (5500) Mendoza, Argentina

Resumen. La Evaluación de la radiación electromagnética emitida por dispositivos de comunicación inalámbricas portátiles, resulta mas compleja que la determinación de la energía producida por las estaciones bases, porque estos aparatos están muy próximos al cuerpo humano. La evaluación experimental es efectuada involucrando el promedio estimado de absorción del tejido humano, mediante la Tasa de Absorción Específica [SAR_{estimada} *inducida*].. Se trata de un método factible y que se presenta en esta investigación para la parametrizacion de un teléfono celular, midiendo la energía emitida por el aparato y procesando esta energía para que sea representativa de la dosis recibida por el usuario; y luego, ésta, compararla con un umbral de las restricciones de la Norma. El campo de aplicación es en la telefonía móvil en comunicaciones de voz y comunicaciones de datos y todo tipo de dispositivos portátiles y terminales portátiles de comunicación inalámbrica. El resultado de las pruebas realizadas en el Laboratorio LECER, sobre radiación celular, ofrecen una metodología de medición reproducible y moderada al determinar comparativamente los límites SAR para dispositivos inalámbricos portátiles y móviles que se utilizarán con la parte radiante del mismo a una distancia menor de 20 cm. de la cabeza o cuerpo humano.

Palabras Clave: Radiación celular, niveles de SAR, método experimental de mediciones.

1 Introducción

En el proyecto de investigación 25/J078, que se desarrolla en el laboratorio LECER, se realiza la evacuación de niveles de exposición producidos por los dispositivos, fundamentalmente teléfonos celulares y estudios de dosimetría que permitan obtener conocimiento de la exposición humana a campos de radiofrecuencia causados por dispositivos de comunicación inalámbrica portátiles en comparación con los limites establecidos por las normas.

El objetivo de la investigación, se refiere a determinar la tasa de absorción de energía específica [SAR], inducida por estos dispositivos de comunicaciones, midiendo la energía que emiten y estableciendo los medios para evaluar la dosis de absorción de la radiación no ionizante que producen, en los tejidos biológicos del usuario, en condiciones normales de uso, teniendo en cuenta la proximidad o no-proximidad de la cabeza al aparato cuando está funcionando; es decir, midiendo su

energía radiada y efectuando la evaluación de la dosis que absorbe el cerebro y compararla con las restricciones dadas por las normas internacionales.

La energía electromagnética causada por los teléfonos celulares, y "absorbida por el tejido humano", está directamente relacionada con los campos eléctrico y magnético "internos", dentro de un cuerpo [1]. Son muy distintos de los "incidentes", porque dependen del tamaño y la forma del cuerpo, de sus propiedades eléctricas, de su orientación respecto a los campos incidentes y de la frecuencia. Sin embargo, puesto que la medida directa de los campos incidentes es mucho más fácil de realizar que la de los campos internos, las nuevas técnicas dosimétricas resultan esenciales para relacionar los campos incidentes con los campos internos, que son los que producen el posible efecto de absorción de energía.

La gran dificultad de medición de los campos internos en el cuerpo humano, han desarrollado científicamente, métodos de simulación numéricos de alta complejidad y cuyos resultados pueden utilizarse para generar formulas de aproximación que permitan, desde una medición directa de los campos eléctricos emitidos por los dispositivos, representar una dosis aproximada inducida de energía recibida por el usuario [2]. Esta es la razón por la que se ha adoptado este último criterio y propuesto para el desarrollo de esta investigación.

La justificación del proyecto propuesto, se basa en la necesidad de evaluar los niveles de referencia dictados por las normativas internacionales de exposición humana a campos de radiofrecuencia, producidos por dispositivos de comunicación inalámbrica portátiles, en el laboratorio LECER, de la Facultad Regional Mendoza, ámbito de experimentación del mismo.

La mayoría de los documentos específicos establecen los límites de seguridad en términos de límites básicos y niveles de referencia. Los límites básicos se refieren a cantidades fundamentales que determinan la respuesta fisiológica de las personas a los campos electromagnéticos y se aplican en situaciones en las que el cuerpo humano está inmerso en el campo electromagnético. Como las cantidades básicas son difíciles de medir directamente, la mayoría de los documentos proporcionan niveles derivados llamados de referencia, para el campo eléctrico, el campo magnético y la densidad de potencia. Los límites de referencia se aplican a situaciones en las que el campo electromagnético resulta influenciado por la presencia de un cuerpo. [3]

Los niveles de referencia son obtenidos, a partir de las restricciones básicas mediante el uso de modelos físicos, matemáticos y por extrapolación de los resultados de las investigaciones científicas de laboratorio en frecuencias específicas. Respetar los niveles de referencia asegurará que se respeten las restricciones básicas relevantes. Si los valores medidos o calculados exceden los niveles de referencia, no necesariamente son excedidas las restricciones básicas. Sin embargo, siempre que un nivel de referencia sea excedido, es necesario evaluar el cumplimiento de la restricción básica relevante y determinar si son necesarias medidas de protección adicionales [4].

1.1 La densidad de flujo de potencia S (w/cm^2).

Es una medida de la energía que "*incide*" sobre una persona sumergida en un campo electromagnético de radiofrecuencia. Esta magnitud se usa para cuantificar el "nivel

de radiación" aportado. La potencia que radia una antena se distribuye en el espacio según la característica de radiación de la misma. Si por simplicidad, suponemos que la antena es isotrópica, es decir que radiaría en forma esférica, de manera similar a un globo esférico que se va inflando, la potencia radiada se distribuye sobre la superficie de ese globo, de modo que a través de una superficie de $1m^2$, situada a una distancia d (en metros) de la antena, en el centro del globo fluye una densidad de flujo de potencia de [5]:

$$S = \frac{PIRE}{4\pi \cdot d^2} \quad . \quad [w/m^2] \, . \tag{1}$$

La densidad de flujo de potencia [S] también se puede expresar en mw/cm^2, donde [mw] representa milivatios. La ecuación (1) se basa en una característica isotrópica de radiación, es decir, esférica. Como la ganancia utilizada para calcular la PIRE (potencia irradiada equivalente) está basada en la referencia al isotrópico, el empleo de esta equivalencia, permite tratar a la antena real como si fuera isotrópica en la zona de interés, para telefonía celular, que es la zona definida por la característica o diagrama de radiación y que se designa también como zona de cobertura. Esta magnitud se usa para cuantificar la radiación no ionizante, en lo que se designa campo lejano de la antena y que, para fines prácticos, se tiene a partir de una distancia de 10 longitudes de onda de esta. Para la banda de 800 MHz esta distancia es aprox. de 3,2 metros y de 1,6 metros para la banda de 1900 MHz. A distancias menores se considera que las condiciones que prevalecen son las de campo cercano, como en los aparatos inalámbricos portátiles cerca de la cabeza.

1.2 Tasa de absorción específica SAR (w/kg).

Debido a que, con la proliferación de los teléfonos móviles la gente utiliza el aparato con la antena literalmente pegada a la cabeza (a menos de 5cm del tejido cerebral), se hizo necesario definir otro parámetro que exprese cuantitativamente la cantidad de energía absorbida por el tejido vivo. Este parámetro se designa como Índice o Tasa de Absorción Específica [SAR]. La tasa de absorción determina la potencia "absorbida" por unidad de masa de tejido corporal, cuyo promedio se calcula en la totalidad del cuerpo entero (CE) o en partes de éste y se expresa en vatios por kilogramo (w/Kg.).

La Tasa de absorción específica, o SAR, es proporcional al campo eléctrico cuadrático, o sea, SAR (w/Kg) = k. E^2 y si llamamos $k = \sigma/\rho$, la SAR se expresa como [6]:

$$SAR = \frac{\sigma |E|^2}{\rho} \quad . \text{(w/kg)} \tag{2}$$

Donde **σ** es la conductividad del tejido biológico expresada en Siemens por metro (S/m), **ρ** su densidad en (Kg. $/m^3$) y **E** la intensidad de campo eléctrico en (V/m).

La SAR ha sido admitida en todo el mundo como una magnitud dosimétrica y en muchos países es el parámetro básico de sus estándares y directivas de seguridad.

En las Normativas vigentes se mencionan las restricciones básicas en lo que se refiere a los límites de exposición a las antenas radioeléctricas, en lo que se refiere a la SAR y establece para la banda de frecuencias de 100 KHz a 10 GHz:

- 0.08 w/Kg. como valor medio de la SAR en cuerpo entero CE.
- 2 w/Kg. para la radiación localizada en cabeza y tronco.
- 4 w/Kg. para la SAR localizada en los miembros (extremidades).

Todos los valores de la SAR deben ser promediados a lo largo de un período cualquiera de 6 minutos y la masa promediada de la SAR localizada, constituye una porción cualquiera de 10 g de tejido contiguo con propiedades eléctricas casi homogéneas.

Los límites a la exposición de las radiaciones no ionizantes producidas por dispositivos inalámbricos portátiles, son basados en esta SAR promedio inducida en el cuerpo humano (Specific Absorption Rate). La Norma ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) en el año 1998, estableció los niveles SAR de exposición para los profesionales del área (ocupacional) y público en general (poblacional), con factores de seguridad de 10 y 50 veces respectivamente, en relación al umbral para efectos irreversibles considerados de 4 W/kg [7].

Este estándar ofrece una metodología de medición reproducible y conservadora al determinar la conformidad de los límites SAR para los dispositivos inalámbricos portátiles y móviles que se utilizarán con la parte radiante del dispositivo a una distancia menor de 20 cm de la cabeza o cuerpo humano.

El estándar se aplica a los dispositivos que se utilizan en una zona cercana al cuerpo humano, es decir cuando se sostienen en la mano o frente al rostro, o se instalan en el cuerpo como dispositivos independientes, accesorios de transmisión, o incorporados a la vestimenta. Se aplica a la exposición de radiofrecuencia en un rango de 30 MHz a 6 GHz y puede utilizarse para evaluar las exposiciones concurrentes de diversas fuentes de radiofrecuencia. Los tipos de dispositivos incluyen, entre otros, a los teléfonos móviles, teléfonos inalámbricos, micrófonos inalámbricos, dispositivos auxiliares de difusión y elementos radioeléctricos de diversos tamaños de computadoras [8].

Las pruebas de conformidad experimentales para un teléfono móvil, suelen hacerse con maniquíes dieléctricos llenos de líquido simulando los tejidos humanos. Se cree que estas pruebas pueden ser evaluadas también, mediante un plano con líquido dieléctrico que simula el cuerpo, como lo define en las secciones correspondientes la IEC (Comisión Electrotécnica Internacional - SEC 62209 parte 2). Existen otros estudios cuyo objetivo principal es evaluar la tasa de absorción específica SAR cuando se irradia cerca con una antena de dipolo de media onda en el cuerpo y compararlo con la SAR obtenida de un plano lleno con los líquidos del tejido simulado, propuesto por la IEC y la FCC (Federal Communications Commission, 1998). Este valor describe la cantidad de energía radiada y que es absorbida por una cierta masa de un tejido. Los líquidos simulantes de tejido, para ser científicamente válidos, la SAR debe sobreestimar ligeramente la radiación en los modelos derivados de los seres humanos reales, cubriendo así el peor de los casos de exposición [9].

La norma internacional IEC-62209, tiene el objetivo de medir la exposición humana a partir de dispositivos capaces de transmitir los campos electromagnéticos destinados a ser utilizados en una posición cerca del cuerpo humano. La norma se aplica para la exposición a la radiofrecuencia en el rango de frecuencia de 30 MHz a 6

GHz a cualquier dispositivo de comunicación inalámbrica con la parte radiante del dispositivo a distancias de hasta 20 cm. del cuerpo, es decir, cuando se mantiene en la mano o en frente de la cara, montado en el cuerpo, combinado con la transmisión de otros dispositivos que no sean de transmisión o accesorios. En los distintos puntos de la norma se dan definiciones y la evaluación de las siguientes categorías generales de los tipos de dispositivo incluidos en la misma:"montados en el cuerpo", "con el apoyo del cuerpo", "de escritorio, delante de la cara", "de mano", "portátil", "montado en las extremidades", "de múltiples bandas", "empuje para hablar","integrado a la ropa", [10].

En la Argentina el valor del SAR localizado es el establecido por ICNIRP que recomienda como valor límite 1,6 w/Kg promediado sobre cualquier tejido de 1 g de masa (0,016 W absorbidos en cualquier masa de 10 g), en 6 minutos de aplicación. La relación práctica considerada aquí frecuentemente es que el SAR localizado alcanza valores de entre 10 a 20 veces el SAR promedio del cuerpo entero. Si el SAR Prom CE = 0,08 W/Kg, entonces el SAR Localizado es 20 * *SAR Prom CE = 1,6 W/Kg*.

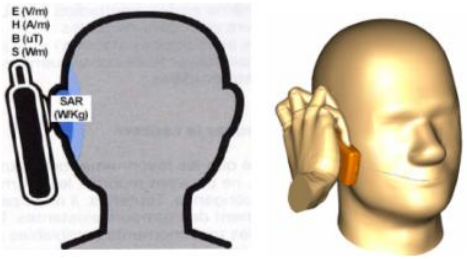


Fig. 1. Posición de los teléfonos evaluados localizados en la cabeza.

El impacto de un SAR dado, estará condicionado por la capacidad termorreguladora del sistema en el cuerpo humano. El Régimen Metabólico Basal [RMB] es una medida de la producción de energía endógena. La magnitud del RMB del ser humano tiene una correlación bien establecida con la masa corporal en [Kg] y es igual a 3,86 x $m^{-0,24}$ [w/Kg], donde **m** representa la masa corporal en Kg Y que para el ámbito de peso corporal humano se considera, entre 2 Kg [bebé], 15 Kg [niño] y 75 Kg [adulto] [11].

La normalización de las mediciones, el método de cálculo para evaluar la exposición de los seres humanos a los campos electromagnéticos y la parametrizacion de los dispositivos de comunicación inalámbricos evaluando la energía que producen como así la dosis de radiación absorbida por las personas, redunda en un beneficio importante al grupo de investigación estableciendo criterios "validos" y una técnica simple de comparación con las restricciones dadas por la normas internacionales.

Para calcular el SAR, debido a que el equipo de medición EMR-300 presenta varias limitaciones, deben hacerse una serie de consideraciones para la estimación del peor caso. Las dos mayores limitantes del equipo para el cálculo del SAR son:

a) No permite identificar las frecuencias de las radiaciones medidas. Esto representa un problema dado que tanto la conductividad es función de la frecuencia.

b) No permite determinar la polarización de la onda debido a que calcula el valor efectivo (RMS) del campo en cuestión. Dado que los valores de campo eléctrico internos cumplen con las condiciones de frontera, es importante determinar cual es el

valor del campo eléctrico normal y paralelo a la superficie del cuerpo para su cálculo.

El cálculo de la SAR puede realizarse a través de la ecuación (2), utilizando la conductividad σ de los tejidos a distintas frecuencias, la densidad de masa ρ de los mismos y el valor de campo eléctrico E interno obtenido a través de las condiciones de frontera y los valores de campos eléctricos externos. Un aspecto muy importante cuando se utiliza la SAR, es que este parámetro no puede medirse directamente, ya que para ello sería necesario introducir una sonda detectora en el tejido vivo, lo que no es posible en el caso de seres humanos. Otra complejidad adicional de este parámetro es que el tejido biológico de un organismo vivo no es homogéneo ni uniforme, ya que tanto la conductividad como la densidad varían mucho de un punto a otro. Para medir la SAR con exactitud se deben utilizar métodos que permitan determinar con precisión los valores de campo eléctrico interno. Estos métodos incluyen implantes de puntas de prueba en el tejido humano para medición de campos eléctricos internos, métodos basados en calorimetría y métodos basados en el cálculo de la corriente interna total [12].

2 Materiales y Métodos

2.1 Consideraciones generales para la determinación experimental

Las limitaciones apuntadas en la sección anterior obligan a realizar suposiciones para estimar valores máximos de la SAR dependiendo de distintos valores de frecuencia y polarización de onda. Realizando un análisis de la ecuación (2), se puede determinar que la SAR es máxima cuando: a) La conductividad del tejido es mayor, b) El campo eléctrico interno sea mayor. Por ello, es necesario efectuar las siguientes consideraciones:

- Utilizar valores de conductividad en función de la frecuencia para un rango de 1 MHz a 10 GHz.
- Elegir los tejidos musculares y óseos por ser los valores extremos para la conductividad del cuerpo, siendo el muscular el de mayor conductividad y el óseo el de menor conductividad. Los valores de conductividad utilizados son 0,4 y 0,5. Los valores de la densidad de masa para un tejido muscular y óseo de una persona adulta son en promedio 360 y 550 kg/m^3 [13].
- Los valores del campo eléctrico interno (en el tejido) utilizados, son los mismos que los de campo eléctrico externo (en el aire), dado que para la polarización E se cumple la ecuación de frontera: E1p =E2p [10].
- Se considera, además, que la SAR tiene su valor máximo en la frontera del tejido según lo establece la IEEE en el estándar C95.3-1991, página 24: En una esfera (como la cabeza humana) o cilindro (como en una pierna o brazo) pueden ocurrir resonancias, causando grandes gradientes en las distribuciones de la intensidad de campo eléctrico internos con puntos localizados cerca del centro de la esfera y ondas estacionarias a través del resto del volumen sujeto a exposición. Aún así, la SAR inducido en la superficie es típicamente mayor y es usualmente el valor máximo del SAR localizado.

Estas consideraciones facilitan los cálculos y nos dan una idea de la magnitud del SAR estimado para las condiciones medidas en las distintas ubicaciones. Aún así los cálculos son valores medios representativos para dos tejidos del cuerpo humano, pero no representan la SAR en un punto real del mismo. Para obtener el SAR en un punto del interior del ser humano sólo son válidas mediciones utilizando métodos apropiados donde sea posible calcular la conductividad exacta del tejido en función de la frecuencia y valores reales de campos eléctricos internos

Los límites generalmente se expresan como valores eficaces de una onda continua promediada a lo largo de un periodo definido. Por ejemplo, los límites de referencia en la norma ICNIRP, deben promediarse a lo largo de cualquier periodo de 6 (seis) minutos en frecuencias por debajo de 10 GHz y a lo largo de un periodo de 68/f, en 1,05 minutos en frecuencias superiores a 10 GHz. Por lo tanto, en el caso de señales fuertemente dependientes del tiempo, puede que sea necesario elaborar los resultados de la medición con procedimientos de postprocesamiento a fin de compararlos con el límite [14] .

Las pruebas de laboratorio para estimar el nivel de radiación a la que se ve expuesta una persona al realizar una breve llamada de celular, se pueden efectuar con el procedimiento aplicado por José Luis García García, [7], que determina un SAR *estimado* inducido [$SAR_{estimado}$ inducido].

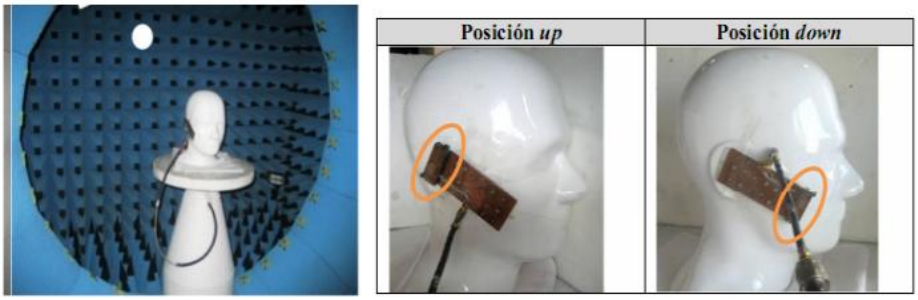


Fig. 2. Condiciones experimentales de la toma de mediciones

2.2 Procedimiento que determina el SAR estimado inducido.

En el procedimiento utilizado por J. L. García[1], adoptado en este trabajo, se consideran las siguientes condiciones de la toma de mediciones (Fig. 2) y el cálculo de la Tasa de Absorción Específica estimada inducida: (a) Características de la radiación, dispositivos de comunicación inalámbrica portátiles, teléfono celular; (b) Distancia entre elementos, la punta de prueba se coloca lo más cercanamente posible al celular simulando la distancia entre el mismo y la cabeza del usuario. La medición del campo eléctrico se realiza con el instrumento EMR-300 (fig. 3); (c) Tiempos breves utilizados en las mediciones para disminuir los costos de la experimentación. Esto permite determinar conclusiones válidas sin utilizar el promedio de 6 minutos,

[1] José Luis G. García. Catedrático de Teoría de la Señal y Comunicaciones Departamento de Ingeniería de Comunicaciones Universidad de Cantabria, Santander, España. Procedimiento para el Estudio y Medidas de los niveles de radiación celular, Diciembre de 2001.

recomendado en las normas. Se utiliza un tiempo de 40 o 60 segundos de transmisión y posteriormente, se determina el promedio del campo eléctrico, utilizando la definición que dan los estándares de la IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctrico y Electrónico sección, apart. B.1.4 del apéndice B):

$$\overline{E} = \frac{1}{T}\int_0^t E(t)\cdot dt \ . \qquad (3)$$

Este es el nuevo valor medio de **intensidad de campo**, que establece la Norma IEEE Sección B.5 apéndice B, para procedimientos de cálculo del SAR a partir de campos eléctricos externos. Dice también: "Como consecuencia, el SAR inducido estimado en una persona cerca de una fuente de radiación, es extremadamente difícil de apreciara través de datos de campos eléctricos externos. Esta información sólo puede proveer la base para estimaciones aproximadas del valor máximo espacial del SAR útiles para establecer medidas temporales de protección en una situación de exposición puntual."

Fig.3. Instrumental EMR 300 utilizado para las mediciones

Para estimar el índice específico de absorción, en el método propuesto, se utiliza la llamada tasa de absorción de energía inducida [SARestimado inducido], puesto que puede medirse el campo eléctrico E_{ext} en el aire, es decir, en el exterior de las personas y se hace una aproximación suponiendo que el tejido biológico es homogéneo y uniforme. La aproximación, que se usa aquí como indicativo y que funciona razonablemente bien para la estimación, es la que asume una conductividad uniforme de σ = 0.5 S/m y una densidad de ρ = 360 Kg/m3, con una constante dieléctrica de 70, para el tejido vivo, propuesto por José Luis García García (2001) [13]. Usando estas cifras, se establece una relación valida entre el campo eléctrico externo Eext y la SARestimado inducido, mediante la siguiente expresión:

$$SAR_{estimado}Inducido = k * |E|^2 \ \text{(w/kg)} \ . \qquad (4)$$

Donde $k = \sigma/\rho$, por lo tanto, k = 0,5 (S/m) / 360 (Kg/m^3) = 0,00139 (S. m^2 / Kg), lo que significa:

$$SAR_{estimado}Inducido = 0{,}00139 * |E|^2 \text{ (w/(kg)} . \quad (5)$$

Donde E está expresado en V/m.

Ecuación que permite estimar bastante bien la SAR inducido, producido por el dispositivo trasmitiendo señal lo más cercanamente posible a la punta de prueba simulando la distancia entre el mismo y la cabeza del usuario. La medición del campo eléctrico externo se realiza con el instrumento EMR-300.

Todos los valores de la SAR deben ser promediados a lo largo de un período cualquiera de 6 minutos y la masa promediada de la SAR localizada, constituye una porción cualquiera de 10 g de tejido contiguo con propiedades eléctricas casi homogéneas.

Utilizando la fórmula (5), para el valor más restrictivo [SAR $_{Prom}$ CE = 0,08 w/kg], la densidad de flujo de potencia equivalente resulta de S = 1.28 w/m^2 (0,128 mw/cm^2) y un campo eléctrico de E = 7,5 V/m.

3 Resultados.

Para las pruebas de Laboratorio se utilizó un teléfono celular Motorota 3690, de tecnología GSM, es decir a una frecuencia de 1900MHz y se realizaron las mediciones con las consideraciones anteriores en un tiempo t = 40 seg con el instrumento [15].

Los resultados obtenidos de la medición utilizando el software del EMR-300 (Fig 4), fueron los descriptos en la Tabla 1.

Tabla 1. Resultados de la prueba intensidad de campo eléctrico en V/m.

t(seg)	horario	x	y	z	EFE
0	18:04:47	2,16	0	0	2,16
6	18:04:51	1,89	0	0	1,89
12	18:04:55	4,59	13,77	6,93	16,1
18	18:04:59	3,96	10,53	5,22	12,4
24	18:05:03	1,89	0	0	1,89
30	18:05:07	1,62	0	0	1,62
36	18:05:11	1,89	0	0	1,89
42	18:05:15	1,26	0	0	1,26

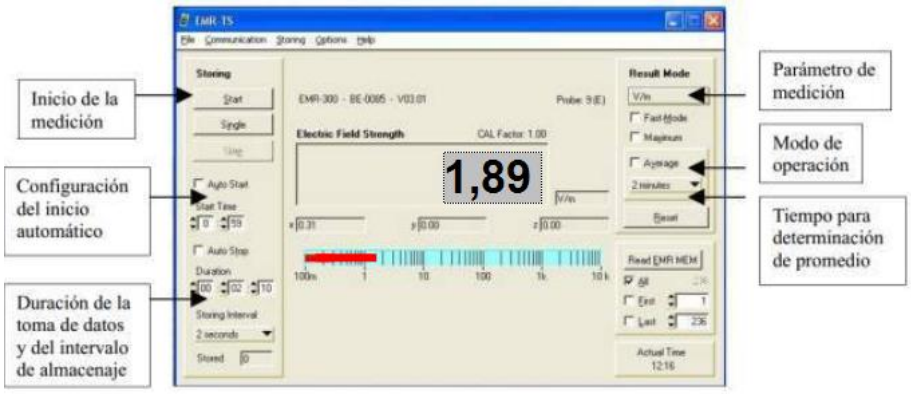


Fig. 4. Visualización de la medición en pantalla del instrumento EMR 300.

Con estos datos obtenidos se realiza el gráfico de la Intensidad del Campo Eléctrico en función del tiempo de transmisión y se calcula una función equivalente a través de un polinomio de orden 6 para determinar el promedio:

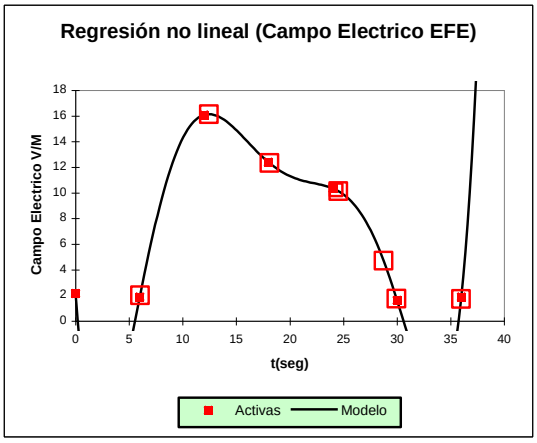


Fig. 5. Gráfico de la Intensidad del Campo E = f (t seg), $R^2 = 0,99$

$$E_{efe} = 2,159 - 11,51\ t^1 + 3,62\ t^2 - 0,38\ t^3 + 0,01876\ t^4 - 0,0004375\ t^5 + 0,00000391\ t^6$$

Luego con el polinomio, se calcula la integral de la ecuación (4) IEEE sección B.1.4 del apéndice B:

$$y = \frac{1}{36}\int_0^{36}\left(2,159 - 11,51\cdot x^1 + 3,62\cdot x^2 - 0,38\cdot x^3 + 0,0187\cdot x^4 - 0,000437\cdot x^5 0,0000039\cdot x^6\right) \quad (6)$$

Siendo $\mathbf{E_{ext} = 5,96\ V/m}$, entonces, la SAR $_{estimada}$ inducida y será según la ecuación (5):

$\mathbf{SAR}_{estimada}\ \mathbf{inducida = 0,00139\ x\ E^2_{ext}} = 0,00139 \text{ x } (5,96)2 = 0.049$ (w/Kg).

Este valor se encuentra muy por debajo del valor límite que es de 1,6 w/kg.

El máximo campo E_{ext} que los aparatos podrían emitir para la SAR límite de 1,6 w/Kg seria: SAR = 0,00139. $E^2_{ext} = 1,6$ w/kg, por lo tanto es,

$E^2_{ext} = 1,6/0,00139 = 1.151$ y el E_{ext} máx. = 33,927 V/m = 34 V/m. [16].

4 Conclusiones

La manera de evaluar los parámetros establecidos para verificar la normativa de seguridad es simple y factible de ejecutar disponiendo de instrumental certificado. La obtención de la tasa de absorción específica inducida al tejido humano y estimada por el flujo de potencia radiado en los dispositivos de comunicación inalámbricos, es una alternativa válida puesto que puede medirse el campo eléctrico E_{ext} en el aire, es decir, en el exterior de las personas y se hace una *aproximación* suponiendo que el tejido biológico es homogéneo y uniforme.

Se trata de un método factible y que se presenta en esta investigación para la parametrizacion de un teléfono celular, midiendo la energía emitida por el aparato y procesando esta energía para que sea representativa de la dosis recibida por el usuario; y luego, ésta, compararla con un umbral de las restricciones de la Norma.

Como consecuencia, el SAR inducido estimado en una persona cerca de una fuente de radiación, es extremadamente difícil de apreciar través de datos de campos eléctricos externos. Esta información sólo puede proveer la base para estimaciones aproximadas del valor máximo espacial del SAR útiles para establecer medidas temporales de protección en una situación de exposición puntual."

El campo de aplicación es en telefonía móvil y todo tipo de dispositivos portátiles y terminales portátiles de comunicación inalámbrica. El resultado de las pruebas realizadas en el Laboratorio de Estudios en Comunicaciones, Espectro y Radio [LECER] de la Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional, sobre radiación celular, ofrecen una metodología de medición reproducible y moderada al determinar comparativamente los límites SAR para teléfonos celulares que se utilizan con la parte radiante del mismo a una distancia menor de 20 cm. de la cabeza o cuerpo humano.

Agradecimiento

Este trabajo está financiado parcialmente por el Proyecto de Investigación acreditado PID- Cod. 25/J078- FRM-UTN. 2012-2014.

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Universidad Tecnológica Nacional por permitir la homologación de este proyecto y su financiamiento y desarrollo.

Referencias

1. Johnson, C. C., and A. W. Guy: Nonionizing Electromagnetic Wave Effects in Biological Materials and Systems, Proceedings of the IEEE, Vol. 60, No. 6, June, pp.692–718. (1972).
2. Nilles j,: Parametrizacion de dispositivos de comunicación inalámbrica portátiles ,SC (2001).
3. Guy, A. W.: Analysis of EMP Induced Currents in Human Body by NEC Method of Moments, Proc. of the Twelfth Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Philadelphia, PA, November 1–4, pp. 1547–1548. (1990).
4. Norma Icnir: Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)", Health Physics, Vol. 79, No. 4, pp. 494-522, (1998).
5. Hildeberto Jardón A., Fredy Mojica R., Marco A., Hernández P.: Determinación de la energía absorbida en el cuerpo humano por campos electromagnéticos. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN. Departamento de Ing. Eléctrica, Sección de Comunicaciones Av. IPN 2508, 07300 México, DF, México (1996).
6. Gandhi O. P. Chen Y J. Y.: Electromagnetic Absorption In The Human Head From Experimental 6 Ghz handheld Transceivers en IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, vol. 37, nº 4, pág. 547-558; (1995).
7. Tude E: Radiación en un sistema Celular. TELECO, España. (2006.).
8. Resolución Nº 3690/CNC/2004-Comisión Nacional de Comunicaciones CNC.: Procedimiento de medición de las RNI en los sistemas de telecomunicación a radiofrecuencias comprendidas entre 100 KHz y 300 GHz" Argentina (2000)
9. Franco S, Muñoz S, Ruiz S, Pantoja M,: Medición de radiaciones en seres vivos". Revista Investigación y Ciencia, España, (2006).
10. Portela A.., Skvarca J. J,. Matute Bravo, E. B. Loureiro,: Manual de estándares de seguridad para la exposición a radiofrecuencias comprendidas entre 100 KHz y 300 GHz y Radiación de radiofrecuencias; consideraciones biofísicas, biomédicas y criterios para el establecimiento de estándares de exposición, Volúmenes I y II respectivamente de Prospección de radiación electromagnética ambiental no ionizante. Ministerio de Salud y Acción Social. Resolución 202 (1995)
11. Bianucci Paola.: Problemática Social y Sanitaria del Uso de TM Módulo 6 Maestría en Gestión Ambiental UNNE – Noviembre/diciembre (2001).
12. Report 119-NCRP.: A Practical Guide To The Determination of Human Exposure To Radiofrequency Electromagnetic Fields. NCRP, National Council on Radiation Protection and Measurements; Bethesda, MD, (1994).
13. García García J .L., Pérez Vega C., Herrán Ontañón L.F., Lobeira Rubio M., Barquinedo Gómez C, González Solana J.C.: Estudio y medidas de los niveles de radiación electromagnética emitidos por estaciones de telefonía móvil en la ciudad de Santander. Informe para el ayuntamiento de Santander. Departamento de Ingeniería de Comunicaciones Universidad de Cantabria, Santander, España (2001).
14. Health Canada.: Limits of exposure to radiofrequency fields at frequencies from 10 kHz - 300 GHz" Safety Code 6, Canada Communication Group, (1999).
15. EMR-300. Radiation Meter.: Operating Manual. Narda Safety Test Solutions For isotropic measurement of electromagnetic fields. Sw. (2005)
16. Sebastián, J. L. Muñoz, S Sancho M. Miranda J. M.: Analysis of the influence of the cell geometry, orientation and cell proximity effects on the electric field distribution from direct rf exposure. en Physics in Medicine and Biology vol. 46, n. o 1, págs. 213-225; (2001).

Desarrollo de un Monitor Abierto de Calidad del Aire (MACA)

Pablo Cremades[a], Fernando Castro[a], Rafael Fernandez[b], Ruth Clausen[c], Enrique Puliafito[a]

[a]Grupo de Estudios Atmosféricos y Ambientales, Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional, Rodriguez 273, Mendoza, Argentina.
pablocremades@gmail.com

[b]Instituto de Ciencias Básicas, Universidad Nacional de Cuyo

[c]Laboratorio de Análisis Instrumentales, DETI, Facultad de ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo

Resumen. El monitoreo de calidad de aire es una actividad onerosa y en general las autoridades ambientales locales no cuentan con los recursos económicos necesarios para hacerlo. Además, la coyuntura económica y política en la que se encuentra la Argentina complica más el acceso a tecnologías importadas para el estudio de la contaminación atmosférica. Frente a este problema, las tecnologías libres de licencia y patentes desarrolladas en comunidad aparecen como una oportunidad para pensar soluciones adaptadas a la disponibilidad y las necesidades locales en distintos ámbitos, en este caso particular al de la contaminación atmosférica. La propuesta de este trabajo consiste en desarrollar un equipo portátil y autónomo para monitoreo continuo de calidad de aire urbano, de bajo costo de construcción, operación y mantenimiento basado en hardware libre y sensores electrónicos de óxidos metálicos. En esta primera versión, el equipo es capaz de medir ozono, además de algunas variables atmosféricas como temperatura, humedad y presión. Este trabajo describe en detalle el equipo y muestra los resultados obtenidos en 3 campañas de medición en la ciudad de Mendoza. Estos datos se utilizaron tanto para evaluar el desempeño del equipo como para calibrar el sensor de ozono.

Palabras Clave: hardware libre, calidad de aire, sensores de óxido metálico.

1 Introducción

El monitoreo de contaminantes atmosféricos responde a objetivos científicos y de gestión ambiental íntimamente interrelacionados. Conocer la concentración de los contaminantes es indispensable para comprender los procesos fisicoquímicos que estos experimentan una vez emitidos a la atmósfera y, por lo tanto, lo es también para establecer su relación con los efectos que pueden producir en el ambiente que, por supuesto, incluye al hombre. Es a partir de conocer esta relación entre concentraciones y efectos que se establecen estándares para definir la calidad del aire.
En los países europeos, EEUU y Japón es donde primero se han detectado los efectos nocivos de su desarrollo material en la salud del hombre y el ambiente. Es allí también donde se han tomado medidas para protegerlos y se han establecido los primeros estándares de calidad del aire.

La evolución y la incorporación de técnicas y tecnologías de monitoreo han permitido el seguimiento y control de estos estándares y, a la vez, su continua actualización. Así, junto con los estándares, se han establecido métodos, denominados de referencia por la Environmental Protection Agency (EPA), que permiten asegurar la exactitud y precisión de los sistemas de monitoreo. Sin embargo, establecer una red de monitoreo utilizando estos métodos, o sus equivalentes, tiene costos iniciales muy elevados y requiere de una cantidad significativa de recursos adicionales para el mantenimiento y la calibración. Es decir que, aún en estos países, existe la necesidad de complementar las costosas tecnologías de monitoreo con alternativas baratas y flexibles para poder incrementar la densidad de las redes de monitoreo [1].

La disponibilidad comercial de nuevos sensores de bajo costo y pequeñas dimensiones, capaces de medir en el rango de las partes por billón (ppb) ha permitido su evaluación e incorporación en sistemas de monitoreo desarrollados por universidades [2, 3], compañías privadas [4, 5] y comunidades Do It Yourself (DIY) conectadas al movimiento de hardware abierto [6, 7]. Este tipo de desarrollos abiertos abre una serie de nuevas posibilidades para la ciencia en general [8] y para el monitoreo de la calidad del aire en particular, permitiendo que organizaciones no gubernamentales y comunidades de individuos puedan monitorear y publicar el estado de la calidad del aire. Muchas de estas experiencias se basan en la convicción de que para hacer frente a algunos problemas es necesario un enfoque de abajo hacia arriba que empodere a los ciudadanos y les permita participar activamente en cuestiones científicas y en el cuidado del ambiente. La proliferación de estos tecnocidanos permite la interacción entre expertos y aficionados contribuyendo a construir, de manera cooperativa, una tecnociencia que pertenezca al procomún [9].

Claros indicadores de la importancia de esta nueva tendencia en el monitoreo son los Next Generation Air Monitoring Workshops auspiciados por la EPA donde se analizan las implicancias del cambio en el paradigma de monitoreo auspiciado por estas nuevas tecnologías de sensado [10]. A nivel europeo la tendencia se repite y puede observarse en proyectos como Rescatame para la gestión sostenible del tráfico urbano en la ciudad de Salamanca, basado en una red extensa de sensores de bajo costo [11].

Sin embargo, estos nuevos sistemas de monitoreo abren también una serie de desafíos respecto a la calidad de datos requerida para el espectro de aplicaciones en el que ya están siendo o podrían ser aplicadas, su validación y el procesamiento de la enorme masa de datos obtenida con ellos [12, 13, 14, 15].

En Argentina, y particularmente en Mendoza, se han adoptado en legislaciones ambientales estándares de calidad del aire basados en sus precedentes extranjeros (Ley Nacional del 1973, Ley 5100 y Decreto). Sin embargo, la aplicación de estas legislaciones es difícil si no existen las herramientas para hacer monitoreo. Las debilidades técnicas y económicas de los entes públicos de gestión ambiental sumada a los altos costos iniciales, de operación y mantenimiento de las tecnologías de monitoreo, no ha permitido que se desarrollen redes de monitoreo ni que existan datos de calidad del aire más que de manera dispersa y discontinua [16]. Actualmente, gran parte de los esfuerzos por establecer y mantener estaciones de monitoreo son realizados por la comunidad científica que tropieza con las mismas limitaciones económicas de otros entes públicos y además carece de incentivos y reconocimiento formal por estas labores.

Por otro lado, existe una creciente participación del sector ciudadano y de organizaciones civiles locales en los conflictos ambientales y en la defensa de los bienes comunes. Algunos ejemplos son el caso de las papeleras sobre le río Uruguay [17], los emprendimientos megamineros en Mendoza [18] y el monitoreo social de la cuenca Matanza-Riachuelo [19]. La calidad del aire no ha sido una cuestión sobre la que haya habido mayor participación ciudadana debido, en parte, a las dificultades técnicas que supone el monitoreo.

Ante esta perspectiva, los sensores de bajo costo aparecen como una alternativa atractiva para resolver los problemas de monitoreo de la calidad del aire locales. Sin embargo, los sistemas comerciales equipados con estos sensores siguen siendo extranjeros y por su costo (ej. Aeroqual 500– 2500 euros) aún distan mucho de ser accesibles en el contexto económico local.

En este trabajo se presenta el desarrollo de un equipo portátil y autónomo para monitoreo continuo de calidad de aire urbano, de bajo costo y de fácil construcción, operación y mantenimiento, basado en hardware abierto y sensores electrónicos de óxidos metálicos.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

En vista de la falta de desarrollos locales relacionados con el monitoreo ambiental, se consideró que el modelo de tecnología abierta es el más apropiado para el diseño del equipo que aquí se presenta.

La tecnología open source (código abierto) es aquella desarrollada bajo una licencia libre. Esto significa que los planos electrónicos, constructivos y código del software están disponible para que cualquiera pueda replicar total o parcialmente un producto, modificarlo y mejorarlo sin permiso previo de los autores originales, ni obtención de patente alguna. Esta idea ha permitido el desarrollo de soluciones tecnológicas abiertas que evolucionan y mejoran rápidamente gracias a los aportes de toda la comunidad de usuarios. Algunos ejemplos exitosos basados en tecnología open source son: Arduino [20], RepRap [21].

El monitor abierto de calidad de aire (MACA) ha sido de desarrollado a partir de una placa de prototipado electrónico Arduino UNO basada en un microprocesador ATmega328. Sobre esta placa se ha montado otra diseñada y fabricada para contener un sensor de ozono MiCS-OZ-47, un sensor de temperatura y humedad DTH-22, un reloj de tiempo real (RTC) y un módulo SD para almacenar los datos (Figura 1). El sistema se alimenta con una batería de 6V y un panel solar que la carga. El sistema controla además una bomba para el muestreo de aire con tubos pasivos de carbón activado para la determinación de compuestos orgánicos volátiles.

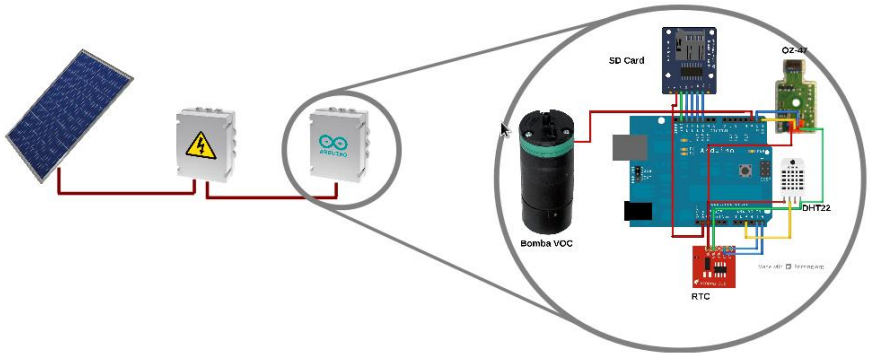


Fig. 1. Equipo completo, de izquierda a derecha: panel solar, sistema de alimentación, sistema de medición. En detalle: microcontrolador Arduino UNO, módulo SD card, sensor de ozono OZ-47, sensor de temperatura y humedad DTH-22, y reloj de tiempo real.

2.1 Características del sensor

Se sabe que la absorción y desorción de un gas en la superficie de un óxido metálico cambia la conductividad del material. La sensitividad de una superficie a la concentración de un gas puede ser tan baja como partes por billón (ppb). Los sensores construidos con óxidos metálicos son relativamente económicos comparados a otras tecnologías, robustos, livianos, duraderos y tienen elevada sensibilidad y tiempo de respuesta breves [22].

Si bien existen un gran número de estos sensores disponibles a nivel comercial, elegimos el MiCS-OZ-47 de SGX (anteriormente e2v) dado que se encuentra embebido en un modulo que cuenta con un microprocesador que procesa digitalmente la señal del sensor y la hace disponible por medio de una interface RS232-TTL. Por otro lado, su costo es bajo (aproximadamente U$S 100) y ya sido ha sido usado en el desarrollo de otras experiencias similares (AQ Egg, Everyaware). En la Tabla 1 se presentan las características principales del MiCS-OZ-47, según la hoja de datos del fabricante [23].

2.2 Principio de funcionamiento

El sensor es un estructura microfabricada en silicio, con una delgada capa de dióxido de estaño (SnO2), cuya resistencia varía en función de la concentración de ozono. Por debajo de este semiconductor se encuentra una resistencia de calefacción Rh, necesaria para controlar la temperatura [23].

La impedancia del semiconductor de SnO2 es alterada por la reacción con los gases oxidantes presentes en el aire. El mecanismo de detección puede ser modelado de la siguiente manera:

$$O_3 + e^- \rightarrow O^- + O_2 \quad \textbf{(1)}$$

En esta reacción, e- es un electrón de conducción en la capa de SnO2 y O- es un ion de oxigeno superficial. El resultado de esta oxidación es la reducción del flujo de electrones y por lo tanto un incremento en la resistencia eléctrica de Rs. Esta reacción es completamente reversible.

Tabla 1. Características del MiCS-OZ-47

Elemento Sensor	MiCS-4614 sensor dual de ozono
Señal de salida	PWM
Salida digital	RS-232 TTL
Alimentación	3.3 a 10 VDC
Microprocesador	8 bits
Rango	20ppb a 200ppb 0% a 100% Rh -40ºC a 123ºC
Precisión	±20 ppb ±4.5% ±0.5ºC

La concentración de ozono se computa como al resistencia medida Rs corregida por los parámetros de calibración y una compensación por temperatura (Ecuación 2).

$$Rs_{@25ºC} = Rs_{@T} * \exp(K * (T - 25)) \quad \textbf{(2)}$$

Donde: $Rs_{@T}$: resistencia a la temperatura medida; T: temperatura en °C; K: coeficiente de temperatura.

La curva de respuesta característica del sensor a la presencia de ozono es definida por medio de una función polinómica de tercer orden. La concentración de ozono se calcula entonces según la Ecuación 3

$$O_3\,[ppb] = X_3 * Rs^3 + X_2 * Rs^2 + X_1 * Rs + X_0 \quad \textbf{(3)}$$

En la hoja de datos del sensor se aclara que el método de compensación por humedad se encuentra en preparación.

2.3 Evaluación en laboratorio

En primer lugar se trabajó en laboratorio para evaluar la respuesta del sensor a concentraciones conocidas de ozono. Para ello se utilizaron un generador y un analizador automático de absorción UV marca Environnement que se encuentran instalados en una estación de monitoreo móvil (EMM) operada por el Lab. De Análisis Instrumental de la facultad de Ingeniería de la UN Cuyo.

El sensor fue expuesto en el interior de un recipiente, sometido a presión positiva por el flujo de gas proveniente del generador de ozono, a concentraciones conocidas que se fueron escalonando de manera creciente y se controlaron por medio del mencionado analizador de referencia. La figura 2 muestra la respuesta (valor de resistencia) de 2 sensores iguales a estas concentraciones. Este experimento confirma la sensibilidad de los dispositivos a la variación de la concentración de ozono.

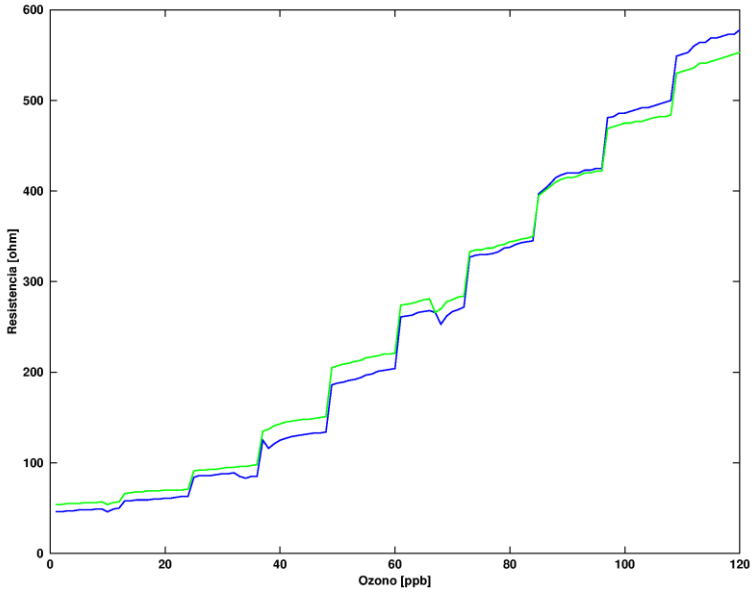


Fig. 2. Respuesta de dos sensores Oz-47 expuestos en una cámara a distintas concentraciones de ozono.

2.3 Evaluación en campo

Para realizar la calibración en campo se aprovechó la disponibilidad de la mencionada unidad de monitoreo móvil y del analizador automático instalado en su interior que fue tomado como referencia para la evaluación de las respuestas del MACA a las concentraciones de ozono presentes en el ambiente.

Para poder colocar el equipo a la intemperie se introdujo la electrónica en una carcasa plástica estanca y los sensores MiCS-OZ-47 y DTH-22 fueron colocados cerca del extremo de dos tubos plásticos acoplados a dicha carcasa permitiendo la difusión y renovación del aire ambiente en contacto con los sensores (Figura 1).

Fig. 3. MACA colocado en la parte trasera de la EMM (izquierda). Detalle de la carcasa (derecha).

Se realizaron tres campañas de medición, dos de ellas en las instalaciones de la UTN ubicada en una zona cercana al centro de la ciudad de Mendoza y la otra en el predio del Centro Cultural Julio Le Parc en Guaymallén.

3 RESULTADOS

En las Figuras 4 y se pueden observar los resultados de las dos primeras campañas de evaluación en campo realizada entre los días 28 de marzo y 2 de abril de 2013.

Lo primero que se observa es que ninguna de las dos series de datos está completa. Los datos del MACA se interrumpieron debido a que durante esa campaña el equipo se alimentó con el panel solar y sufrió la descarga completa de la batería durante dos días nublados y recuperó la carga solo sobre el final del último día de monitoreo. El analizador de la EMM permaneció apagado durante el 29 y 30 debido probablemente a una falla eléctrica.

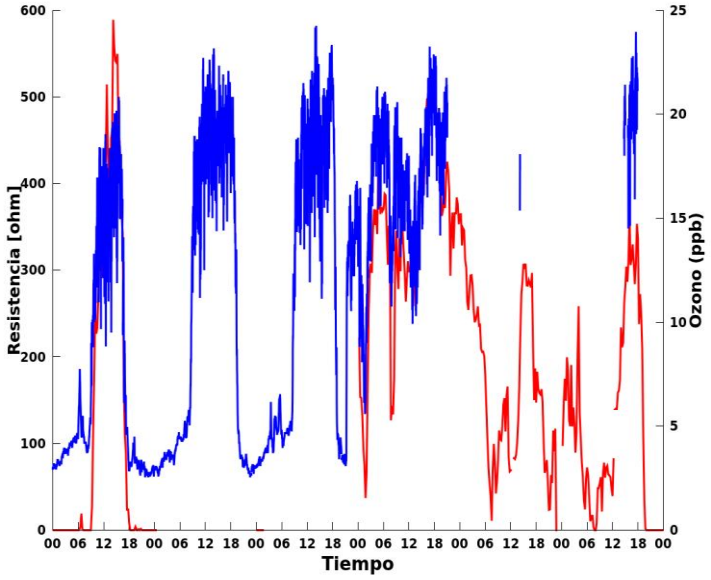


Fig. 4. En rojo: concentración de ozono (ppb) medida por la EMM. En azul: resistencia medida en el MACA (ohm). Campaña entre 28/03 y 02/04 de 2013.

A pesar de la ausencia de continuidad en los datos se puede observar que la curva de resistencia del MACA sigue el ciclo típico del ozono en Mendoza para días despejados, es decir, presentan un máximo cerca de mediodía y luego su valor disminuye para las horas sin luz solar [24]. Debe notarse que el valor registrado no desciende a 0 como cabría esperar de la concentración ya que es el valor graficado es el de resistencia eléctrica.

En los momentos donde se produjeron mediciones simultáneas se observa una alta correlación entre las mediciones de ambos equipos aunque las del MACA presentan más ruido.

Los días 31, 1 y 2 de abril presentaron un cielo bastante cubierto por lo que las mediciones del EMM se alejan del ciclo típico diario.

En la figura 5 se presentan los datos de la segunda campaña (del 22 al 24 de mayo).

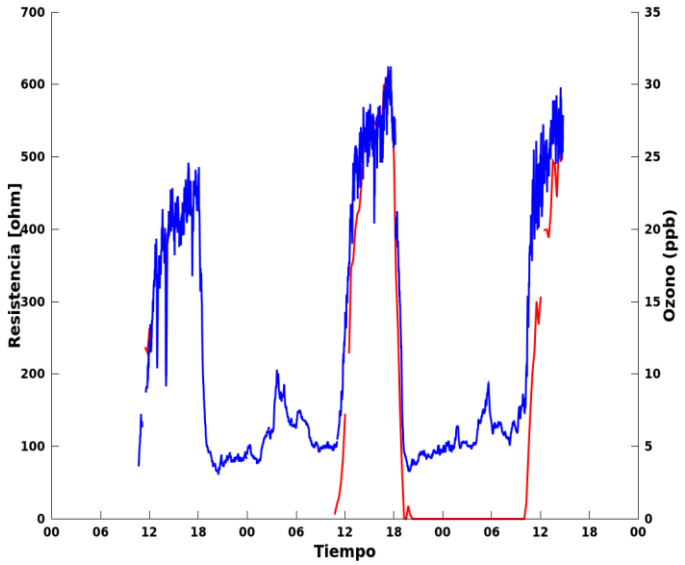


Fig. 5. En rojo: concentración de ozono (ppb) medida por la EMM. En azul: resistencia medida en el MACA (ohm). Campaña entre 22/05 y 24/05 de 2013.

Tal como en la campaña anterior, los datos del MACA parecen seguir el ciclo diario de ozono y, al menos, a simple vista se correlacionan bastante bien con los datos de la EMM aunque estos presentan discontinuidad debido a un corte de energía imprevisto.

Los picos que se observan durante la noche en la curva del MACA podrían corresponder a un fenómeno que se presenta en el ciclo de ozono diario típico de la ciudad de Mendoza y que podría estar relacionado con la circulación valle-montaña típica de la región, donde masas de aire enriquecidas en ozono bajan a la ciudad desde el pedemonte [25].

La Figura 6 muestra los datos de la última campaña de medición realizada. En este caso, la serie de datos es más larga y comprende el período del 22 de Mayo al 31 de Mayo de 2013. La figura 7 muestra el diagrama de puntos que relaciona la resistencia eléctrica con el valor de ozono registrado por el equipo de referencia. Puede verse que la correlación entre ambas magnitudes es alta (R=0,95). A pesar de que la hoja de datos del fabricante indica que la relación entre resistencia eléctrica y la concentración de ozono es cúbica, esto es para el rango completo del sensor (de 0ppb a 1000ppb). Sobre esta serie de datos, y dentro del rango de interés para calidad de aire (menos de 80 ppb), se ajustó un modelo lineal. Previamente, se aplicó la corrección de temperatura a los valores de resistencia. La figura 8 muestra los datos de ozono estimados por el sensor, sólo para los instantes de tiempo para los que había registros tanto del sensor como del EMM. La correlación entre esta estimación y el valor real medido es de 0,98.

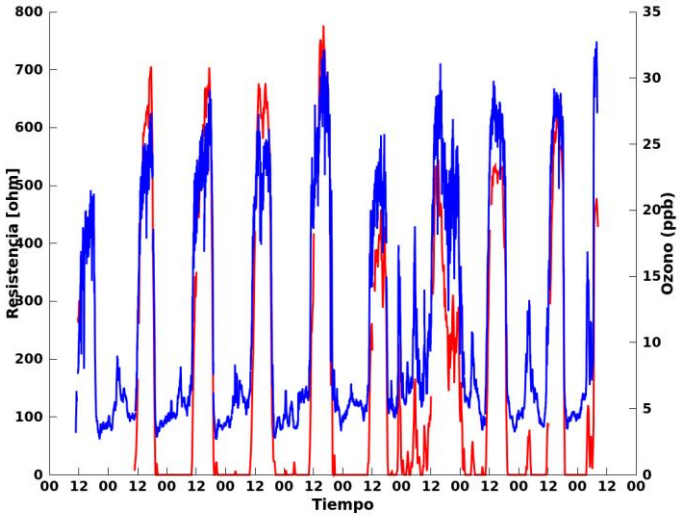


Fig. 6. En rojo: concentración de ozono (ppb) medida por la EMM. En azul: resistencia medida en el MACA (ohm). Campaña entre 22/05 y 30/05 de 2013.

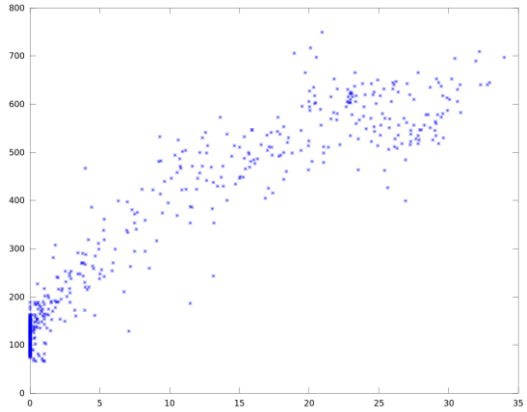


Fig. 7. Correlación entre concentración de ozono (abscisas) y resistencia eléctrica del sensor (ordenada).

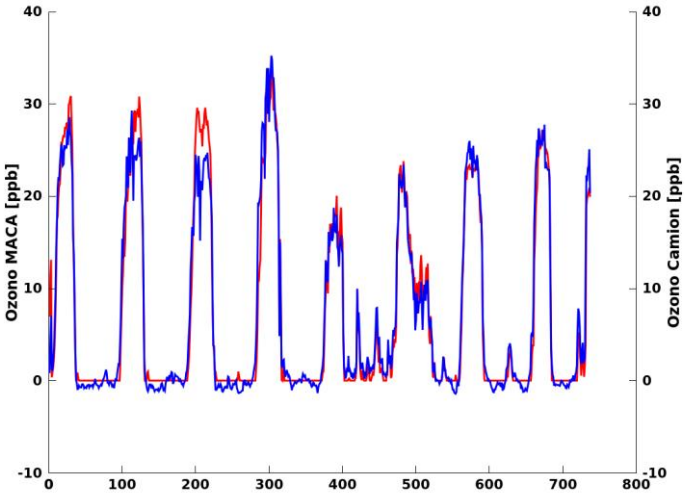


Fig. 8. En rojo: concentración de ozono (ppb) medida por la EMM. En azul: ozono estimado con el modelo de regresión lineal. Sólo se muestran los instantes de tiempo para los que hay registro de ambos equipos (abscisas).

El error cuadrático medio de la estimación es 3,8ppb.

Utilizando los coeficientes del modelo de regresión lineal, se estimó la concentración de ozono para las 2 primeras campañas. La figura 9 muestra estos resultados. Sólo se muestran los instantes de tiempo para los que hay datos disponibles de ambos equipos. El error cuadrático medio es en cada caso 3,4ppb y 4,1ppb en cada caso.

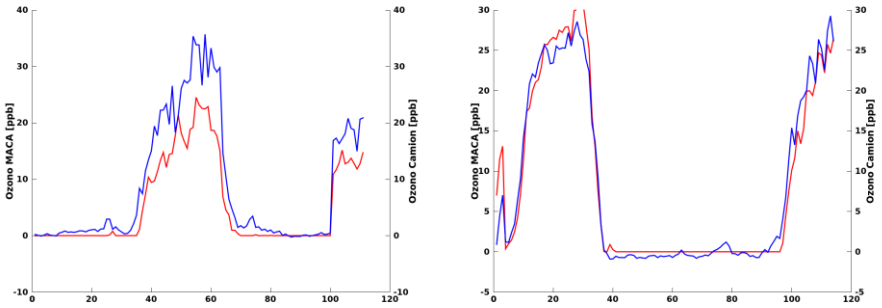


Fig. 9. En rojo: concentración de ozono (ppb) medida por la EMM. En azul: ozono estimado con el modelo de regresión lineal. Sólo se muestran los instantes de tiempo para los que hay registro de ambos equipos (abscisas).

4 CONCLUSIONES

En el presente trabajo se presenta el desarrollo y los primeros resultados del monitor abierto de calidad de aire (MACA). El equipo es económico, autónomo y fácilmente replicable ya que el costo de los materiales para su construcción ronda los 1500 pesos, se alimenta por medio de un panel solar y está basado en tecnología abierta. El MACA es capaz de detectar ozono a niveles de ppb, medir temperatura y humedad relativa y alimentar una pequeña bomba para muestreo activo.

Los resultados muestran que el sensor es sensible a la concentración de ozono en los niveles previstos y que se pueden encontrar en una atmósfera urbana (decenas de ppb). El seguimiento razonable del ciclo diario local de ese contaminante y, cuando los datos así lo han permitido, una correlación buena con los datos obtenidos en un analizador comercial de referencia parecen respaldar tal afirmación. Se ha conseguido calibrar el sensor y hacer un reanálisis de los datos obtenidos en campañas anteriores. El error cuadrático medio del equipo se encuentra por debajo de las 5ppb. Sin embargo, aún resta estimar las interferencias de la humedad relativa u otros gases oxidantes en la medición y los efectos del flujo de aire en la exposición del sensor, aunque los datos no muestren clara evidencia de estos tipos de interferencias. Además, quedan por resolver cuestiones inherentes a este tipo de sensor como elevado ruido de la señal [26] y la deriva de la línea base con el tiempo [27].

Especial atención merece la calibración de una red de este tipo de equipos dado que su expansión hace prever un cambio en el paradigma del monitoreo de la calidad del aire modificando tanto la manera en que son obtenidos los datos y su disponibilidad como el rol de los actores involucrados y sus motivaciones. Es decir, lo que hasta hace poco estaba reservado a técnicos y científicos entrenados que emplean sofisticados instrumentos con el propósito de evaluar el cumplimiento de estándares de calidad o de investigar la contaminación de la atmósfera, hoy se está abriendo al público en general. Esta tecnología reduce significativamente la complejidad técnica de los equipos de monitoreo, y con ello la operación y mantenimiento. Este cambio permitiría la participación activa de los ciudadanos facilitando el cambio de sus percepciones, actitudes y comportamientos ambientales; democratizaría el conocimiento científico, disminuiría el costo del monitoreo incrementando a la vez su resolución espacial/temporal. Sin embargo, su éxito dependerá de cuan apropiada es la calidad de los datos generados [3, 12, 15] para servir a las distintas aplicaciones posibles que pueden ir, en niveles crecientes de complejidad, desde el monitoreo personal cualitativo, la educación científica o el screening de hot spots, hasta el monitoreo basado en comunidades, una red regional de monitoreo ambiental o el cumplimiento de estándares legales.

En el contexto local, el desarrollo de una tecnología de monitoreo abierta es indispensable para superar las limitaciones técnicas y económicas que el monitoreo de la calidad del aire ha sufrido desde sus comienzos y poder beneficiarse de las ventajas que ofrecen este tipo de sensores. Además, podría plantearse la refuncionalización de las estaciones de monitoreo de referencia existentes, ya no como herramientas de monitoreo propiamente dicho, sino como

herramientas de calibración continua de una red densa de estaciones más económicas.

Una de las aplicaciones de esta tecnología en el nivel actual de desarrollo la validación de modelos de emisión y calidad del aire existente o la validación de datos satelitales de calidad del aire disponibles desde hace unos años.

El MACA es solo el inicio del trabajo y queda mucho más por hacer para entender realmente cuales son los alcances de esta tecnología. Los pasos siguientes en este camino son: desarrollo de un módulo para la medición de NO2 y otro para la transmisión de datos por radiofrecuencia, la búsqueda de un protocolo para la calibración de una red sensores y una campaña de medición en la ciudad de Mendoza con varios equipos.

Referencias

1. Mead, M.I., Popoola, O.A.M., Stewart, G.B., Landshoff, P., Calleja, M., Hayes, M., Baldovi, J.J., McLeod, M.W., Hodgson, T.F., Dicks, J., Lewis, A., Cohen, J., Baron, R., Saffell, J.R., Jones, R.L., "The use of electrochemical sensors for monitoring urban air quality in low-cost, high-density networks", Atmospheric Environment, (2013).
2. Willett, W., Aoki, P., Kumar, N., Subramanian, S., Woodruff, A., "Common Sense Community: Scaffolding Mobile Sensing and Analysis for Novice Users", Proc. Pervasive 2010, 301-318, (2010).
3. Elen, B., Theunis, J., Ingarra, S., Molino, A., Van, J., Reggente, M., Loreto, V., "The EveryAware SensorBox: a tool for community-based air quality monitoring», in Proceedings of the Sensing a Changing World Workshop, (2012).
4. Aeroqual, http://www.aeroqual.com/ (Visitada en mayo de 2013)
5. Libelium, http://www.libelium.com/ (Visitada en mayo de 2013)
6. Smartcitizen, http://www.smartcitizen.me/es/ (Visitada en mayo de 2013)
7. Air quality egg, http://airqualityegg.com/ (Visitada en mayo de 2013)
8. Pearce J., "Building research equipment with free open source hardware", Science, 337, 1303, (2012).
9. Lafuente, A., Alonso, A., 2011, Ciencia expandida, naturaleza común y saber profano, Universidad Nacional de Quilmes, 1º Edición, 240 p, Quilmes, Argentina.
10. EPA, "EPA's Next Generation Air Monitoring Workshop Series", https://sites.google.com/site/airsensors2013/home (Visitada en mayo de 2013)
11. Hidalgo, D., "Experiencia práctica de control de la contaminación urbana y mejora de la movilidad: el proyecto RESCATAME", during the Urban pollution control and mobility improvement open workshop, held in Salamanca on the 1st December 2011.
12. Balzano, L., Nowak, R., "Blind calibration of sensor networks", In ACM/IEEE IPSN, (2007).
13. Gerboles M., Buzica, D., "Evaluation of micro-sensors to monitor ozone in ambient air", JRC, IES, Ispra, Italy, (2009).
14. Sonoma Tech, "Characterization of low-cost NO2 sensors", Draft final report, Prepared for EPA, (2010).
15. Hasenfratz, D., Saukh, O., Thiele, L., "On-the-Fly Calibration of Low-Cost Gas Sensors", G.P. Picco and W. Heinzelman (Eds.): EWSN 2012, LNCS 7158, pp. 228–244, 2012. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, (2012).
16. Gallardo, L., Jorquera, H., Molina, L., "Tackling challenges in assessing air quality over South America", EOS, 93, 24, (2012).

17. Sannazzaro, J., "Controversias científico-públicas. El caso del conflicto por las papeleras entre Argentina y Uruguay y la participación ciudadana", Revista CTS, 17, 6, 213-239, (2011).
18. Wagner, L., "Los movimientos sociales en defensa del agua y en oposición a la megaminería en la provincia de Mendoza", Anuario del centro de estudios históricos "Profesor Carlos S.A. Segreti", Año 7, Nro 7: 95-122, Córdoba, Argentina, (2007).
19. FARN, Monitoreo Social de la Cuenca Matanza Riachuelo, http://www.farn.org.ar/newsite/areas/riachuelo/monitoreoriachueloProyecto, (Visitada en mayo de 2013).
20. Arduino, http://arduino.cc, (Visitada en mayo de 2013).
21. RepRap, http://reprap.org, (Visitada en mayo de 2013).
22. Fine, G., Cavanagh, L., Afonja, A., Binions, R., "Metal Oxide Semi-Conductor Gas Sensors in Environmental Monitoring ", Sensors, 10, 5469-5502, doi:10.3390/s100605469, (2010).
23. MiCS-OZ-47, Datasheet, www.e2v.com/e2v/assets/File/.../mics-oz-47.pdf, (Visitada en mayo de 2013).
24. Puliafito, J.L., Puliafito, E., Puliafito, C., Guerreiro, P., Quero, J.L., Behler, J.C., " Ozone-Monitoring in Mendoza, Argentina: Initial results", J. Air and Waste Management Assoc. 49, 82-87, (1999).
25. Fernandez, R. Castro, F., Allende, D., Cremades, P., Puliafito , E., "Ozono Troposférico en Mendoza: Mediciones Experimentales y Modelado Computacional", VI Encuentro de Investigadores y Docentes de Ingeniería (EnIDI), San Rafael, Mendoza, Argentina, 12 al 14 de mayo de 2011, (2011).
26. Postolache, O.A., Dias Pereira, J.M., Silva Girão, P.,"Smart sensors network for air quality monitoring applications", IEEE Transactions on instrumentation and measurement, Vol. 58, no. 9, (2009).
27. Romain, A.C., Nicolas, J., "Long term stability of metal oxide-based gas sensors for e-nose environmental applications: An overview", Sensors and Actuators B 146, 502–506 , (2010).

Utilización de la Biomasa Regional como Energías Alternativas

Quiles Angel I[1]., Boschín Edgardo, Cerioni Juan J., Ceperiani Jorge; García Juri Agustín, Santisteban Juan, Camera Mauro.

Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional San Rafael, Urquiza 314, C.P. 5600, San Rafael, Mza., Argentina. Telefono 0260 4421078 int. 118.
[1]E mail: aquiles@frsr.utn.edu.ar

Resumen. Desde el punto de vista energético, la biomasa se puede aprovechar de dos maneras diferentes, quemándola en forma directa o transformándola en briquetas para un mejor beneficio energético, de transporte y de almacenamiento. La fuente de biomasa que se quiere aprovechar en la región es muy variada, y proviene fundamentalmente de residuos agroindustriales (carozo de durazno, damasco, ciruela, hueso de aceitunas, escobajo de uva, etc.) o también de actividades urbanas como ser la poda de los árboles o las hojas de los mismo. Estas diferentes fuentes de biomasa las dividimos en agroindustrial y agroforestal. La disponibilidad de estos residuos, de acuerdo a los estudios realizados, es abundante y su uso energético se realiza mediante la incineración directa.

El proyecto busca cuantificar la biomasa generada en la región, su aprovechamiento a través de la fabricación de briquetas, e investigar y analizar si es posible el uso de la biomasa como recurso energético, colaborando directamente en el desarrollo sostenible y en la conservación del medio ambiente.

La briqueta es un taco de residuos de material biomásico, que arde con gran facilidad, tiene forma cilíndrica, que conserva aunque se la manipule para transportarla. Esta forma se consigue mediante la compresión del material biomasico, sin la necesidad de emplear ningún agente aglutinante.

En la actualidad se han realizando ensayos de compresión para la obtención de las briquetas las cuales de acuerdo a sus características físicas- químicas se presentan como fuente alternativa de energía. Dichas características son poder calorífico, porosidad, humedad, entre otras.

Los esfuerzos están focalizados en consolidar políticas para fomentar la generación de bioenergía, a partir de los residuos agroindustriales y agroforestales, de la región sur de Mendoza.

Palabras clave: Biomasa, biocombustibles, briquetas

1. Introducción

La biomasa se puede aprovechar de dos maneras diferentes; quemándola para producir calor o transformándola en combustible para su mejor transporte y almacenamiento. La naturaleza de la biomasa en la región sur de la provincia de Mendoza es muy variada, ya que depende, además de la propia fuente, de los procesos que aplican las industrias locales, las que generan grandes volúmenes de residuos y subproductos que incluyen: carozos, pepitas, cáscaras, escobajo y fruta de descarte (biomasa agroindustrial) y de la poda urbana y rural actividades que conciben ramas y hojas (biomasa agroforestal) [1-3].

Aunque la disponibilidad de biomasa, de acuerdo a los estudios realizados, es abundante en la región, la recolección y disposición final de los mismos aún no está organizada.

La utilización con fines energéticos de la biomasa requiere de su adecuación para utilizarla en los sistemas convencionales como una fuente de energía renovable. *(Fuente: IDEA Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía C/ Madera, 8 E-28004-Madrid comunicacion@idae.es. www.idae.es)*

1.1. Propuesta

Una de las aplicaciones básicas de los carozos es su uso como combustible. Sin embargo, en los últimos tiempos el aprovechamiento directo de los mismos demuestra grandes dificultades de empleo, almacenamiento y transporte.

Ante esta situación se trabajo en un proceso que consiste aglomerar estos residuos formando piezas, llamadas briquetas, para facilitar su manipulación y mejorar su presentación.

La briqueta es un taco de residuos, que arde con gran facilidad. Tiene forma cilíndrica, forma que conserva aunque se la manipule para transportarla. La misma se logra mediante prensado de elementos de pequeña granulometría cuya humedad no sobrepasa el 15% (en el orden del 9% es mas apropiado), sin la necesidad de emplear ningún agente aglutinante que aumentaría los costos.

De acuerdo a los ensayos de combustión realizados por el equipo de investigación, las briquetas se inflaman rápidamente, proporcionando mucho calor en poco tiempo y su aplicación es limpia y fácil.

En este marco se puede considerar a la fabricación de briquetas como una de las soluciones que se presenta a las fábricas agroindustriales que hoy tienen enormes cantidades de desperdicios casi sin valor y que actualmente resultan ser una molestia. Del mismo modo, es preciso, transformar el material biomásico, dándole cualidades competitivas.

1.2. Justificación del proyecto

Estamos frente a un escenario en el cual aprovechar la biomasa residual (ver Nota 1) contribuye a disminuir la dependencia energética de combustibles fósiles, por otro

lado, nos situamos bajo la premisa de que en la región sur de la Provincia de Mendoza se generan grandes excedentes de biomasa agroindustrial y/o agroforestal. Del mismo modo, es importante señalar que las acciones de este proyecto persiguen fortalecer políticas de trabajo fundadas en el tratamiento de residuos y desechos, manteniendo la salud de la naturaleza.

Nota 1*:* Se conoce como biomasa energética al conjunto de materia orgánica, de origen vegetal o animal, incluyendo los materiales procedentes de su transformación natural o artificial. Es decir, la biomasa es la energía solar convertida por la vegetación en materia orgánica; esa energía la podemos recuperar por combustión directa o transformando la materia orgánica en otros combustibles.

1.3. Materias primas

Pueden ser carozos de frutales, ramas provenientes de la poda, virutas, etc. Es decir, cualquier tipo de desperdicios, sin exigencia alguna de calidad, lo que contribuye al bajo costo de la misma. Residuos que actualmente no tienen costo alguno.

2. Alcance del Proyecto

El proyecto surge a partir de la búsqueda de soluciones a dos problemas concretos que actualmente existen, no solo en la comunidad de la región sur de Mendoza donde se ha planteado este proyecto, sino también en el resto de los países. Por un lado, se desechan anualmente copiosas cantidades de residuos agroindustriales y agroforestales, los cuales no tienen un apropiado tratamiento, y por otro lado, padecemos una creciente crisis energética, debido a la dependencia y al consumo de los combustibles fósiles convencionales. *(Fuente: Manuales de energías renovables II / Energía de biomasa)*

Las actividades programadas en este proyecto estaban canalizadas en dos etapas diferentes pero a la vez complementarias:

- La primera de ellas fue la etapa de investigación bibliográfica, para la cual se procedió a la utilización de libros especializados, publicaciones de revistas, publicaciones de congresos e información relacionada en el campo de la biomasa. Asimismo, se trabajó en tareas de relevamientos en agroindustrias locales con el objeto de cuantificar y cualificar el material biomásico.

A partir de allí, se continuó en el diseño de una matriz, con la cual se llevaron a cabo ensayos de compresión. La matriz se ajustaba a las dimensiones de los equipos e infraestructura de los laboratorios de la UTN FRSR (Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional).

- Finalizada la primera etapa se procedió con el desarrollo de ensayos con diferentes materiales. En los mismos se experimentó variar parámetros de presión, humedad, temperatura, volumen de biomasa y de aglutinantes, a fin de observar el comportamiento de las briquetas obtenidas.

3. Experiencia

A continuación se presenta el resultado de una serie de ensayos y que a consideración del equipo de investigación fueron los más representativos.

Materia Prima utilizada en los ensayos

- 40 kilos de carozos de durazno
- 40 kilos de carozos de damasco
- 50kilos de carozos de aceituna
- 30 kilos de carozos de ciruela

3.1. Ensayos con carozo de durazno entero (hueso y pepita)

3.1.1 Ensayo 1

- Muestra 2/3 kilos (carozo entero) *(fotografía 1)*
- Presión 130 bar
- Resultado1: briqueta muy frágil *(fotografía 2)*, gran incidencia de la pepita. La trituración del carozo se mostró con granulometría óptima para la compactación. El problema lo originó la pepita debido al desprendimiento de aceite que no permitió la compactación correcta de la briqueta.

Fotografía 1*:* Alimentación de la tolva propia de la máquina

Fotografía 2*:* No alcanzaba a compactar. Puede observarse que ni bien caía la briqueta, se desintegraba.

3.1.2. Ensayo 2

- Muestra 2/3 kilos (carozo entero)
- Presión 160 bar
- Resultado 2: briqueta muy frágil *(fotografía 3)*, gran incidencia de la pepita.

Fotografía 3*:* Con el aumento de presión, la consistencia es mayor que la briqueta anterior pero muestra fragilidad y el cambio de tonalidad debido a la existencia de pepita.

3.1.3. Ensayo 3

- Muestra 2/3 kilos (carozo entero)
- Presión 180 bar
- Resultado 3: la briqueta es muy frágil, *(fotografía 4)* debido a la gran incidencia de la pepita

Fotografía 4: La granulometría mejoró considerablemente pero la compactación sigue siendo defectuosa.

3.2. Ensayos con carozo de damasco partido (hueso)

3.2.1. Ensayo 1

– Muestra 2/3 kilos (hueso)
– Presión 180 bar
– Resultado: la briqueta, estaba compuesta con los restos de carozo del ensayo anterior, es un producto frágil, gran incidencia de los restos de pepita del carozo de durazno.

Fotografía 5*:* La fotografía 5 muestra la alimentación de la tolva. (Carozo de damasco partido)

3.2.2. Ensayo 2

Se limpio la máquina briqueteadora, con el objeto de que el contenido del producto final contenga solo hueso de damasco.
– Muestra 2/3 kilos (hueso)
– Presión 140 bar
– Resultado: briqueta, con mejor estructura que las briquetas obtenidas con los carozos de durazno. Sin embargo, se observa fragilidad. (La briqueta no cumple las expectativas deseadas.)

3.2.3. Ensayo 3

- Muestra 2/3 kilos (carozo entero)
- Presión 160 bar
- Resultado: la briqueta es frágil, sin embargo, presenta mejores resultados que en el caso anterior.

3.2.4. Ensayo 4

- Muestra 2/3 kilos (carozo entero)
- Presión 160 bar
- Resultado: la briqueta continua siendo rompible, a diferencia del ensayo 3, se seleccionó manualmente el carozo, con el objeto de evitar alguna partícula de pepita.

Fotografía 6: A simple vista, la briqueta es la ideal, pero aún sigue siendo frágil a causa fundamentalmente de la existencia de partículas de pepitas.

3.3. Ensayos con carozo de aceituna molido (Humedad entre el 8% y el 13%)

Fotografía 7: Alimentación de la tolva con el carozo de aceituna previamente molido.

3.3.1. Ensayo 1

- Muestra 2/3 kilos (hueso molido)
- Presión 180 bar

– Resultado: la briqueta (*Fotografía 8)*, posee las dimensiones apropiadas, y de dureza aceptable, sin embargo, se observó, fragilidad en misma. (Razones: la máquina aun contenía un porcentaje de carozos de damasco, material utilizado en los ensayos anteriores)

Fotografía 8*:* La compactación mejoró, se observa los restos de pepita de los ensayos anteriores.

3.3.2. Ensayo 2

– Muestra 2/3 kilos (hueso molido)
– Presión 180 bar
– Resultado: *(Fotografía 9)* la briqueta es de buen tamaño y dureza, presenta menor fragilidad que en los ensayos anteriores

Fotografía 9: Puede notarse el cambio de tonalidad por el desprendimiento de humedad y aceite contenido en la materia prima.

3.3.3. Ensayo 3

– Muestra 2/3 kilos (hueso molido)
– Presión 300 bar
– Resultado: similar briqueta a la anterior. (*Fotografía 10)*

Fotografía 10: Este es el producto que pretendemos obtener, sin embargo, puede observarse que la briqueta continúa presentando el problema de fragilidad, pero en menor medida.

3.4. Carozos de ciruela entero (hueso y pepita)

Los resultados fueron similares a los obtenidos para el caso de los carozos de durazno, exhibiendo el problema concreto de la pepita.

4. Resultados alcanzados

Las muestras fueron ensayadas por el INTI (ver Nota 2) los resultados (ver tabla 2), presentan un panorama alentador ya que este producto alcanza un poder calorífico que oscila entre las 4447 y las 4844 Kilocalorías, siendo un resultado correcto si lo comparamos con el poder calorífico de la leña caldén el que oscila entre las 2000 y 5000 Kilocalorías. En cuanto a la duración, las briquetas tienen más poder calorífico pero el tiempo de entrega es menor.

Tabla 1 Resultados alcanzados

Determinación	Unidad	Muestra Identificada como BRIQUETA	
		Muestra tal cual recibida	Muestra seca
Humedad	g/100g	8,2	
Materia Volátil	g/100g	64,2	69,9
Cenizas	g/100g	5,7	6,2
Carbono Fijo	g/100g	21,9	23,9
Poder Calorífico Superior	J/g	18.619	20281
	Kcal/kg	4447	4844

Nota 2: Instituto Nacional de Tecnología Industrial. Los ensayos de combustión fueron realizados de acuerdo a lo establecido por la norma ASTM D 1.762 y JIS 8.814.

5. Conclusiones

Para obtener briquetas con las condiciones de dureza, tamaño y fragilidad que permitan luego su aplicación debe considerar lo siguiente:

- **Separar el carozo de la pepita**, ya que éste subproducto contiene aceite, y por ende, evita la compactación del hueso.

- **Secar el producto**. La humedad de los huesos no debe superar el 13%. Para este proceso, el contenido de humedad debe ser el menor posible, incluso en el orden del 8%.

- La máquina trabaja bajo el principio de fuerza en la compactación, presentando la ventaja de no necesitar ningún tipo de aglutinante.

A partir de este proyecto se alcanzo un producto que tiene un peso de alrededor de 100 gramos, su forma es un taco cilíndrico con un poder calorífico que oscila las 4.500 kilocalorías

Fotografía 11: Producto final. Briqueta de 100 gramos y poder calorífico de 4.500 kilocalorías.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado parcialmente como Proyecto de Investigación Avalado por Resolución N° 127/09 – CD – UTN FRSR.
Se agradece a:
A la Universidad Tecnológica Nacional, las actividades de este trabajo se realizaron en las instalaciones del CIDER (Centro de Investigación y Desarrollo) de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional San Rafael
Al señor Horacio Ferro quién le prestó incondicionalmente las instalaciones de su taller metalúrgico para trabajar en el desarrollo de los ensayos.
A la empresa ABECOM

Referencias bibliográficas y páginas web

1. Manuales de energías renovables II / Energía de biomasa
2. Editorial Instituto para la diversificación y desarrollo de energía. Edición 2007. http://bdigital.uncu.edu.ar
3. IDEA Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía C/ Madera, 8 E 28004-Madrid comunicacion@idae.es. www.idae.es

Medición y Análisis de Radiointerferencias en Líneas de Alta Tensión

Ricardo Cesari[1], José Balacco[1], Edgardo Sparacino[1], Martín Wiens[1], Carlos María Puliafito[12],

*Grupo LECER , Facultad Regional Mendoza- Universidad Tecnologica Nacional Rodriguez 273- Mendoza, Argentina[1]

* Universidad de Mendoza, Facultad de Ingeniería, Instituto de Alta Frecuencia y Microondas, Paseo Emilio Descotte 750, (5500) Mendoza, Argentina[2]

Resumen. El Grupo de Estudios en Comunicaciones y Ensayo de Radio de la UTN Mendoza y dentro del mismo, el Laboratorio LECER, desarrollan sus actividades de investigación y transferencia en relación estrecha con compañías distribuidoras y transportadoras de energía eléctrica. En vista de los requerimientos de estas empresas, surgió la necesidad de desarrollar un método para cuantificar los niveles de Radiointerferencias que producen las Líneas de Alta Tensión (LAT). Esta perturbación es generada por efecto corona en forma apreciable en las líneas de 132 KV a 500 KV, en frecuencias que van de 0,5 a 30 MHz, para interferencias en Radio AM y en frecuencias de 150 a 200 MHz) para interferencias en señales de FM, video (TV) y otras. Por encima de los 200 MHz, en la presencia de ruido armónico. Por este motivo resultó necesario desarrollar una metodología de medición que fuera práctica, trazable y sustentable en el tiempo, en un ancho de banda amplio. Dicho método tiene su base en la experiencia sobre mediciones en electrónica de relaciones señal/ruido, adaptando otras posibles de aplicar a este caso. En el presente trabajo se indican algunas de las dificultades encontradas, junto con la metodología propuesta para salvarlas.

Palabras Clave –Efecto corona, Líneas de transmisión de alta tensión, Radiointerferencia (RI).

1 Introducción

El campo perturbador generado por la línea de alta tensión ocasiona en los radiorreceptores que se encuentran dentro de su zona de influencia, un ruido característico interferente de la señal útil. Las principales fuentes de interferencia en las comunicaciones de radio, originadas en instalaciones de Alta Tensión (AT), pueden ser separadas en dos tipos [1]:

a) *Descargas corona*, que son las descargas eléctricas parciales en un medio dieléctrico gaseoso, en regiones de alta intensidad de campo eléctrico del entorno de los conductores. Estas, dependen del diseño de la línea y las condiciones climáticas, e interfieren casi exclusivamente en la banda de frecuencias inferiores a 30 MHz (radio AM) fenómeno reconocido como Radiointerferencia (RI).

b) *Descargas disruptivas* o micro descargas que tienen lugar generalmente en la morsetería y que se deben a falsos contactos o a imperfecciones en el ensamble entre un aislador y su morsetería. Estas, dependen de aspectos constructivos e interfieren en

un espectro que alcanzan los centenares de MHz (radio FM y TV). Además se han encontrado evidencias de ruido armónico en frecuencias mayores a los 200 MHz [2]

Los niveles de Radiointerferencias de las líneas LAT deben cumplir con los requerimientos indicados en los procedimientos del Comité Internacional Especial de Perturbaciones Radioeléctricas [3] que da las características de las líneas y equipamientos de alta tensión relativas a perturbaciones radioeléctricas: *parte 1*: descripción del problema, *parte 2*: métodos de medición y procedimientos para la determinación de límites y *parte 3*: práctica para minimizar la generación de ruido.

Cumplidos los requerimientos anteriores, el cálculo de los niveles se hace sólo por descarga corona en los conductores. El nivel tolerable de Radiointerferencia [RI] depende de: a) los tipos de comunicaciones a proteger, b) los niveles de señal de las mismas, c) el nivel de calidad de la recepción necesaria y d) los límites de tiempo en la interferencia prevista.

Para la definición de la franja perturbada, se utilizan los procedimientos indicados por el Comité [CISPR], también coincidente con las normas de la Comisión Nacional de Comunicaciones [CNC], que fija un nivel máximo de Radiointerferencia (RI) en cincuenta y cuatro decibeles (54 dB) durante el ochenta por ciento (80%) del tiempo, en horarios diurnos (Norma SC-S-3.80.02/76- Resolución ex-SC Nº 117/78), medidos a una distancia horizontal mínima de cinco (5) veces la altura de la línea aérea en sus postes o torres de suspensión (Norma SC-M-1-50.01).

En el Laboratorio de Estudios en Comunicaciones, Espectro y Radio, LECER, se estudiaron niveles de Radio interferencias [RI] en función de los siguientes parámetros: las frecuencias (espectro de frecuencia), la distancia de la línea (perfil transversal) y las condiciones atmosféricas.

El Espectro de frecuencia**, r**epresenta la variación del nivel de radiointerferencia, en función de la frecuencia. La forma de la distribución es similar a una curva de Gauss, donde los niveles mas apreciables están entre 0,15 MHz y 30 MHz con valores máximos de densidad cercanos en la frecuencia central de esta Banda (en los 2,12 MHz). Esta forma del espectro de frecuencia de las radio interferencias es la misma para varias distancias de la línea y en diferentes condiciones de tiempo, trasladándose solamente en magnitud [4]

El Perfil transversal corresponde a la variación del nivel de interferencia en función de la distancia al centro de la línea, en una trayectoria perpendicular a la misma, por el centro del vano. Se determina a una altura de 2 metros sobre el nivel del suelo, a una frecuencia mayor de 0,5 MHz [5] y distancias laterales que no excedan los 200 metros. Este perfil transversal en todos los casos presenta un rápido decremento, de modo que para distancias superiores a 200 metros el efecto de radio interferencia llega a ser despreciable.

Tejada Martínez, en el año 2000 [6] coincidiendo con Kanya Kumasi en 1999 [7] publicaron que debido a la utilización de tensiones de transmisión cada vez mayores, las emisiones debidas al efecto corona se presentan en un *mas amplio rango de frecuencias* y pueden interferir en el funcionamiento normal de nuevos dispositivos electromagnéticos y electrónicos localizados en la cercanía de estas líneas. Para mitigar este efecto, éstos deben instalarse a distancias seguras de la línea de potencia, razón por la cual es necesario estimar los niveles de radiointerferencia a diferentes distancias de ella [8] [9] [10]

1.1 Parámetros de los niveles de radiointerferencia RI

Estas consecuencias señaladas en la sección anterior pueden llegar a alcanzar valores económicamente considerables o molestias en la población aledaña a las líneas. La pérdida de potencia típica es de un 3% de la potencia transmitida por cada 100 Km. de la longitud de la línea [11] La presencia del efecto se manifiesta por luminiscencias, un sonido silbante y se percibe también la formación de ozono. Por otro lado, este fenómeno es causa, además de las pérdidas de energía, de una distorsión en la propagación de ondas, así también como las oscilaciones electromagnéticas de muy alta frecuencia que se transmiten a lo largo de la línea y que provocan las perturbaciones en las señales de radio y televisión en sus inmediaciones [1] [12] [13]

Esta interferencia puede definirse como una degradación en el desempeño de un equipo, canal de transmisión o sistema causado por el disturbio. Generalmente, esta perturbación se presenta en puntos distribuidos aleatoriamente a lo largo de los conductores de la línea. El número de fuentes del efecto depende en gran manera de las condiciones climáticas. Para un buen clima (templado, sin lluvia) se generan unas cuantas fuentes de corona separadas por largas distancias. Para malas condiciones climáticas (lluvia, nieve), el número de fuentes de corona así como la intensidad de las descargas será mucho mayor [14] El nivel depende de un buen número de parámetros; algunos están relacionados con la geometría de la línea como son las dimensiones, su posición en el espacio y la intensidad de campo eléctrico en la superficie de los conductores. No obstante, otros parámetros dependen del medio ambiente, por ejemplo, el estado en la superficie de los conductores y condiciones climáticas. La estimación de estos últimos parámetros es más complicada y debido a su existencia el nivel de radiointerferencia en clima seco es inestable y fluctuante. Estas fluctuaciones combinadas con otras debidas a la variación de la tensión en las líneas, hacen muy difícil determinar exactamente y en forma analítica los niveles de RI. Por otro lado los avances en la tecnología en las últimas décadas y los problemas de compatibilidad electromagnética debidos a este fenómeno abarcan una gama de dispositivos de telecomunicación cada vez mayor [15]

Es entonces que, la determinación analítica de radiointerferencia en ambiente seco se realiza generalmente a través de estudios estadísticos y bajo condiciones de lluvia densa el nivel se mantiene más estable. Esta propiedad permite *considerar el valor de radiointerferencia bajo lluvia densa como el valor característico de una línea, a*demás constituye en la práctica el máximo nivel de RI que la línea puede generar [16] A fin de facilitar el análisis, se han establecido algunos patrones extremos de referencia; lluvia densa (heavy rain) y buen tiempo (fair weather). El nivel más alto de RI se observa usualmente durante lluvia densa de 1 mm/hora o nieve [2] [18] [22]

En Argentina una Resolución de la Secretaría de Energía, establece valores máximos admisibles de radiointerferencia y de ruido audible [17], como así tambien la Comisión Nacional de Comunicaciones (CNC) que fija un nivel máximo de Radio Interferencia (RI) en *cincuenta y cuatro decibeles* (54 dB) durante ochenta por ciento (80%) del tiempo, en horarios diurnos (Norma SC-S-3.80.02/76 y Resolución ex-SC Nº 117/78), medidos a una distancia horizontal mínima de cinco (5) veces la altura de la línea aérea en sus postes o torres de suspensión.

En esta estimación los parámetros que afectan las observaciones son principalmente la variación de la tensión de la línea, las condiciones meteorológicas y

la superficie de los conductores a que se ven expuestos por una serie de agentes, tanto de origen climático (nieve, hielo, rocío, etc.) como de naturaleza diversa (polvo, insectos, etc.)

En este trabajo se analizan los niveles de radiointerferencia (RI), obtenidos experimentalmente, describiéndose un método desarrollado para determinar los mismos por medición del campo eléctrico, basado en la comparación de los niveles de perturbación que produce la LAT, con los niveles de señales útiles de otros sistemas de comunicaciones existentes en el Medio Ambiente.

2 Materiales y Métodos

A fin de conocer si los niveles de radiointerferencia que genera una línea de transmisión LAT, son aceptables, es necesario expresarlos en términos cuantitativos, lo cual implica el uso de instrumentos de medición [19]

En general, los instrumentos utilizados en la medición de radiointerferencia ocasionada por las líneas de transmisión constan de una antena acoplada a un detector de radiofrecuencia, el cual cubre el rango de la interferencia en cuestión. Para la medición de la radiointerferencia generada por líneas de transmisión se deben tomar en consideración aspectos como la localización de la medición, la calibración de los instrumentos y otras fuentes de ruido cercanas a la línea [20]

Debido a que existen diferentes tipos de antenas, se tiene que considerar el tipo de ruido que se desea medir y la frecuencia de medición para seleccionar el instrumento mas adecuado. Las mediciones de RI en AM pueden realizarse con antenas que van de 0,5 a 30 MHz y para el caso de interferencia en la transmisión de señales de video (TVI), se recurre al uso de antenas de más amplio rango de frecuencia (150 a 200 MHz). En vista de que por encima de los 200 MHz se reduce drásticamente la sensibilidad de los dipolos, es necesario utilizar sondas bicónicas para frecuencias mayores a esta frecuencia [2]

2.1 Perfil transversal de la Radiointerferencia (RI).

En la práctica es de gran importancia el conocimiento de la radiointerferencia a cierta distancia de la línea, lo que se suele denominar perfil transversal. El perfil se mide a una altura de 2 m sobre el nivel del suelo, hasta una distancia máxima de 200 m del conductor [2] [17] [21]

Lógicamente los niveles de RI van disminuyendo conforme aumenta la distancia a la línea. Por otro lado, es importante eliminar cualquier fuente de perturbación así como tomar en consideración la proximidad a subestaciones, torres de alta tensión y cualquier variación brusca de terreno.

Se han encontrado evidencias de "*ruido armónico*" a frecuencias superiores a 30 y 200 MHz, con intensidades mas débiles, pero la posibilidad de influir en algunos tipos de sistemas de comunicaciones de seguridad y control, próximos a las líneas o estaciones transformadoras [22]; es por ello que se creyó conveniente considerar el rango de frecuencia en uno mas amplio. Esto condujo a modificar la metodología de medición realizada con dipolo + receptor radio + meter, en las tres direcciones x, y, z

y efectuarla con una *sonda banda ancha*, obteniendo el valor eficaz de la señal de perturbación, producida por la LAT, en una banda de ancho mas amplia comparándola a la señal útil existente en el Medio Ambiente de otros sistemas de comunicaciones. El equipo EMR 300, permite realizar esta medición del campo eléctrico (valor rms) y determinar la radiointerferencia debajo de la LAT, incluyendo las frecuencias bajas y un rango amplio de señales más altas.

Los valores experimentales de los niveles de interferencia [RI], se compusieron determinando, los niveles de campos eléctricos interferentes producidos por las LATs, relacionados al campo eléctrico de las señales útiles de sistemas de telecomunicaciones existentes, tomadas de referencia y medido a una distancia de 200 m de las líneas estudiadas. La expresión utilizada finalmente para calcular el nivel de Radiointerferencia RI es la ecuación (1) según [23]

$$RI(dB) = 20 * LOG\left(\frac{E_{LAT}}{E_{\mathrm{Re}\,f}}\right) \tag{1}$$

Las mediciones se deben realizar a 2 m sobre el nivel del suelo; pero si por limitaciones de altura del sostén del instrumento, se hiciera a 1,5 m , se corrige el valor medido, sumando la cantidad:

$$C_{altura} = 20 * LOG\left(\frac{2}{1{,}5}\right) = 2{,}5dB$$

Entonces el valor de radiointerferencia es:

$$RI(dB) = 20 * LOG\left(\frac{E_{LAT}}{E_{\mathrm{Re}\,f}}\right) + 2{,}5dB \tag{2}$$

2.2 Nivel representativo total de la línea.

Una vez calculados los niveles de Radio Interferencia [RI], corregidos a 0,5 MHz, en cada Fase en un punto dado, hasta una distancia mayor a los 50 metros, la regla evalúa el nivel total de la línea según el siguiente procedimiento utilizado por Osorio N. M [24]: "*luego de ordenar de mayor a menor los niveles de cada fase, se verifica si la diferencia del superior con respecto al más cercano es mayor o igual a 3db; Si es así, se considera este nivel como el representativo total de la línea"*. En el caso de que se cumpla la condición anterior, se promedian los dos niveles mayores a la izquierda y la derecha, RI_i y RI_d y se le suman 1,5 dB al resultado, siendo (ecuación 3), el valor resultante el nivel RI total representativo de la línea**:**

$$RI(dB)_{\mathrm{Re}\,presLAT} = \left(\frac{RI_{izq} + RI_{dere}}{2}\right) + 1{,}5dB \tag{3}$$

Esto es considerando que una línea trifásica genera tres campos de interferencia desplazados en el tiempo y cada fase de la línea genera un campo de interferencia en el periodo en el cual se originan las descargas corona (streamers) positivas, es decir, en los valores cercanos al pico positivo del voltaje senoidal. Por consiguiente, si se coloca el instrumento de medición cercano a la línea, este medirá el nivel de RI total siguiendo el criterio establecido por el CISPR [6], el cual indica que si uno de los campos es más alto que los demás por más de 3dB, el instrumento de medición sólo

tomara en cuenta dicho campo. De lo contrario, se tomaran los dos campos más altos y se aplicará la ecuación (2) para obtener el campo total [22].

3 Resultados

En el marco del Proyecto de investigación Cod. 25/J055 UTN, se realizaron en Mendoza, San Rafael, San Juan y Neuquén, mediciones en mas 76 líneas de Alta Tensión, en las salidas/entradas de las Estaciones Transformadoras ETT y en perfiles de diferentes vanos en limites de las franjas de servidumbre de las Líneas, obtenidos según el método presentado en esta publicación. Teniendo presente el valor límite establecido de 54 dB, se puede concluir que los mismos, *se encuentran por debajo de ese valor, lo que indica el cumplimiento de lo establecido por las normas en la totalidad de las LAT estudiadas.*

3.1 Casos de aplicación.

Se determinaron los perfiles de RI en dB, en un rango de distancias de 0 a 150 m, a 2m del nivel de suelo de LAT con diferentes configuraciones, horizontal, triangular y vertical. Se muestran algunas de ellas y los niveles de Ri en sus perfiles transversales.

En la figura 1 se muestra la configuración horizontal de una línea de 220KV.

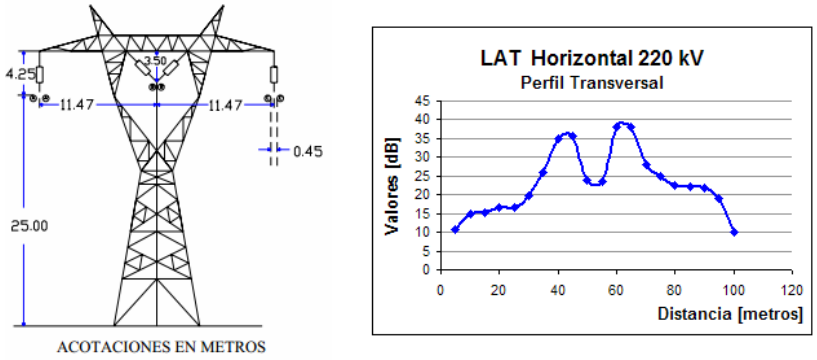


Figura 1. Estructura de configuración horizontal típica y Gráfico de la distribución del campo eléctrico en el perfil transversal tipo de la LAT.

En la figura 2 se muestra la estructura de configuración horizontal, 132 kV

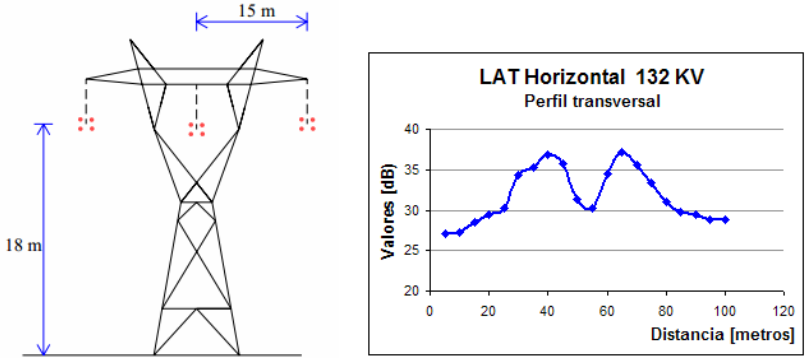


Figura 2. Estructura de configuración horizontal y Grafico de la distribución de RI en el perfil transversal LAT de 132 KV.

En la figura 3 se muestra la estructura de configuración triangular de 132 KV.

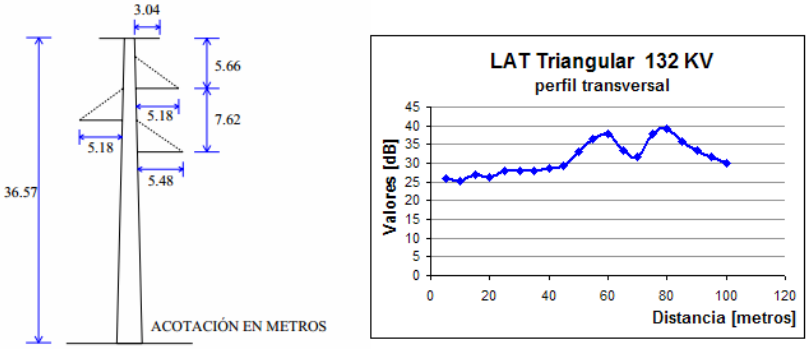


Figura 3. Estructura de configuración triangular y Gráfico de la distribución de RI en dB en el perfil transversal.

En la figura 4 se muestra una estructura de configuración Vertical de 2 x 220 kV

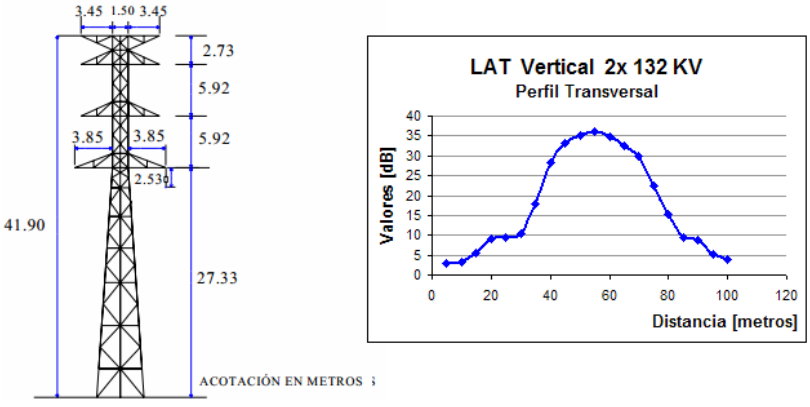


Figura 4. Estructura de configuración vertical doble y Gráfico de la distribución de RI (dB) en el perfil transversal.

3.2 Análisis de los resultados experimentales.

Aplicación de las técnicas de análisis multivariante**.** Para la aplicación de las técnicas de análisis multivariante fue necesario tabular los datos en diversas tablas de distinta naturaleza (cualitativa y cuantitativa), en función del conocimiento que se desea extraer para cada caso.

El análisis de la tabla de datos, sigue la estrategia de Lebart [25], que consiste en realizar el análisis factorial según la naturaleza de los datos, la clasificación jerárquica y la caracterización de los tipos de estructuras utilizando los Valores Test, que son índices descriptivos construidos siguiendo la metodología de pruebas de hipótesis.

Se elaboraron dos tablas:

a) una tabla disyuntiva con las modalidades de las variables tipo estructura (horizontal, vertical y triangular), y potencia (66, 132 y 220 KV), junto con las mediciones de RI y se trató como una *tabla continua cuantitativa*.

b) Posteriormente, discretizada en rangos la variable de clase RI (tabla 1), se armo una base de datos junto al tipo de estructura y potencia.

Tabla 1. Resultados Discretización en rangos de Radiointerferencias RI**.**

RI	Limite inferior	Limite Superior	Frecuencia	Clase	Centroide de Clase
RI (22ª26) 1	22,2250	26,0000	2	1	24,113
RI (26ª30) 2	26,0000	29,8000	9	2	28,691
RI (30ª33) 3	29,8000	33,0100	20	3	32,024
RI(33ª36) 4	33,0100	35,7000	13	4	34,290
RI (36ª40) 5	35,7000	40,0895	22	5	38,538
RI (40ª44) 6	40,0893	44,3050	7	6	42,067
RI (44ª50) 7	44,3050	50,0000	3	7	47,690

Se realizó un Análisis Factorial de Correspondencias Múltiples AFCM para visualizar las asociaciones, obteniéndose el *Cartografiado* con modalidades de rangos, potencias y tipos de señal proyectados en el plano. Se observa en la Figura 5, las asociaciones significativas considerando las distancias, se visualiza que las estructuras vertical son de mayor Ri [36 a 40 dB] que las Triangulares con Ri menor [26 a 30 dB]. Para la obtención de los Clustering significativos se realizó la caracterización con el procedimiento de descripción de modalidades (DEMOD), según Lebart at. ed [25].

De las mediciones realizadas en Líneas de Alta Tensión, en la Campaña 2008 - 2011, se han identificado cinco Clusters significativos, caracterizados por los niveles de radiointerferencias RI representativos de Línea, el tipo de estructura y la potencia:

Cluster 1. Grupo de mediciones que presentaron radiointerferencias RI con niveles entre 22 a 30 dB, en Líneas LAT de *estructura Triangular* y *potencias 132KV*, que irradian con 24 dB menos del nivel máximo permitido (54dB).

Cluster 2. Grupo de mediciones que presentaron radiointerferencias RI con niveles entre 30 a 33 dB, en Líneas LAT de *estructura Horizontal y potencia 66KV*, que irradian con 21 dB menos del nivel máximo permitido (54dB).

Cluster 3. Grupo de mediciones que presentaron radiointerferencias RI con niveles entre 33 a 36 dB., en Líneas LAT de *estructura Horizontal y potencia 132KV*, que irradian con 18 dB menos del nivel máximo permitido (54dB).
Cluster 4. Grupo de mediciones que presentaron radiointerferencias RI con niveles entre 36 a 40 dB, en Líneas LAT de estructura *Vertical y potencia 132KV*, que irradian con 14 dB menos del nivel máximo permitido (54dB).
Cluster 5. Grupo de mediciones que presentaron radiointerferencias RI con niveles entre 40 a 49 dB, en Líneas LAT de *estructura Horizontal y potencia 132KV y 220KV*, que irradian con 5 dB menos del nivel máximo permitido (54dB). Se han encontrado mediciones en LAT de *estructura Vertical de 2 x136 KV*, con niveles de RI próximas a 50 dB, es decir, irradiando sólo con 4 dB menos del nivel máximo permitido.

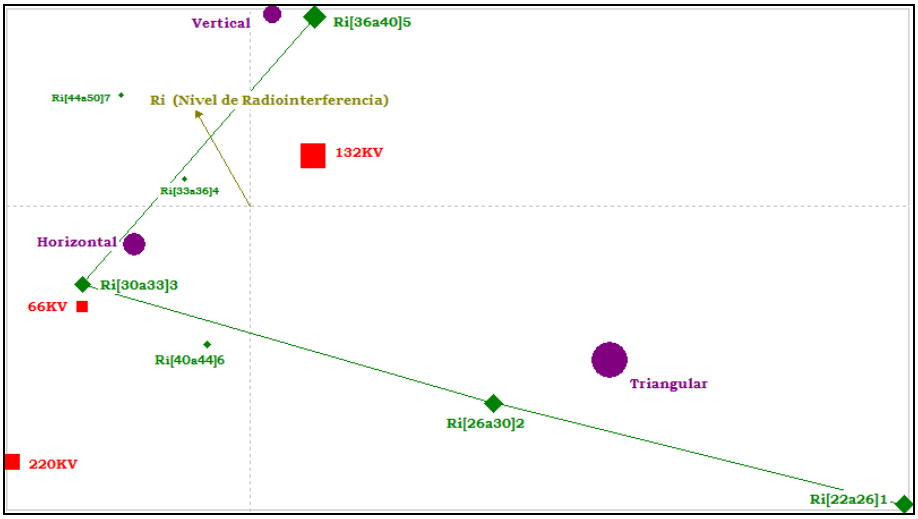


Figura 5. Gráfico del Análisis de Correspondencias Múltiples en función de potencia tipo y RI discretizado. Rombos representan la proyección de rangos de RI.

4 Conclusiones

El procedimiento experimental y las expresiones (2) y (3) para el cálculo, permiten estimar con bastante realidad el nivel representativo de Radiointerferencias de una Línea Aérea de Alta Tensión LAT, en forma simple.

Debido a que en la actualidad la tecnología en las comunicaciones a altas frecuencias ha venido desarrollándose considerablemente, se ha visto la necesidad de contar con herramientas para la determinación de los niveles de radiointerferencia que genera una línea de transmisión, con el fin de seleccionar distancias seguras de instalación de líneas de comunicación y dispositivos electromagnéticos que pueden ser afectados debido a la interferencia electromagnética generada por el efecto corona en líneas de alta tensión, desde bajas hasta muy altas frecuencias.

Se puede concluir que los niveles de Radiointerferencia RI [dB] encontrados en las mediciones de perfiles de líneas de Alta Tensión, *se encuentran por debajo del valor límite de 54 dB, lo que indica el cumplimiento de lo establecido por las normas en la totalidad de las LAT estudiadas*, y figura una muestra, representativa de las LAT medidas y sus valores de Radiointerferencias RI [dB].

El campo Eléctrico debido al "*Efecto Corona*", medido en el centro de las LAT, ha permitido, también, determinar la *tasa específica inducida estimada de* SAR (energía absorbida por el cuerpo humano). Para el mayor valor de campo eléctrico encontrado en las mediciones realizadas, de E_{max} = 19,68 [V/m], corresponderían, una densidad de flujo de potencia de S_{max} = 0,1027 mW/cm^2, valor este por debajo del limite establecido considerado de referencia de S_{lim} = 0,2 mW/cm^2 y un SAR $_{(aprox.\ Inducido)}$ = 0.2735 w/kg, también, valor por debajo del limite establecido de 1,2 wkg.

REFERENCIAS

1. Resolución Nº 77/1998 Secretaria de Energía: Ampliación al Manual de Gestión Ambiental del Sistema de Transporte Eléctrico de Extra Alta Tensión. Argentina 1998.
2. Siegert L. A.: Alta Tensión y Sistemas de Transmisión. Editorial Limusa, 1988.
3. CISPR) Nº 18, partes, 1, 2 y 3 Comité Internacional Especial de Perturbaciones Radioeléctricas. 1999
4. Sarma Maruvada P., Corona Performance of High-Voltage Transmission Lines Research Studies Press Ltd., England 2000.
5. C.I.S.P.R. Publication 16: Specification of radio interference measuring aparatus an measurements method. Publication 18: Radiointerference characteristics of overhead power lines and high voltage equipment. Methods of measurement and procedure for determinig limits 1999.
6. Tejada Martínez C.: Radiointerferencias en LAT. Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Departamento de Ingeniería Eléctrica].
7. Sarma Maruvada P.: Corona Performance of High-Voltage Transmission Lines Research Studies Press Ltd., England 2000.
8. Kanya Kumari M., O. Rajesh Kumar, P.V. Nambudiri, K. Srinivasan N.: Computation of Electrical Environmental Effects of Transmission Lines. High Voltage Engineering Symposium, 22 – 27 August 1999, Conference Publication No. 467, IEE, 1999.
9. Nayak,] S. K. Joy Thomas M.: Computation of EMI Fields Generated Due to Corona on High Voltage Over Head Power Transmission Lines, In Proceedings International Conference on Electromagnetic Interference and Compatibility, 2001/02, pages: 15-19, Bangalore, India, 2001.
10. Nayak, S. K. Joy Thomas M.: A Novel Technique for the Computation of Radiated EMI due to Corona on HV Transmission Lines, Electromagnetic Compatibility, IEEE International Symposium on. Volume 2, Issue, 18-22 Pages:738-742, Aug. 2003.
11. Checa L. M.: Líneas de Transporte de Energía, 3ra edición, Editorial Marcombo, Barcelona España, 1988.
12. Vernieri J., Arnera P., Massei C.: Exposición a Campos Eléctricos y Magnéticos de Frecuencia Industrial y sus Posibles Efectos en la Salud Humana, Reglamentaciones de Valores Límites de Exposición: Seguimiento y Actualización, IX Encuentro Regional Latino Americano del Cigré, 27 al 31 de Mayo, Brasil 2001.
13. http://www.who.int/peh-emf/project/es/.
14. Sarma Maruvada, P. Corona Performance of High-Voltage Transmission Lines Research Studies Press Ltd., England. 2002.

15. Clayton P.: Introduction R. to Electromagnetic Compatibility, Wiley – Interscience Publication, United States 1992.
16. Gary C. H.: The Theory of the Excitation Function: A Demonstration of its Physical Meaning, IEEE Winter Power Meeting, New York, N.Y., January 31 –February 5, 1971.
17. Moreau M. R., Gary C. H.: Predetermination of the Radio-Interference Level of High Voltage Transmission Lines. II – Field Calculating Method, IEEE Summer Meeting and International Symposium on High Power Testing, Portland, Ore., July 18 -23, 1971
18. Gary C. H. : "The Theory of the Excitation Function: New Demonstration of its Physical Meaning, IEEE Winter Power Meeting, New York, N.Y., January 31 , 1982.
19. Project VHV, Transmission Line Reference Book 145 kV and Above, Second Edition, Electric Power Research Institute, Palo Alto, California, 1982.
20. Project UHV, Transmission Line Reference Book 347 kV and Above, Second Edition, Electric Power Research Institute, Palo Alto, California, 1999..
21. Nayak S. K., Joy Thomas M.: Computation of EMI Fields Generated Due to Corona on High Voltage Over Head Power Transmission Lines In Proceedings International Conference on Electromagnetic Interference and Compatibility, 2001, pages: 15-19, Bangalore, India, 2001
22. Tejada Martínez, Gómez Zamorano P. , Escamilla Sánchez J. C.: Análisis de la Radiointerferencia Debida al Efecto Corona en Líneas de Transmisión de Alta Tensión C. Departamento de Ingeniería Eléctrica, SEPI-ESIME, IPN, México E-mail: ctejadam303@ipn.mx)
23. LECER 2007.:Método para la determinación de Radiointerferencias en Líneas de Alta Tensión LAT. Laboratorio de Estudio en Comunicaciones Espectro y Radio. Departamento de Electrónica. Facultad Regional Mendoza. Universidad Tecnológica Nacional. 2007.
24. OSORIO, N. M.: Métodos para el cálculo de Radiointerferencias RI por efecto corona en líneas de AT. y EAT. 1990.
25. Lebart, Morineau y Fenelon: Tratamiento Estadístico de Datos, Ed. Marcombo, Esp. 1983.

Inventario de Emisiones a la Atmósfera de Compuestos Orgánicos Persistentes en Mendoza para el Año 2011

David G. Allende[1,2], Belén N. Lana[2,3,4], Karina Garro[1] , Jorgelina C. Altamirano[2,3,4], María F. Ruggeri[1,2] y Salvador E. Puliafito[1,2].

1: Grupo de Estudios de la Atmósfera y el Ambiente
Facultad Regional Mendoza
Universidad Tecnológica Nacional
Rodríguez 273 Ciudad, Mendoza (M5502AJE)
e-mail: david.allende@frm.utn.edu.ar, kmgarro@gmail.com,
m.florencia.ruggeri@gmail.com, epuliafito@frm.utn.edu.ar
web: http://www.frm.utn.edu.ar/geaa/

2: Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

3: Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias del Ambiente (IANIGLA-CONICET)

4: Instituto de Ciencias Básicas, Universidad Nacional de Cuyo (UNCuyo)
Av. Ruiz Leal S/N, Parque General San Martin, Mendoza 5500
e-mail: blana@mendoza-conicet.gov.ar, jaltamirano@mendoza-conicet.gov.ar
web: www.cricyt.edu.ar/lisamen/

Resumen. El presente trabajo trata la identificación y análisis de fuentes específicas de Contaminantes Orgánicos Persistentes (POPs: Persistent Organic Pollutants) junto con el cálculo de posibles emisiones, en el área del Gran Mendoza, durante el año 2011. Particularmente se estimaron las emisiones de Bifenilos Policlorados (PCB), Hexaclorobenceno (HCB), Diclorodifeniltricloroetano (DDT), y Éteres bifenilos polibromados (PBDE). Debido a la gran variedad de fuentes y compuestos involucrados y a las limitaciones en la disponibilidad de información, no se utilizó un método armonizado para todos los compuestos en la preparación del inventario. Los datos presentados en este estudio proporcionan un panorama general de las emisiones de POPs en el Gran Mendoza, aunque en algunos casos, se basaron solamente en información representativa, especialmente en el uso de factores de emisión genéricos. Finalmente, se destaca la necesidad de un esfuerzo mayor en la identificación y caracterización de emisiones difusas, no solamente para la obtención de relaciones entre fuentes y receptores, sino también para el desarrollo de estrategias de control específicas. Información detallada sobre las emisiones de POPs resulta esencial para interpretar niveles actuales y futuros de contaminación en áreas remotas. Asimismo, esta información es crucial para lograr una reducción en la carga de estas sustancias, tanto a nivel local como regional.

Palabras Clave: Inventario de Emisiones Atmosféricas, Contaminantes Orgánicos Persistentes, Gran Mendoza, Calidad de aire.

1 Introducción

Los Contaminantes Orgánicos Persistentes, conocidos internacionalmente por sus siglas en inglés como "POPs" (Persistent Organic Pollutants) son un grupo de compuestos químicos muy heterogéneo, de origen antrópico, que resultan de gran interés por su incidencia en el ambiente y en los seres vivos. La particular combinación de sus propiedades físicas y químicas permiten que una vez liberados al ambiente permanezcan intactos por largos periodos de tiempo (persistentes), se distribuyan ampliamente sobre la superficie terrestre (transporte a largas distancias), se acumulen en tejidos adiposos de organismos vivos (bioacumulación) y por lo tanto ingresen a la cadena alimentaria (biomagnificación) de manera de convertirse en sustancia tóxica tanto para los seres humanos como para otros organismos vivos (efectos adversos) [1].

Dentro de los efectos que estas sustancias pueden producir sobre la salud se destacan: alergias e hipersensibilidad, cáncer, daño al sistema nervioso central y periférico, desórdenes reproductivos y alteraciones del sistema inmune. Algunos POPs son también considerados disruptores endocrinos, los cuales pueden alterar el sistema hormonal y producir daños en el desarrollo neurológico.

Entre los POPs más importantes se pueden citar a los compuestos aromáticos clorados y bromados, como los PCBs y PBDEs, pesticidas organoclorados como el DDT, entre otros.

El uso explícito de estas sustancias en procesos industriales, aplicaciones agrícolas y artefactos de uso doméstico, como así también la generación no intencional de los mismos a través de quema de residuos o combustión de ciertos compuestos, han favorecido durante décadas su liberación al ambiente, lo cual ha permitido detectar su presencia en zonas remotas muy lejanas a su fuente de generación.

El conocimiento de las fuentes de emisión de los contaminantes orgánicos persistentes en el medio ambiente es un factor esencial para establecer las relaciones cuantitativas fuente-receptor, y si se desea reducir las cargas ambientales de manera rentable [2].

La realización del inventario se basó en la experiencia de inventarios en otros países, revisión de literatura técnica y datos obtenidos de recopilaciones estadísticas locales.

El cálculo de las emisiones (E) se llevó a cabo utilizando factores de emisión (F: emisión potencial de una sustancia dada por unidad de referencia de un producto o compuesto) y niveles de actividad (A: valores de consumo o producción) según la ecuación:

$$E = F \times A. \quad (1)$$

1.1 Área de estudio

La provincia de Mendoza se localiza en el centro oeste de la República Argentina en la diagonal árida sudamericana, entre los 32º y 37º 35' de latitud sur y los 66º 30'y 70º 35' de longitud oeste. Su característica más distintiva lo constituye su clima árido en la mayoría de su territorio (con unos 250.000 km^2) con precipitaciones menores a 220

mm anuales. El 70% de la población de Mendoza está situado en el Oasis Norte con alrededor de 900.000 habitantes. Está formado por seis municipios: Ciudad de Mendoza (o departamento Capital), Las Heras, Guaymallén, Godoy Cruz, Luján y Maipú y tiene una extensión urbana aproximada de 370 kilómetros cuadrados y una densidad demográfica media urbana de 2800 hab/km^2. La Provincia de Mendoza participa con el 4,5 % del PBI nacional, mientras que el área metropolitana alcanza los 2,5 %. El Oasis Norte es el más extenso de la Provincia y uno de los más importantes en el país. Este oasis posee una especialización agrícola, donde prevalece el cultivo de vid, combinado con la horticultura y frutales, especialmente hacia el este. El área urbana del Gran Mendoza ocupa un área de 16.700 km^2 sobre el Oasis Norte, extendiéndose de forma casi regular hacia el Nordeste, Este y Sur, mientras que las estribaciones de la Cordillera, impiden el crecimiento en las direcciones Norte y Oeste. Se trata de la cuarta aglomeración del país con 1.230.000 habitantes, siendo la más importante fuera de la Pampa Húmeda. El centro urbano se ubica en una zona árida a semiárida, de precipitaciones bajas (120-400 mm anuales), principalmente en meses de verano. La cercanía de la Cordillera de Los Andes tiene una fuerte influencia en la meteorología y en la calidad de aire locales, debido a la circulación típica valle-montaña de variación diaria. La velocidad de viento media anual es alrededor de 2,6 m/s con un 26% de calmas. Las direcciones predominantes son S, S-SW, E-SE y E. El área presenta baja humedad relativa (50%), baja incidencia de niebla y pocos días cubiertos (65-75 días /año) [3], [4].

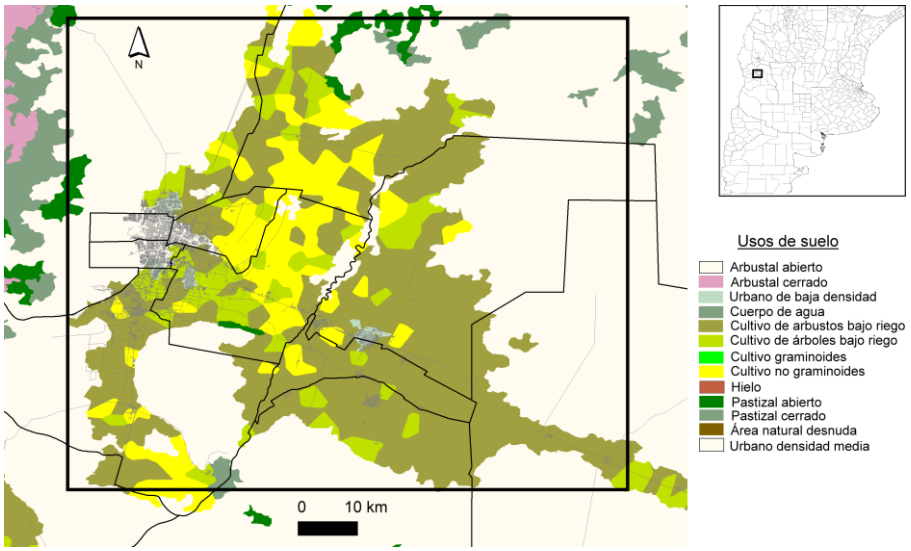


Fig. 1. Diagrama del área en estudio, incluyendo un acercamiento al Oasis Norte en el que se ubica el Gran Mendoza (32° 53' S, 68° 50'W) hacia el oeste de la República Argentina.

Para la realización del inventario y la desagregación espacial del mismo se eligió un dominio de 36 x30 km2 centrado en el Oasis Norte, abarcando la totalidad de los departamentos de Capital, Godoy Cruz, Guaymallén, Maipú, Junín, San Martín y parte de Rivadavia, Luján de Cuyo, Lavalle, Las Heras y Santa Rosa (Figura 1).

2 Materiales y métodos

En ese trabajo se estimaron las emisiones de Bifenilos Policlorados (PCB), Hexaclorobenceno (HCB), Diclorodifeniltricloroetano (DDT), Hexaclorociclohexano (HCH) y Éteres bifenilos polibromados (PBDE). Debido a la gran variedad de fuentes y compuestos involucrados y a las limitaciones en la disponibilidad de información, no se utilizó un método armonizado para todos los compuestos en la preparación del inventario. Los datos provenientes del inventario se desarrollaron a escala regional utilizando un Sistema de Información Geográfica, utilizándose las estadísticas del período 2010-2011.

2.1 Bifenilos policlorados (PCB)

Los PCBs son compuestos altamente insolubles, lipofílicos y semivolátiles que están clasificados como probablemente carcinógenos en humanos y han sido relacionados con efectos subcrónicos como reducción en fertilidad masculina y dificultades cognitivas y en el aprendizaje. Son extremadamente persistentes y poseen la capacidad de acumularse en la cadena alimentaria.

Encuentra su aplicación en sistemas de refrigeración y en la industria eléctrica (condensadores y transformadores); como impermeabilizador de superficies de madera y cemento; como fluidos hidráulicos y lubricantes para cortar [5].

A la fecha, existen estudios sobre la producción y uso de PCBs en escala regional y algunos inventarios locales , pero a pesar de estos esfuerzos, la determinación de los volúmenes de PCBs procedentes de diversas fuentes es todavía incierto y permanece como un campo a investigar, particularmente debido a que los PCBs no eran considerados peligrosos hasta recientemente.

2.1.1 Fuente analizadas

Si bien los PCBs se usaron masivamente hasta mediados de 1970 como aislantes para equipos eléctricos como transformadores, interruptores, capacitores y termostatos [5], en el proceso de este inventario, se identificó que Mendoza fue una de las provincias pioneras en la eliminación de este producto, siendo la primera en retirarlo en el año 2011 en un 99,9% de los transformadores de la provincia. En tal sentido, no se considera a este tipo de equipamiento eléctrico como fuente relevante de PCB.

Asimismo, en el área de estudio no existen centros productivos de hierro o acero, que por medio de procesos térmicos sobre cantidades traza de precursores clorinados forman posteriormente este tipo de compuestos.

Pueden resultar emisiones de estos compuestos a partir de materiales de construcción donde los PCBs se usan como plastificantes o en pinturas conteniendo este tipo de aditivos, sin embargo, no ha sido posible todavía estimar la magnitud de la emisión debido a la falta de información específica sobre el nivel de actividad.

Una fuente bien conocida de PCBs es la formación como subproducto debido a la quema de desechos municipales [5], [6]. Los Residuos Sólidos Urbanos en el área metropolitana del Gran Mendoza, salvo el Municipio de Maipú que posee una planta

de tratamiento donde se separan los materiales reciclables, carecen de sitios de disposición final adecuada y solamente en algunos vertederos, se tapa la basura y permite la extracción de materiales reciclables mediante procedimientos rudimentarios. En éstos, la quema a cielo abierto es una práctica común que permite reducir volumen, pero es altamente variable y difícil de caracterizar.

Otra fuente conocida de PCBs es la quema de Fuel Oil [6]. Este combustible en ocasiones es usado en la Central Térmica de Luján de Cuyo y fue la única fuente considerada en este estudio.

2.2 Hexaclorobenceno (HCB)

Este compuesto aromático clorado catalogado entre los veinte orgánicos permanentes de la Convención de Estocolmo, se presenta, por sus características fisicoquímicas, como el más persistente del grupo [2], [7], [8].

Comenzó a utilizarse en 1933 como fungicida para proteger cultivos como cebolla, trigo y otros granos del ataque de hongos. Entre sus usos se destacan: fabricación de pirotecnia, caucho sintético, como plastificante de madera y en la fabricación de cemento [9]. Una fuente no intencional de emisión de esta sustancia es la quema de residuos urbanos.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) clasifica al HCB como sumamente peligroso desde el punto de vista toxicológico (Categoría 1a) y posiblemente carcinógeno para seres humanos. En dosis elevadas, el HCB es mortal para algunos animales y, a niveles inferiores, afecta negativamente a su éxito reproductivo. El HCB se ha encontrado en alimentos de todo tipo. Un estudio realizado en China [7] determinó la presencia de HCB en muestras de leche y tejidos adiposos humanos.

2.2.1 Fuentes analizadas

Dentro de las fuentes mencionadas anteriormente, se analizaron las detalladas a continuación, ya que se presentaron como las presentes en el Gran Mendoza:

- Quema de residuos a cielo abierto.
- Uso de pesticidas.
- Producción de cemento.

2.3 Diclorodifeniltricloroetano (DDT)

El DDT es un insecticida organoclorado sintético de amplio espectro, acción prolongada y estable, aplicado en el control de plagas para todo tipo de cultivos desde la década de 1940 [10].

Tiene aplicación industrial y doméstica. Su efecto tóxico, luego de ser aplicado, se conserva durante años (alto poder residual); un campo tratado con DDT conserva, luego de diez años el 50% de la cantidad aplicada. Se calcula que desde su invención en 1939 se han consumido, mundialmente, un millón de toneladas, gran parte de las cuales se encuentran aún dispersas en aguas, tierras y organismos [11].

Su acción no es selectiva, su aplicación provoca no sólo la muerte inmediata y masiva del insecto plaga, sino también la de insectos benéficos y a mediano y largo plazo la de infinidad de otros organismos (peces, aves y mamíferos).

Una vez aplicado se dispersa y difunde tanto sobre el medio terrestre como el acuático. Se han encontrado pingüinos y focas en la Antártida y en el Ártico contaminados con DDT.

Estas características y la propiedad bioquímica de acumularse en el tejido adiposo (grasas), provocan que este insecticida ingrese en la red trófica de los ecosistemas y se acumule y concentre en los órganos de los animales (bioacumulación) provocando intoxicación y muerte masiva, en muchos casos [12].

A través de los distintos niveles tróficos su concentración aumenta. Un pez intoxicado puede llegar a tener 10.000 veces más DDT que la cantidad presente en el agua.

Los mutantes sobrevivientes al DDT desarrollan resistencia a esas dosis lo que implica el posterior empleo de una dosis mayor para controlar las nuevas poblaciones de la plaga, generando así un incremento constante en las cantidades aplicadas.

Este producto permitió mejorar sensiblemente el rendimiento de las cosechas destinadas a la alimentación humana y significó un importante elemento en la denominada Revolución Verde de la agricultura. Lamentablemente, su uso indiscriminado y su mal manejo aparejaron las consecuencias ecotóxicas mencionadas.

El consumo humano de alimentos de origen animal contaminados con DDT provoca su acumulación y posterior intoxicación. Los casos agudos presentan alteraciones gastrointestinales, trastornos neurológicos y parálisis muscular; si la dosis es elevada puede sobrevenir la muerte por paro respiratorio [13].

El DDT constituye un producto de elevada toxicidad ambiental y humana y de escasa o nula biodegradabilidad, razón por la cual, en muchos países, su uso fue restringido y/o prohibido. En la Argentina, el Decreto N° 2121/90 prohíbe la importación, fabricación, fraccionamiento, comercialización y uso de productos de aplicación agrícola formulados a base del principio activo DDT, a su vez que la Resolución N° 133/91 prohíbe el uso de DDT en medicina humana.

2.3.1 Fuentes analizadas

Como se expuso en el apartado anterior, el DDT ha sido usado casi exclusivamente como pesticida, y debido a la importancia que esto tiene en el Gran Mendoza por ser una zona de alta actividad agrícola, se relevará esta fuente en la elaboración del inventario.

2.4 Éteres bifenilos polibromados (PBDE)

Los PBDEs son una clase de retardante de llama polibromado utilizado en varios productos industriales y domésticos. Existe en tres formas comerciales: penta-BDE; octa-BDE y deca-BDE. Entre éstos, el DBDE es el más utilizado [14].

Comúnmente, los PBDE son agregados a los plásticos para evitar incendios accidentales y reducir la inflamabilidad de estos materiales, minimizando su agresividad y el impacto en vidas y costos económicos. Es por estas propiedades que los compuestos en cuestión fueron considerados durante muchos años como altamente benéficos para los consumidores. Sin embargo, más recientemente han recibido una atención diferente luego de que varias investigaciones hayan advertido de efectos tóxicos [15].

Dentro de los posibles efectos sobre la salud humana pueden citarse cáncer, daño hepático, disfunciones de la glándula tiroides, afecciones del neurodesarrollo y problemas reproductivos [16] .

En lo que se refiere a aspectos ambientales, la ruta principal de entrada al agua y suelo de los PBDEs es a través de descargas industriales o disposición de residuos. Sus propiedades hidrofóbicas permiten que sean fácilmente absorbidos desde las soluciones acuosas al suelo. Dicha absorción también es influenciada por las características del suelo y por el grado y posición de los átomos de bromo en la molécula. Una vez liberados al ambiente, los PBDEs pueden ingresar a la cadena alimenticia y ser bioconcentrados por los organismos. Concentraciones altas de estos compuestos han sido detectadas en peces de diversas regiones, siendo una de las principales fuentes de transferencia hacia los mamíferos y aves [15]. Hay estudios preliminares sobre estos compuestos en Mendoza que sugieren la presencia de los mismos y animan a incluirlos en el presente trabajo [17].

2.4.1 Fuentes analizadas

Debido a que el uso exclusivo de los PBDE es como retardante de llama en plásticos, se consideraron como fuentes todas aquellas que contienen en una proporción significativa estos materiales, a saber: electrodomésticos y automóviles. Es importante remarcar que este tipo de productos, en los cuales se ha usado PBDE en su fabricación, emiten pequeñas cantidades del compuesto durante toda su vida útil [7], [8], [14], [15], [18]. A su vez, también se consideró la única industria que fabrica polímeros en el área de estudio (polipropileno), ya que maneja PBDE entre sus aditivos.

Otra fuente relevante es la quema de residuos a cielo abierto, que genera estas sustancias deliberadamente por la combustión de diversos materiales.

3 Resultados

A continuación se presentan los resultados de emisiones obtenidos según el tipo de compuesto para las distintas fuentes. También se incluye, para cada compuesto, la georreferenciación de los resultados obtenidos.

3.1 Bifenilos policlorados (PCB)

Tabla 1. Emisiones de PCB

Fuente	Nivel de actividad (tn/año)	Factor de emisión	Tasa de emisión (kg/año)
Combustión de Fuel oil en central térmica	45.424	$3{,}6.10^{-6}$kg PCB/kg fuel oil quemado [6]	0,16
TOTAL			0,16

3.2 Hexaclorobenceno (HCB)

Tabla 2. Emisiones de HCB.

Fuente	Nivel de actividad (tn/año)	Factor de emisión	Tasa de emisión (kg/año)
Quema de residuos a cielo abierto	129.449,3	$2{,}9.10^{-8}$ kg HCB/kg residuo quemado [9]	3,75
Aplicación de pesticida Clorotalonil	379,3	1.10^{-6} kg HCB/kg pesticida [9]	3,79
Aplicación de pesticida PCNB	101,6	1.88^{-4} kg HCB/kg pesticida [9]	19,06
Producción de cemento	736.000	1.7^{-10} kg HCB/kg cemento [9]	0,13
TOTAL			26,73

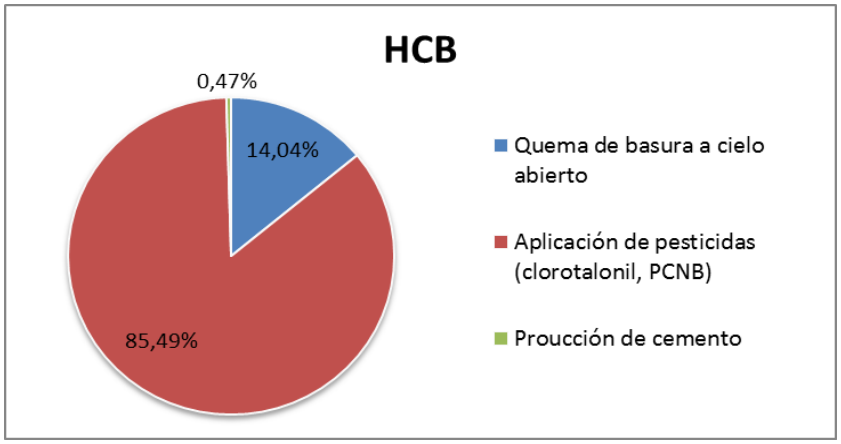


Fig. 2. Emisiones de HCB según sus fuentes.

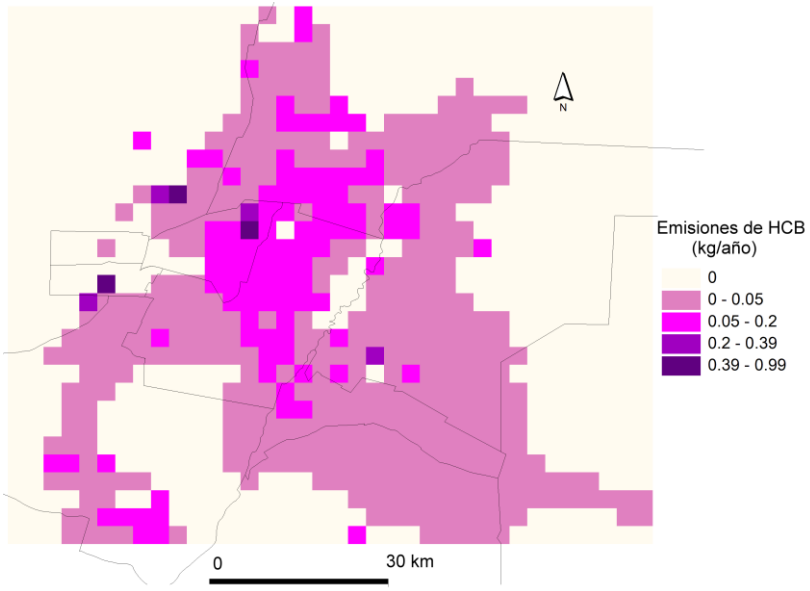


Fig. 3. Georreferenciación de las emisiones de HCB.

3.3 Diclorodifeniltricloroetano (DDT)

Tabla 3. Emisiones de DDT

Fuente	Nivel de actividad (ha/año)	Factor de emisión	Tasa de emisión (kg/año)
Aplicación de acaricida Dicofol	65.353	$4{,}4 \times 10^{-6}$ kg DDT/ha	28,8
TOTAL			28,8

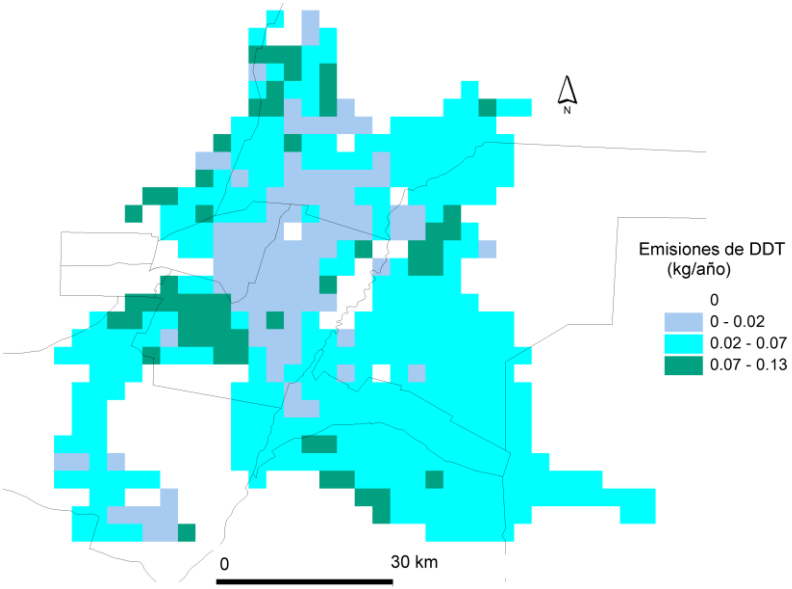


Fig. 4. Georreferenciación de las emisiones de DDT.

3.4 Éteres bifenilos polibromados (PBDE)

Tabla 4. Emisiones de PBDE.

Fuente	Nivel de actividad	Factor de emisión	Tasa de emisión (kg/año)
Quema de residuos a cielo abierto	129.449,3 tn/año	$1,23.10^{-7}$ kg PBDE/kg residuo quemado [14]	15,84
Producción industrial de polipropileno	120.000 tn/año	$1,4.10^{-10}$ kg PBDE/kg polipropileno [19]	0,0017
Electrodomésticos (emisiones directas)	11.273 tn plástico/año	$9 .10^{-7}$ kg PBDE/kg plástico [19]	10,15
Automóviles (emisiones directas)	80.575 tn plástico/año	$9 .10^{-7}$ kg PBDE/kg plástico [19]	72,52
TOTAL			98,52

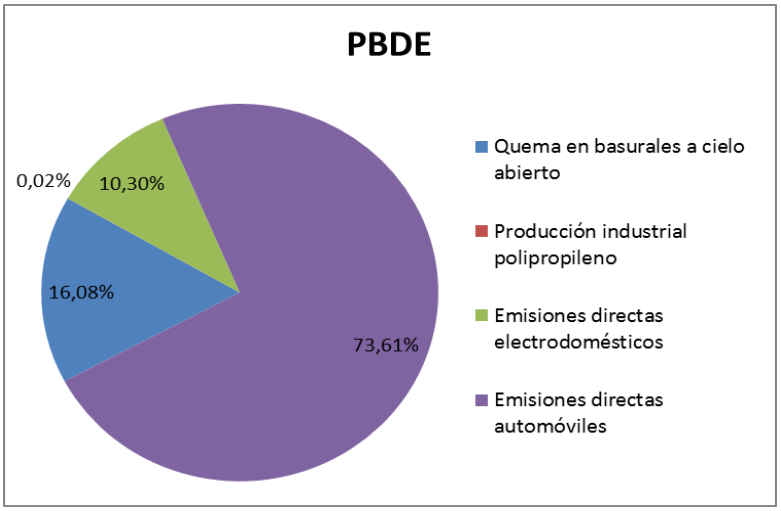


Fig. 5. Emisiones de PBDE según sus fuentes.

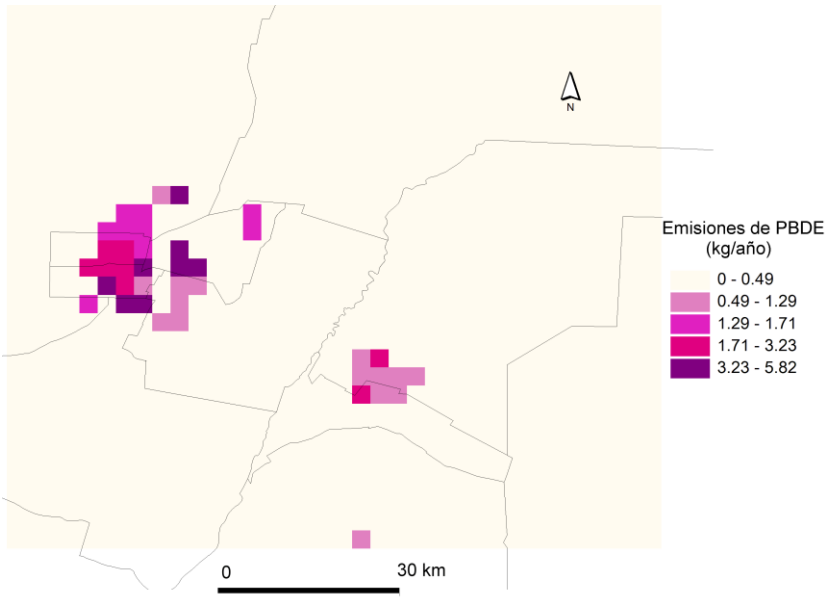


Fig. 6. Georreferenciación de las emisiones de PBDE.

4 Conclusiones y Discusión

De los resultados anteriormente expuestos puede concluirse lo siguiente:

- Las emisiones de PBDE están asociadas principalmente a las áreas urbanas, mientras que las de PCB, HCB y DDT se relacionan con las áreas rurales y semiurbanas.
- La utilización de agroquímicos se presenta como una fuente muy importante de POPs, puntualmente DDT y HCB. Cabe destacar que si bien el uso de éstos está totalmente prohibido, dado su carácter de persistentes se acumulan en suelos, aire, agua y biota siendo aún potencialmente peligrosos.
- La quema de residuos a cielo aparece como una fuente relevante en este análisis, planteando una problemática no sólo desde lo ambiental y de la salud, sino también desde el enfoque social que esto apareja.
- La industria no se muestra como una gran emisora de los compuestos en cuestión.

La emisión directa desde las partes plásticas de electrodomésticos y automóviles es evidentemente una de las principales fuente de POPs. Esto lleva a la reflexión sobre el consumo indiscriminado de este tipo de bienes y la necesidad de una correcta disposición de los mismos una vez agotada su vida útil.

Referencias

1. K. C. Jones and P. de Voogt, "Persistent organic pollutants (POPs): state of the science," Environmental Pollution, vol. 100, no. 1–3, pp. 209–221, (1999).
2. K. Breivik, R. Alcock, Y.-F. Li, R. E. Bailey, H. Fiedler, and J. M. Pacyna, "Primary sources of selected POPs: regional and global scale emission inventories," Environmental Pollution, vol. 128, no. 1–2, pp. 3–16, (2004).
3. U. Schlink, O. Herbarth, M. Richter, M. Rehwagen, J. L. Puliafito, S. E. Puliafito, C. Puliafito, P. Guerreiro, J. L. Quero, and J. C. Behler, "Ozone-monitoring in Mendoza, Argentina : Initial results," Journal of the Air & Waste Management Association, vol. 49, no. 1, pp. 82–87, (1999).
4. S. E. Puliafito, D. G. Allende, R. P. Fernández, Fernando Horacio Castro, and P. G. Cremades, "New Approaches for Urban and Regional Air Pollution Modelling and Management," in in Advanced Air Pollution, F. Nejadkoorki, Ed. 2011, pp. 429–454 (2011).
5. K. Breivik, A. Sweetman, J. M. Pacyna, and K. C. Jones, "Towards a global historical emission inventory for selected PCB congeners--a mass balance approach 3. An update.," The Science of the total environment, vol. 377, no. 2–3, pp. 296–307, (2007).
6. P. H. Dyke, C. Foan, and H. Fiedler, "PCB and PAH releases from power stations and waste incineration processes in the UK.," Chemosphere, vol. 50, no. 4, pp. 469–80, (2003).
7. T. Zhang, H. Fiedler, G. Yu, G. S. Ochoa, W. F. Carroll, B. K. Gullett, S. Marklund, and A. Touati, "Emissions of unintentional persistent organic pollutants from open burning of municipal solid waste from developing countries.," Chemosphere, vol. 84, no. 7, pp. 994–1001, Aug. (2011).
8. C. R. Estrellan and F. Iino, "Toxic emissions from open burning.," Chemosphere, vol. 80, no. 3, pp. 193–207, (2010).
9. R. E. Bailey, "Global hexachlorobenzene emissions.," Chemosphere, vol. 43, no. 2, pp. 167–82, (2001).
10. C. Turgut, C. Gokbulut, and T. J. Cutright, "Contents and sources of DDT impurities in dicofol formulations in Turkey.," Environmental science and pollution research international, vol. 16, no. 2, pp. 214–7, (2009).
11. G. R. Scott and K. A. Sloman, "The effects of environmental pollutants on complex fish behaviour: integrating behavioural and physiological indicators of toxicity," Aquatic Toxicology, vol. 68, no. 4, pp. 369–392, (2004).
12. M. A. Dalvie, "DDT: Health Effects," in in Encyclopedia of Environmental Health, E.-C. J. O. Nriagu, Ed. Burlington: Elsevier, 2011, pp. 6–10 (2011).
13. M. Sifri, J. L. Sell, and K. L. Davison, "Comparative effects of p, p′-DDT and pentobarbital on hepatic microsomal enzymes in young quail, chicks and ducklings," Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry, vol. 51, no. 2, pp. 213–219, (1975).
14. B. K. Gullett, B. Wyrzykowska, E. Grandesso, A. Touati, D. G. Tabor, and G. S. Ochoa, "PCDD/F, PBDD/F, and PBDE emissions from open burning of a residential waste dump.," Environmental science & technology, vol. 44, no. 1, pp. 394–9, (2010).
15. I. Watanabe and S. Sakai, "Environmental release and behavior of brominated flame retardants," Environment International, vol. 29, no. 6, pp. 665–682, (2003).
16. F. Rahman, K. H. Langford, M. D. Scrimshaw, and J. N. L. U, "Polybrominated diphenyl ether ž PBDE / flame retardants," (2001).
17. N. B. Lana, R. Fontana, Ariel, N. F. Ciocco, and J. C. Altamirano, "Polybrominated diphenyl ethers in Mendoza River Basin, Argentina," Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias-UNC, p. 85, (2010).
18. G. Solorzano-Ochoa, D. a de la Rosa, P. Maiz-Larralde, B. K. Gullett, D. G. Tabor, A. Touati, B. Wyrzykowska-Ceradini, H. Fiedler, T. Abel, and W. F. Carroll, "Open burning of

household waste: Effect of experimental condition on combustion quality and emission of PCDD, PCDF and PCB.," Chemosphere, vol. 87, no. 9, pp. 1003–8, (2012).
19. S.-I. Sakai, K. Hayakawa, H. Takatsuki, and I. Kawakami, "Dioxin-like PCBs Released from Waste Incineration and Their Deposition Flux," Environmental Science & Technology, vol. 35, no. 18, pp. 3601–3607, 2001.

Determinación y Seguimiento Estacional de Parámetros Indicadores de Eutrofización en Ecosistemas Acuáticos de la Provincia de Mendoza

Quiroga, M. Cristina[a]; Ferrer, Liliana[a], Sebök Martín, Alejandra[a], Ferrer Marset, Germán G.[a]

[a]Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Cuyo
Centro Universitario. Parque General San Martín. Mendoza.
mcquiroga@fing.uncu.edu.ar, lferrer@fing.uncu.edu.ar, ale_sebok@hotmail.com, ferrermarset@gmail.com

Resumen. El aumento de la concentración de nutrientes en agua se denomina eutrofización. El crecimiento de la población mundial y el aumento en la producción de desechos orgánicos, y la falta de tratamientos adecuados, favorece el aporte de dichos nutrientes a las aguas continentales.
El objetivo del presente trabajo es evaluar la calidad actual del agua en el Dique Potrerillos y los posibles contaminantes causantes de la eutrofización progresiva, mediante análisis estacionales físico–químicos.
Esta presa es un espejo de agua joven, por lo que es necesario monitorearlo para prevenir un aumento temprano de nutrientes, provenientes de la actividad humana.
En el dique se fijaron ocho estaciones de monitoreo donde se realizan muestreos estacionales (verano, otoño, invierno y primavera), en conjunto con la Dirección de Recursos Naturales Renovables.
Los análisis realizados nos permiten clasificar al dique según los índices de eutrofización de Carlson en oligotrófico, sin embargo, no podemos afirmar una clasificación determinante para el lago, ya que su composición varía con las distintas estaciones, con la profundidad y con el punto de muestreo. Por lo que se aconseja seguir obteniendo datos en años posteriores para controlar que no varíen los parámetros estimados y se vea afectada la calidad del agua.

Palabras claves: eutrofización, índices de Carlson, calidad del agua, ecosistemas acuáticos.

1. Introducción

Los ecosistemas acuáticos se caracterizan por una interrelación continua con el ambiente que los rodea y se ven afectados en gran medida por la actividad humana, tanto el perilago como los tributarios que desembocan en este lago. En los lagos de agua dulce, el sistema va cambiando lentamente a través de los ciclos anuales, como resultado de la interacción entre el lago y los ecosistemas terrestres circundantes, intensificada por la acción del hombre. Este fenómeno se conoce como *eutroficación* y se define como el enriquecimiento de las aguas con nutrientes a un ritmo tal que no puede ser compensado por eliminación o mineralización total. Se manifiesta con la proliferación de algas. Es bien conocido que muchas cianofíceas tienen la capacidad de producir sustancias tóxicas [1]. Actualmente, la diversidad en calidad y cantidad de

los desechos orgánicos sólidos y efluentes vertidos en ambientes acuáticos es tal, que exige un análisis de múltiples variables que interactúan entre sí [2].

En nuestro país la situación es variada, existiendo casos que van desde la fuerte contaminación existente en el Riachuelo y otras áreas densamente pobladas, a la limpieza de los lagos patagónicos, lugares donde casi no existen asentamientos humanos y con un significativo aporte de aguas originadas principalmente en los deshielos [3].

Básicamente los embalses de Mendoza han sido construidos con el fin de almacenar y manejar el agua de riego, como así también para producir agua para consumo humano, energía hidroeléctrica y recreación [4].

Dado que, particularmente en Mendoza, a diferencia del resto del país, no existen antecedentes limnológicos realizados de manera sistemática [4], es de suma importancia contar con estudios de base cero, porque es la única forma de controlar una contaminación temprana. Con la colaboración de la D*irección de Recursos Naturales Renovables* se pueden llevar a cabo los muestreos en el lago y el asesoramiento para uso correcto de muestreadores de profundidad, como así también la interpretación de resultados obtenidos en los análisis de ocho puntos en el interior del lago.

El paso de un lago de oligotrófico a eutrófico se caracteriza por un cambio importante en las poblaciones, en uno oligotrófico existe mayor diversidad biótica que en uno eutrófico, donde disminuye el número de especies, pero no la densidad (Figura 1 y 2).

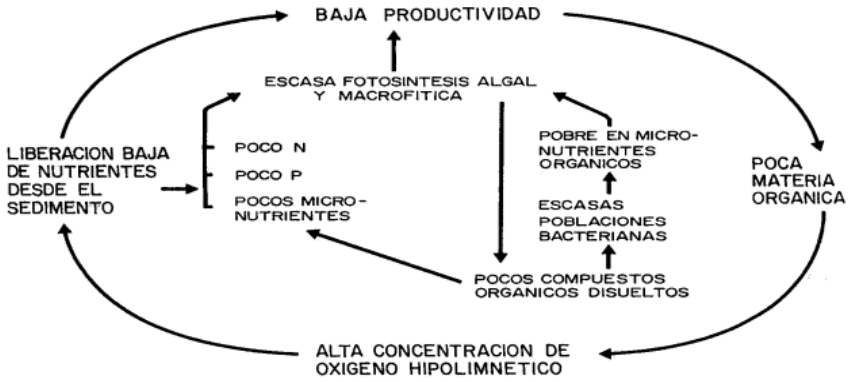


Fig 1. Principales interacciones orgánicas e inorgánicas que influyen en el metabolismo del fitoplancton de los lagos oligotróficos [6].

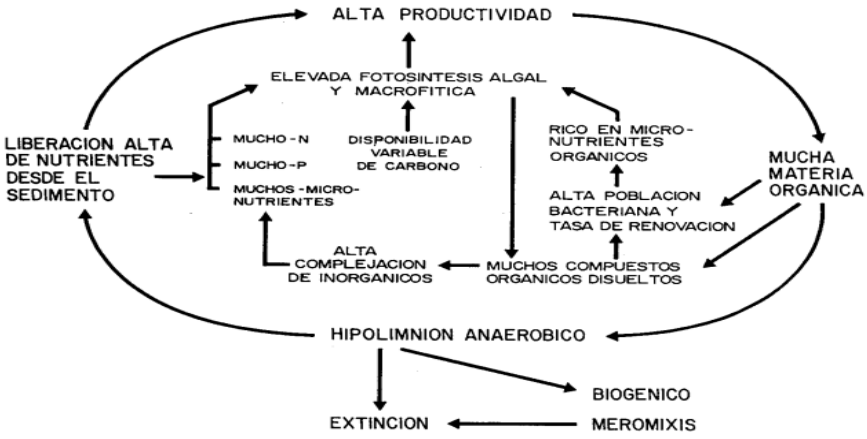


Fig. 2. Principales interacciones orgánicas e inorgánicas que influyen en el metabolismo del fitoplancton de los lagos eutróficos [5].

En el caso de eutrofización excesiva no puede hablarse de madurez en el ecosistema, sino por el contrario de una regresión. El avance de este proceso es alarmante y se han encontrado estrechas relaciones entre el aumento de la población y los índices de eutrofización [6].

En un ecosistema acuático existen diversos compartimentos intercomunicados:

1- Interfase aire- agua
2- columna de agua
3- sedimento
4- interfase agua-sedimento

Con respecto a la eutrofización, la relación más importante es la que se produce entre la columna de agua y el sedimento en la interface sedimentaria. Los intercambios están regulados por mecanismos asociados al equilibrio agua-mineral, reacciones redox, oxígeno disuelto y actividades de los distintos seres vivos.

Los procesos de adsorción y liberación de nutrientes por parte del sedimento están relacionados directamente con el contenido de oxígeno en la zona del sedimento. La disminución de oxígeno se debe a la degradación microbiana de la materia orgánica particulada que se deposita en el sedimento. En condiciones de anaerobiosis, aumenta la liberación de fósforo.

2. Objetivos

- Evaluar la calidad del agua en el Dique Potrerillos a través de análisis estacionales físico-químicos.
- Conocer los posibles contaminantes causantes de la eutrofización progresiva.

- Identificar las fluctuaciones temporales que influyen en la calidad del agua superficial.

3. Materiales y métodos

El proyecto se desarrolla en el "Dique Potrerillos" que es un lago joven y por lo tanto el seguimiento de los parámetros contaminantes es muy importante, en la actualidad la actividad humana es reducida, pero ya se están planificando los primeros asentamientos que inevitablemente comenzarán a volcar en el lago efluentes variados. Está situado en el departamento de Luján de Cuyo.

En esta etapa contamos con la gran ayuda de profesionales de la Dirección de Recursos Naturales Renovables, única repartición provincial que tiene autorización para ingresar al lago con embarcaciones a motor, las cuales cumplen funciones de guardavidas.

Para realizar el muestreo se utilizó una botella Van Dorn de 3,5 L de capacidad y un disco de Secchi.

Se han realizado muestreos en ocho puntos del lago correspondientes a verano, otoño, primavera y verano. Se colocaron en bidones plásticos de 5L. Algunos parámetros se evaluaron in situ, otros en el laboratorio, utilizando técnicas estandarizadas [7]. De acuerdo al estudio de antecedentes en el tema, los parámetros seleccionados a determinar en el laboratorio son: pH, conductividad eléctrica, nitritos + nitratos, amoníaco, nitrógeno Kjeldahl, nitrógeno total, fósforo total, clorofila a, sulfatos, sólidos totales y disueltos, DBO y DQO.

En el siguiente gráfico se observan los puntos de muestreo (Figura 3)

Fig. 3. Puntos de muestreo.

4. Resultados analíticos

Los parámetros promedio indicadores de calidad del agua son:

El *pH* del agua tiene valores que van de 7,8 a 8,5 (figura 4).

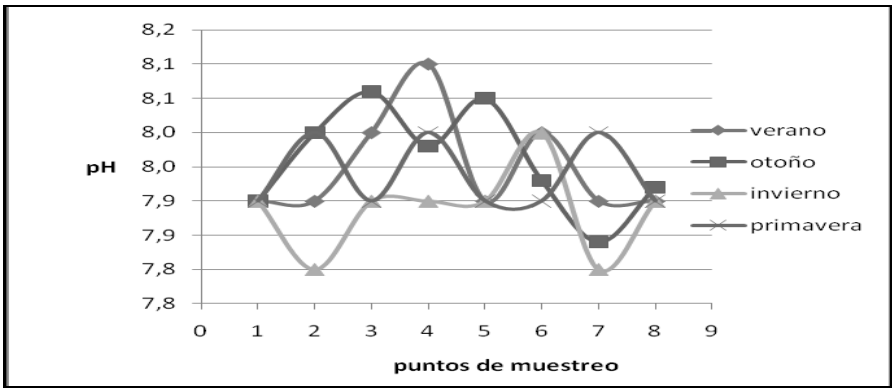


Fig. 4. Variaciones de pH.

La *conductividad eléctrica* del agua del embalse se encuentra entre 813 y 1060 µs/cm dependiendo de la estación considerada.

La *temperatura* depende directamente de la estación: (figura 5)

Invierno 8,5°C a 10°C - *Primavera* 13,2°C a 18°C - *Verano* 18,5°C a 20,5°C - *Otoño* 14,4°C a 15,7°C

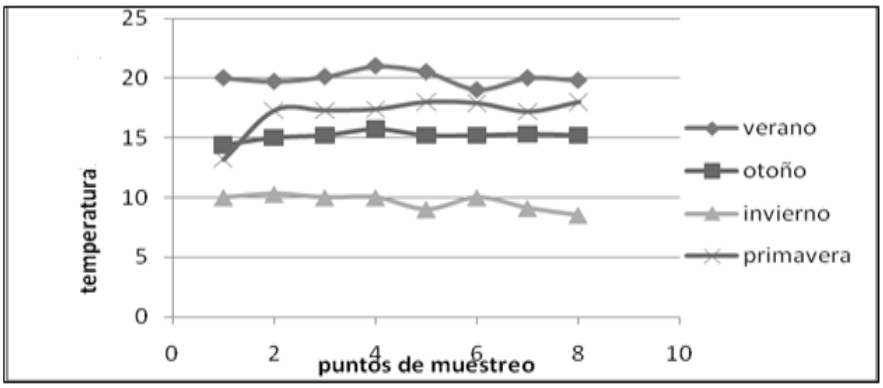


Fig. 5. Variaciones de temperatura.

El *oxígeno disuelto* tiene valores de10,3 a 7,9 mg/L (figura 6)

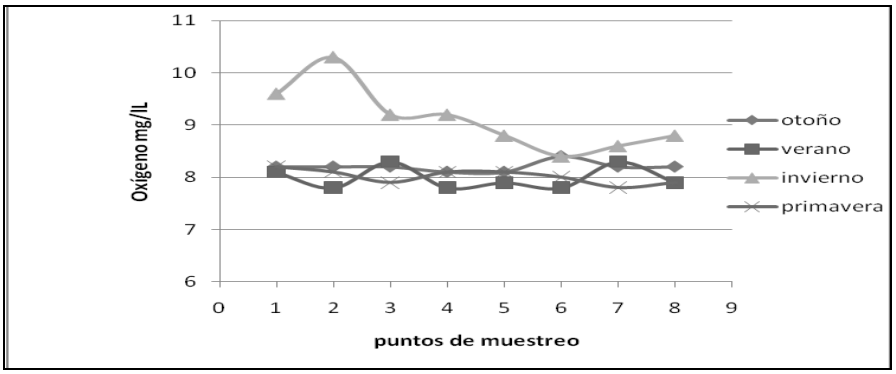


Fig. 6. Variaciones de oxígeno disuelto.

Los parámetros promedio indicadores de eutrofización son:

La *clorofila*, que nos mide la concentración de algas en el agua, toma valores de 0,03 a 0,11 µ/L (figura 7).

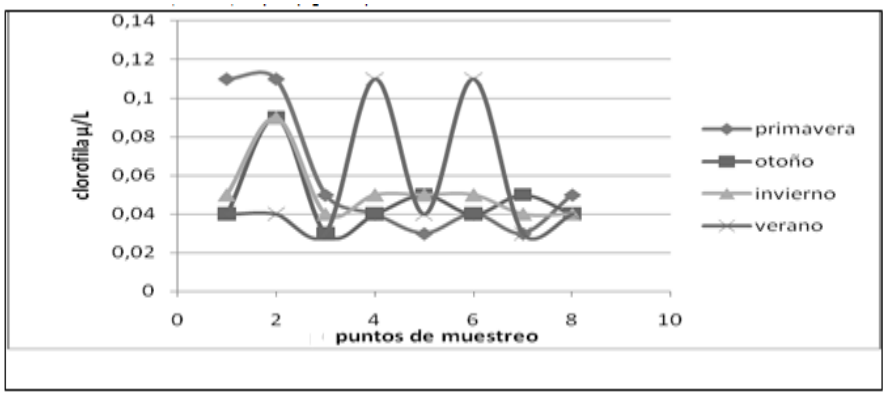


Fig. 7. Variaciones de clorofila a.

El *nitrógeno total* va de 1,0 a 5,5 mg/L (figura 8).

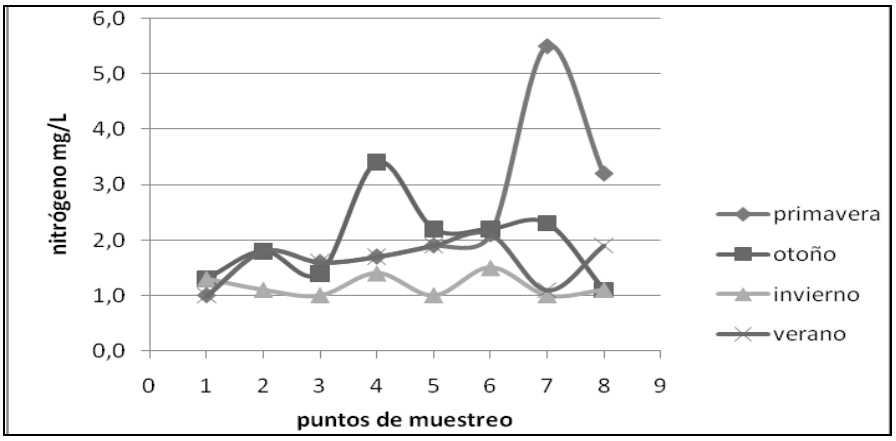


Fig. 8: Variaciones de nitrógeno total.

El *fósforo total* toma valores de 6 a 30 µg/L (figura 9)

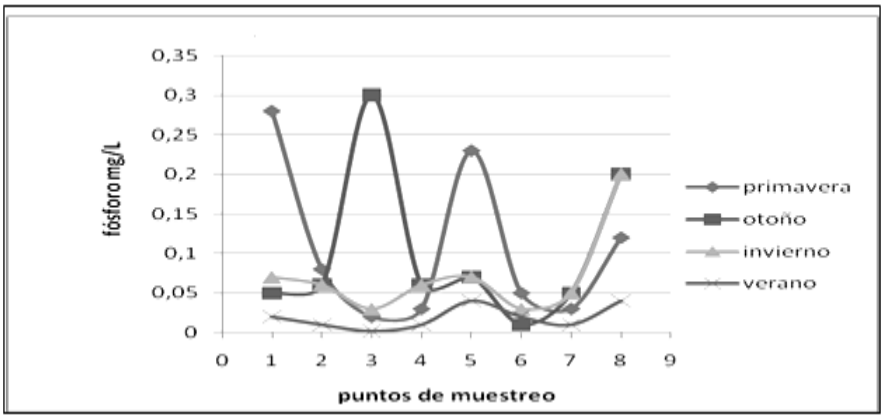


Fig. 9. Variaciones de fósforo total.

El Disco de Secchi llegó a profundidades de: 6m, 9,4m y 8,56m en el paredón del dique.

De acuerdo a los valores de estos parámetros se puede estimar que es un lago con características de *oligotrófico* según los límites expresados por OCDE (Tabla 1).

Tabla 1. Valores límites de la OCDE para un sistema completo de clasificación trófica

Categoría trófica	Pt (µ/L)	Clorofila a (µ/L)		Transparencia D_x (m)	
		Media	Máxima	Media	Mínimo
Ultraoligotrófico	< 4,0	< 1,0	< 2,5	6,0-12,0	>6,0
Oligotrófico	< 10,0	< 2,5	< 8,0	<6,0	>3,0
Mesotrófico	10-35	2,5 – 8,0	8,0 - 25	6,0 – 3,0	3,0 – 1,5
Eutrófico	35-100	25 - 75	25 - 75	3,0 – 1,5	1,5 – 0,7
Hipertrófico	>100	>75	>75	< 1,5	< 0,7

OCDE es un Comité de Eutroficación de la Organización de Cooperación Económica y Desarrollo, que estudió durante 5 años 200 ambientes en 22 países de Europa, EEUU, Japón y Australia, y propuso una clasificación del grado de eutrofia de lagos y embalses de acuerdo a los valores de clorofila, Secchi y Fósforo .Considera la siguiente clasificación: Ultraoligotrófico, Oligotrófico, Mesotrófico, Eutrófico e Hipereutrófico.

Otra clasificación del estado trófico lo aporta el Índice de Carlson (TSI) (figura 11) [8]. Este considera los valores de clorofila, fósforo y Secchi. A través de la fórmula (1) calcula el índice del estado trófico utilizando el valor de Disco de Secchi, la fórmula (2) indica el valor del índice del estado trófico según el valor de clorofila a y a través de la fórmula (3), el índice del estado trófico según el fósforo total.

$$TSI = [10 \times (2{,}46 + 3{,}76 - 1{,}57 \ln DS)] / \ln 2{,}5 = 28 \quad \textbf{(1)}$$

donde TSI es Índice de Carlson para un valor de 9m de DS (profundidad del disco de Secchi medido).

$$TSI = [10 \times (2{,}46 + \ln \mathit{Clor})] / \ln 2{,}5 = 9 \quad \textbf{(2)}$$

donde TSI es Índice de Carlson para un valor de 0,11 µ/L de Clorofila a.

$$TSI = [10 \times 2{,}46 + 6{,}68 + 1{,}15 \ln \mathit{Pt})] / \ln 2{,}5 = 29 \quad \textbf{(3)}$$

donde TSI es Índice de Carlson para 6 µ/L Pt (Fósforo total).
De acuerdo a estos valores se puede clasificar como Oligotrófico según Carlson (tabla 2).

Tabla 2. Clasificación del estado trófico según Carlson, 1977.

Estado de eutrofia	TSI	D_s(m)	P_t(mg/m^3)	Clorf a (mg/m^3)
Oligotrófico (TSI < 30)	0	64	0.75	0.04
	10	32	1.5	0.12
	20	16	3	0.34
	30	8	6	0.94
Mesotrófico (30 < TSI < 60)	40	4	12	2.6
	50	2	24	6.4
	60	1	48	20
Eutrófico (60 < TSI < 90)	70	0.5	96	56
	80	0.25	192	154
	90	0.12	384	427
Hipereutrófico (90 < TSI < 100)	100	0.06	768	1183

5. Conclusiones

A pesar de haber recopilado datos en el presente proyecto, no podemos afirmar una clasificación determinante para el lago, ya que su composición varía con las distintas estaciones, con la profundidad y con el punto de muestreo. Debe considerarse también la temperatura, vientos y la posible estratificación del lago. Por lo que se aconseja seguir obteniendo datos de muestreos en los años siguientes para controlar que no varíen los parámetros estimados y se vea afectada la calidad del agua.

De acuerdo a esta clasificación el lago se considera oligotrófico y se aconseja seguir controlando estos parámetros para evitar una temprana eutroficación.

6. Bibliografía

1. Lerda, D y Prósperi, C: Consideraciones sobre la potabilización del agua para consumo humano en Río Tercero (Córdoba, Argentina). Municipalidad de Marcos Juarez, 1-42. (1994)
2. Mancini, M, Rodríguez, C, Prósperi, C. y Finola, M: Monitoreo de reservorios del centro de Córdoba (Argentina) como base para una adecuada gestión ambiental. Saneamiento y Medio Ambiente. Buenos Aires. (2003)
3. Las algas microscópicas y su efecto sobre el ambiente, http://www.funam.org.ar. Consultado en agosto 2011.
4. Peralta, P., León, J.: Estudios de caracterización limnológica de los embalses de la provincia de Mendoza. Departamento General de Irrigación. Gobierno de Mendoza. (2006).

5. Wetzel, R.G. Limnology. W. B. Saunders Company (1975).
6. Margalef, Ramon. Limnologia / Ramon Margalef. Barcelona Omega, D.L. (1983).
7. Wetzel, R.G. Limnology. W. B. Saunders Company (1975).
8. APHA. Standard Methods for the examination of Water and Waste Water. American Public Health Association .New York. Ed. 21. (2005)
9. Carlson, R.E.A. A trophic state index for lakes. Limmology Oceanogr. Vol 22: 361 – 80, (1977).

El Río Picheuta como Singularidad Hidrológica del Río Mendoza en Uspallata y sus Posibilidades para un Aprovechamiento Hidroeléctrico

Federico A. Di Lello[a], Sandra P. Ibáñez[b], María V. Núñez [c]

[a] Instituto de Hidráulica - Facultad de Ingeniería – UNCuyo
Tel.:0261- 4135000 - Int. 2174, e-mail: fdilello@fing.uncu.edu.ar.

[b] Instituto de Medio Ambiente - Facultad de Ingeniería - UNCuyo.

[c] Becaria SeCTyP - Facultad de Ingeniería - UNCuyo

Resumen. El río Picheuta es un afluente intermedio del río Mendoza, con una respuesta hidrológica de tipo termonival y su comportamiento anual presenta dos períodos relevantes, los que fueron estudiados y luego modeladas sus variables más representativas, para tratar de lograr un adecuado manejo del sistema. El trabajo ha considerado la posibilidad de un desarrollo minero de gran envergadura en sus proximidades, para lo cual se completaron los datos hidrológicos existentes correlacionándolos con otros registros, y así definir la oferta anual disponible, con vistas a un posible aprovechamiento del río con fines hidroeléctricos. En todo el estudio han prevalecido los conceptos de aprovechamientos de propósitos múltiples, o sea que se han priorizado los usos consuntivos, para poder disponer de una fuente apta que pudiera corregir afectaciones de la calidad del agua del río Mendoza en la progresiva de Uspallata, como consecuencia de algún desarrollo minero de importancia. El río Picheuta es muy relevante en la singularidad hidrológica de Uspallata, porque su presencia caracteriza de un modo particular al río Mendoza, cuyo potencial hidroeléctrico es uno de los más importantes de la Provincia de Mendoza.

Palabras Clave: Río; Picheuta; singularidad; potencial; aprovechamiento; hidroeléctrico.

1 Introducción

El río Picheuta es un afluente intermedio del río Mendoza, que cumple la regla de los ríos cuyanos, de presentar en general una respuesta hidrológica del tipo termonival, con un comportamiento anual, que muestra dos períodos relevantes, los que debidamente estudiados, y luego de modeladas sus variables más representativas, pueden dar un adecuado y mejor manejo del sistema al que pertenece.

El trabajo se ha desarrollado en el marco de un posible desarrollo minero de gran envergadura en las proximidades del mismo, para lo cual por correlación se completaron los datos hidrológicos existentes con otros registros, para lograr una mejor definición de la oferta anual disponible, con vistas a un posible aprovechamiento del río con fines hidroeléctricos y también consuntivos, y tal que se pueda corregir alguna posible afectación de la calidad del agua del río Mendoza en la progresiva de Uspallata.

La importancia del río Picheuta en la singularidad hidrológica de Uspallata es relevante, porque caracteriza de un modo muy particular al río Mendoza.

El potencial hidroeléctrico del río Picheuta, determinado con la información obtenida como se verá luego, permite sugerir una posible gestión del recurso en esa progresiva del río Mendoza, de modo que sirva para optimizar los beneficios en el resto de la cuenca, aguas abajo de Uspallata.

1.1 Metodología para determinar el potencial hidroeléctrico del río

La utilización de un recurso hidráulico debe planificarse en forma integral, para así lograr la máxima utilización del agua y un mejor reparto entre los distintos usos.

Para ello se ha tomado la cuenca hidrográfica del río Picheuta como una unidad, y se han considerado todos los posibles usos alternativos del agua.

El caso de los recursos hidroeléctricos es un tanto especial, ya que a diferencia de otros usos, esta utilización no consume agua ni modifica su calidad, lo que permite estudiar su aprovechamiento energético en forma independiente de los otros fines, especialmente en las partes altas de la cuenca, en donde no habría una utilización alternativa para considerar [1].

Se comenzó con una recopilación y análisis de la información básica disponible, y se continuó luego con la determinación del potencial lineal bruto y técnico de la cuenca. Se siguió con una evaluación de las restricciones existentes para el desarrollo del recurso y se procedió a la determinación de los puntos o tramos singulares de especial interés, como cerradas, vasos, puntos de descarga de las centrales, etc.

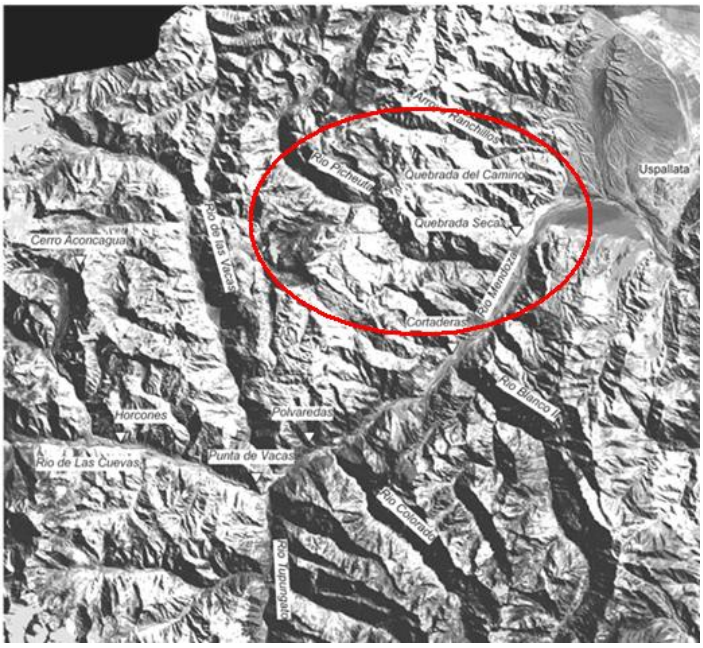


Fig. 1. Cuenca de aporte del río Picheuta y de los principales afluentes del Mendoza

1.2 Caracteríscas principales de la cuenca de aporte

El Rio Picheuta nace en la confluencia del A° Dientitos y la Q° Negra, con un desarrollo total de 25 km, presentando una cuenca imbrífera de 250 km^2, de las cuales 28 km^2 están cubiertas con nieves perennes, glaciares y ventisqueros [2].

La hidrología del río se caracteriza a partir de una cuenca activa que representa el 3,9% de toda la cuenca activa del Río Mendoza, y sus derrames son consecuencia del hielo y la nieve derretida en las laderas sur del Cordón del Chacay y del Paramillo de Las Vacas. El A° Dientitos drena una pequeña parte de la Cordillera del Tigre.

Muy ocasionalmente se producen aportes pluviales, y esas lluvias dan lugar a crecidas de breve duración, con muy poca influencia en la hidraulicidad del río [3].

Es marcada la insuficiencia de datos de aforos disponibles, pero a partir de los escasos valores medidos puede verse, que en general los aportes del Río Picheuta resultan bastante menores a lo que podrían ser por la importante extensión de su cuenca activa mostrada en la Fig. 2.

Esta aparente incongruencia sería por deficiencias técnicas del aforador utilizado, que según los antecedentes consultados, tenía una sección con una antecámara que se embancaba y perdía así sus características originales y con ello no se tenía la necesaria relación entre las alturas hidrométricas y los caudales registrados, ya que el régimen crítico se producía antes de la sección estrangulada, requiriendo un frecuente desembanque de la antecámara, para poder expresar los caudales en función de las alturas de hidrómetro.

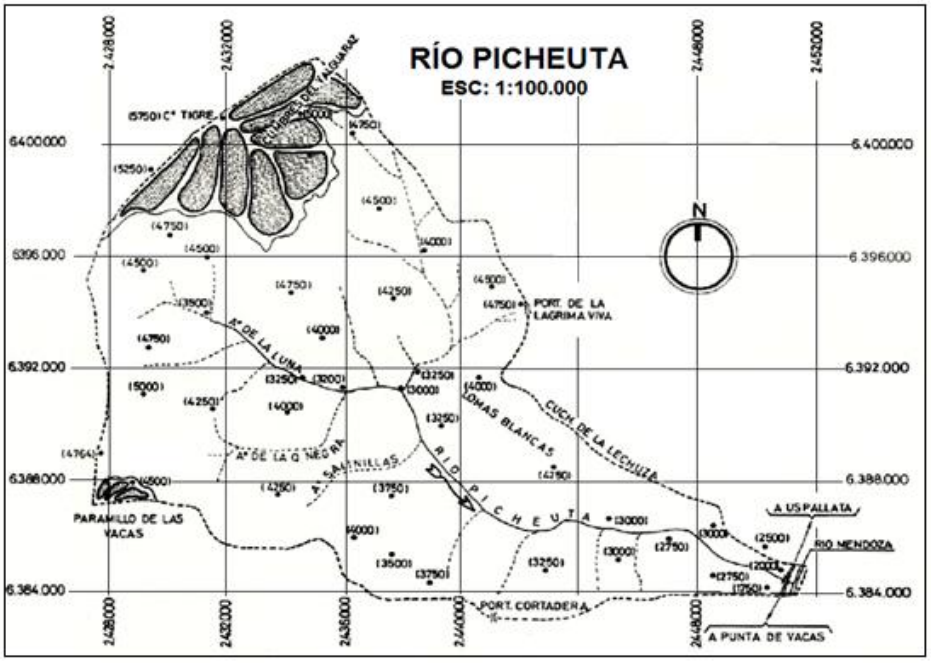


Fig. 2. Importante extensión de la cuenca activa del río Picheuta

El corto período disponible de observaciones y las frecuentes interrupciones de los registros, nos ha llevado a considerar caudales probables muy conservadores, aunque guardan la relación entre la extensión del 3,9% de las áreas de nieves, ventisqueros y glaciares existentes en su cuenca con la total de la cuenca activa del Río Mendoza. Teniendo presente lo expuesto el Río Picheuta tendría el siguiente régimen:

Tabla N° 1 Régimen del Río Picheuta

Río Picheuta	Módulo del río	Qmedio de enero	Qmedio de agosto	Qmedio máximo absoluto mensual	Qmedio mínimo absoluto mensual
	2,1 m^3/s	5,2 m^3/s	0,9 m^3/s	13,5 m^3/s	0,6 m^3/s

1.3 Análisis de la información hidrológica del Río Picheuta

En general la información disponible sólo abarca las zonas o áreas principales de aportación, sin detenerse a interpretar el comportamiento de algunos tramos que configuran singularidades del río, como es el caso del Río Picheuta. [4]

Para poder pronosticar su respuesta futura fue necesario profundizar y analizar las modalidades estacionales de aparición de sus aportes, en sus distintas progresivas y al ingresar al río Mendoza. Para ello se trató de interpretar el comportamiento del río mediante una evaluación muy precisa del sistema hidrológico al que pertenece, a partir del estudio de los datos de los registros de caudales disponibles, y en ausencia de ellos deducirlos de las precipitaciones níveas observadas en la cuenca superior.

1.4 Principal obstáculo para una modelación hidrológica

En general lo plantea el problema que significa superar la ausencia de buenos datos medidos de las variables de entrada, y esta es una limitación que no sólo está referida a la disponibilidad de datos, sino también a la calidad de los mismos. Esta cuestión pasa a ser una condición necesaria para poder estimar el comportamiento futuro del río y casi fundamental para un buen diseño que permita la optimización del manejo de los embalses y las demás obras a emplazar en el área en estudio, y con ello proponer las previsiones operativas de la gestión del embalse en los distintos meses del año.

1.5 Recuperación de secciones de aforos para la evaluación de las cuencas

La evaluación de las cuencas de los ríos resulta muchas veces insuficiente por falta de información y registros de zonas particulares, como es el caso de la zona de ingreso del Río Picheuta o del Arroyo Uspallata al río Mendoza, y estos aspectos en ocasiones llevan a no considerar datos o características que pueden resultar esenciales en el tiempo, para una acertada compresión del comportamiento en el tiempo del río.

Todavía no hay un estudio comprensivo que acerque una visión correcta de esta cuestión y de sus efectos sobre las posibilidades hidráulicas y los aprovechamientos de los recursos hídricos provinciales. A ese fin se realizaron estudios de campo, entre ellos geofísicos, que permitieron detectar la presencia de una singularidad en el subálveo del río Mendoza, aguas abajo del ingreso del río Picheuta (Fig. 3).

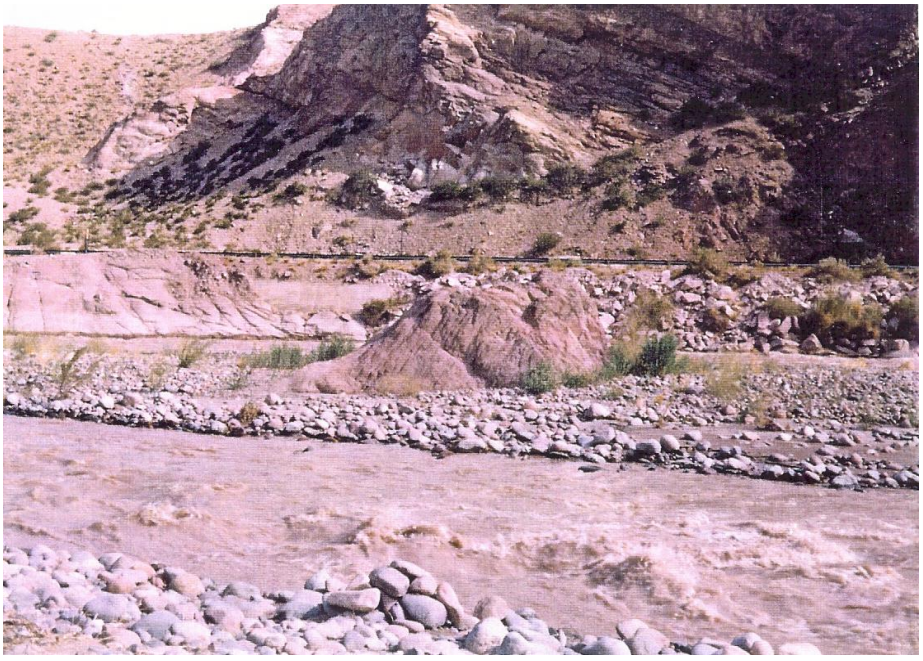


Fig. 3. Vista desde margen izquierda hacia margen derecha del sitio en donde se realizaron estudios para establecer el comienzo de la singularidad constituida por una barrera natural en el subálveo del río, aguas abajo del ingreso del río Picheuta, la cual controlaría el flujo subterráneo proveniente del valle de Uspallata. Allí estuvo la antigua E° de Aforos Uspallata.

1.6 Geología y glaciares en la zona de los ríos Picheuta y Uspallata

En la zona del río Picheuta y particularmente más en el valle de Uspallata aparecen afloramientos de morenas, como el que se puede observar unos 6 km hacia el N del río Mendoza, que se encuentra apoyado en forma discordante sobre rocas clásticas del terciario.

Las pendientes distales de la morena alcanzan en promedio unos 6°. La terraza glacifluvial de Uspallata presenta afloramientos bien preservados en ambos lados del valle de Uspallata.

Durante la glaciación más antigua (Uspallata), un sistema de glaciar de valle fluyó 110 km desde la divisoria de Argentina y Chile, y unos 80 km desde el Cerro Aconcagua. Entre Polvaredas y el Río Picheuta se aprecian afloramientos de riolitas con clastos pulidos y facetados (Fig. N° 4).

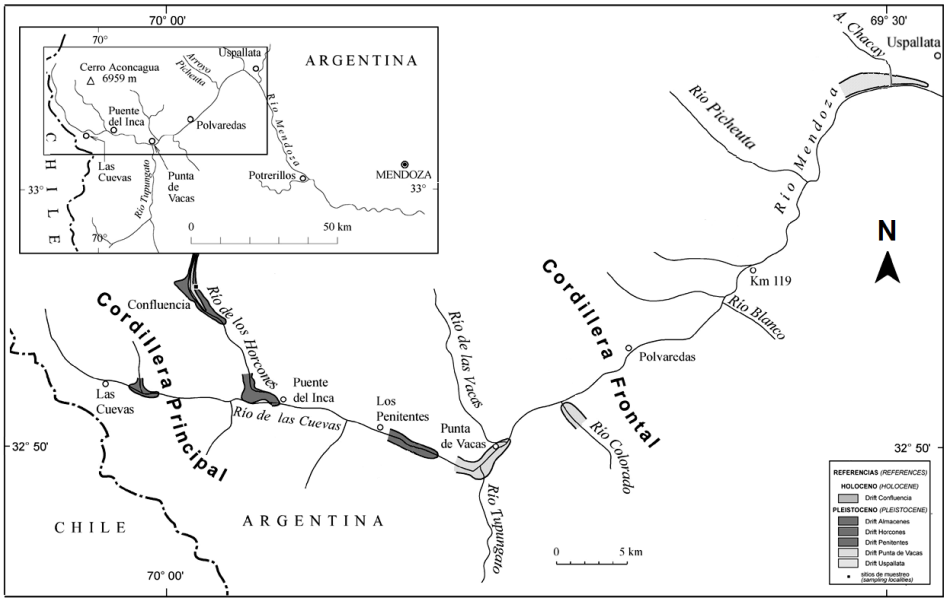


Fig. 4. Antecedentes geológicos y glaciares en la cuenca del río Mendoza

Las rocas volcánicas que se observan son de grano fino, con clastos pulidos, facetados y estriados, y responden a una litología que se corresponde con otras formaciones aflorantes en el río Mendoza, incluyendo tipos de rocas que sólo se encuentran al Oeste de Puente del Inca [6].

Los bloques dacíticos se presentan allí con una marcada meteorización y un barniz con diferente grado de desarrollo respecto al drift observado en Punta de Vacas.

1.7 Relevamientos y antecedentes topográficos del sitio

Para este trabajo fueron aprovechados los antecedentes de una taquimetría existente, la que se apoya en una poligonal de 9 km, que acompaña en buena parte el desarrollo del Rio Picheuta.

Esta poligonal fue utilizada para referenciar un relevamiento de mucho más detalle en correspondencia del sitio finalmente elegido para la derivación del río. [7].

Todo el trabajo topográfico está atado al nodo del Km 110 del ex Ferrocarril Trasandino.

Los relevamientos datan del año 1950, pero a pesar de ello son buenos y contienen suficientes datos topográficos, los que han servido para desarrollar un esquema general a nivel de Anteproyecto del Aprovechamiento y de las demás obras auxiliares, de las que se indican más adelante sus características.

En base a la citada topografía, más otros datos extraídos de planchetas del Instituto Geográfico Militar (IGM), se realizó el perfil longitudinal del río Picheuta que se indica en la Fig. 5.

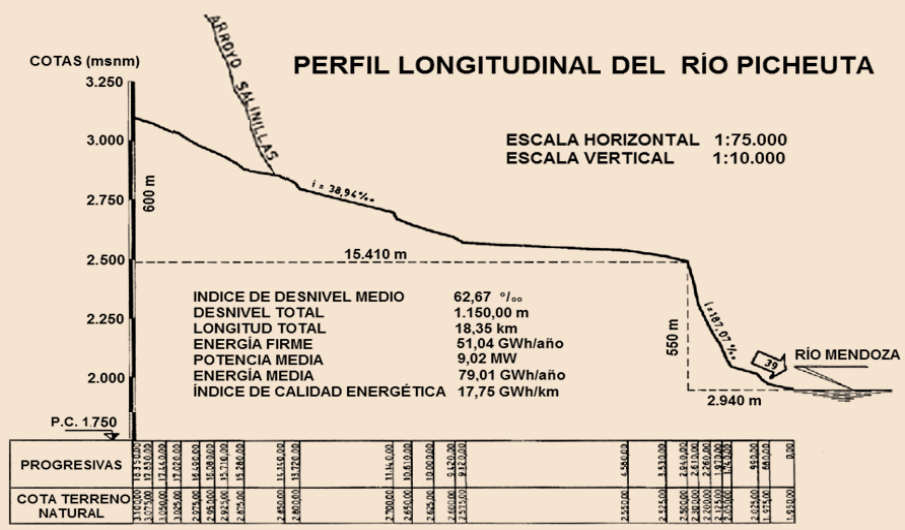


Fig. 5. Perfil Longitudinal y potencial de cada tramo del río Picheuta

1.8 Potencial hidroeléctrico del Río Picheuta

Aplicando las recomendaciones de la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) se ha podido obtener una estimación del potencial posible de alcanzar si se aprovechara todo el desnivel del río Picheuta hasta su desembocadura en el río Mendoza, el que se indica en la Tabla N° 2.

Tabla N° 2: Potencial hidroeléctrico del Río Picheuta

POTENCIAL HIDROELÉCTRICO ESTIMADO NO INDIVIDUALIZADO — País: ARGENTINA — Referencia: PROVINCIA DE MENDOZA

CUENCA	RÍO	COTA msnm SUPERIOR	COTA msnm INFERIOR	CAUDAL MEDIO EN COTA FINAL QMED m³/s	CAUDAL REGULARIZADO QREG m³/s	ENERGIA FIRME EFIR GWh / año	ENERGIA MEDIA EMED GWh / año	POTENCIA INSTALABLE PINS MW	OBSERVACION
MENDOZA	PICHEUTA	3.100	3.075	0,68	0,36	0,59	0,91	0,10	
		3.075	3.050	0,68	0,36	0,59	0,91	0,10	
		3.050	3.025	0,68	0,36	0,59	0,91	0,10	
		3.025	3.000	0,68	0,36	0,59	0,91	0,10	
		3.000	2.975	0,68	0,36	0,59	0,91	0,10	
		2.975	2.950	0,68	0,36	0,59	0,91	0,10	
		2.950	2.925	0,68	0,36	0,59	0,91	0,10	
		2.925	2.900	0,68	0,36	0,59	0,91	0,10	
		2.900	2.875	0,68	0,36	0,59	0,91	0,10	
		2.875	2.850	0,68	0,36	0,59	0,91	0,10	A° Salinillas
		2.850	2.825	1,25	0,75	1,27	1,98	0,22	
		2.825	2.800	1,25	0,75	1,27	1,98	0,22	
		2.800	2.700	1,25	0,75	5,07	7,85	0,90	
		2.700	2.675	1,25	0,75	1,27	1,98	0,22	
		2.675	2.650	1,25	0,75	1,27	1,98	0,22	
		2.650	2.625	1,25	0,75	1,27	1,98	0,22	
		2.625	2.600	1,25	0,75	1,27	1,98	0,22	
		2.600	2.575	1,25	0,75	1,27	1,98	0,22	
		2.575	2.550	1,25	0,75	1,27	1,98	0,22	
		2.550	2.525	1,25	0,75	1,27	1,98	0,22	
		2.525	2.500	1,25	0,75	1,27	1,98	0,22	
		2.500	2.400	1,25	0,75	5,07	7,85	0,90	
		2.400	2.300	1,25	0,75	5,07	7,85	0,90	
		2.300	2.200	1,25	0,75	5,07	7,85	0,90	
		2.200	2.175	1,25	0,75	1,27	1,98	0,22	
		2.175	2.150	1,25	0,75	1,27	1,98	0,22	
		2.150	2.125	1,25	0,75	1,27	1,98	0,22	
		2.125	2.100	1,25	0,75	1,27	1,98	0,22	
		2.100	2.075	1,25	0,75	1,27	1,98	0,22	
		2.075	2.050	1,25	0,75	1,27	1,98	0,22	
		2.050	2.025	1,25	0,75	1,27	1,98	0,22	
		2.025	2.000	1,25	0,75	1,27	1,98	0,22	
		2.000	1.975	1,25	0,75	1,27	1,98	0,22	
		1.975	1.950	1,25	0,75	0,76	1,18	0,13	
TOTALES RÍO PICHEUTA						**51,04**	**79,01**	**9,02**	

1.9 Camino de acceso para las Obras

Se analizaron varias trazas para el camino de acceso, adoptando un desarrollo que sería posible de construir con muy pocas dificultades y que resultaría adecuado para el movimiento de los materiales hasta la zona del cierre sobre el Rio Picheuta. [8]

El camino para el transporte de los materiales en ciertos tramos alcanza pendientes de casi el 10%, por lo que será necesario utilizar equipos de gran potencia.

1.10 Potencial del río Picheuta y de los demás afluentes del río Mendoza

En la tabla N° 3 aparecen las características del río Picheuta junto al potencial de los otros afluentes del río Mendoza y se observa también la energía que se podría lograr si se aprovechara toda la cuenca de este importante río mendocino.

Tabla N° 3: Potencial del río Picheuta y de los demás afluentes del río Mendoza

POTENCIAL HIDROELÉCTRICO ESTIMADO NO INDIVIDUALIZADO — País: ARGENTINA; Referencia: PROVINCIA DE MENDOZA

CUENCA	RÍO	ENTRE COTAS msnm	ENERGÍA FIRME EFIR GWh / año	ENERGÍA MEDIA EMED GWh / año	POTENCIA INSTALABLE PINS MW	INCIDENCIA SOBRE POT. TOTAL %
MENDOZA	MENDOZA	2390-1000	2.585,50	4.002,32	456,89	56,86
	TUPUNGATO	2800-2390	283,09	438,23	50,03	6,23
	PLOMO	3750-2750	250,47	387,73	44,26	5,51
	Q. DEL SALTO	4700-2735	80,46	124,56	14,22	1,77
	Aº CHORRILLOS	3800-2670	60,41	93,52	10,68	1,33
	SANTA CLARA	4000-2650	74,91	115,96	13,24	1,65
	Q. FEA	4750-2510	151,53	234,56	26,78	3,33
	BLANCO- TUPUNGATO	3300-2480	95,77	148,24	16,92	2,11
	CUEVAS	3600-2395	203,55	315,10	35,97	4,48
	Q.LOS HORCONES	3900-2725	87,38	135,26	15,44	1,92
	VACAS	3100-2350	122,73	189,98	21,69	2,70
	COLORADO	4750-2270	158,90	245,98	28,08	3,49
	Qª EL ALUMBRE	3400-1630	29,35	45,43	5,19	0,65
	Aº TAMBILLOS	4000-2080	26,56	41,12	4,69	0,58
	BLANCO-MENDOZA	3750-2070	177,40	274,61	31,35	3,90
	PICHEUTA	3100-1960	51,04	79,01	9,02	1,12
	Aº USPALLATA	2400-1740	47,02	72,79	8,31	1,03
	Q. LOS GATEADOS	2275-1395	12,27	18,99	2,17	0,27
	BLANCO - ANGOSTURA	3000-1325	48,43	74,97	8,56	1,07

2. Anteproyecto sobre el Río Picheuta

Luego de analizadas varias configuraciones lo más conveniente para una generación hidroeléctrica relativamente económica, sería en principio una solución a partir de una derivación del río mediante un azud. Esto significa que las obras no modificarían la forma de aparición de los caudales de este afluente del Río Mendoza.

2.1 Principales componentes del Aprovechamiento

Las principales obras que componen el aprovechamiento son:

1. Presa de derivación de unos de 144 m de longitud
2. Túnel de 5,7 Km de longitud
3. Chimenea de equilibrio

4. Tubería forzada de 1.200 m
5. Casa de máquinas
6. Canal de fuga

2.2 Potencia firme, Energía Media Anual y Costos del Aprovechamiento

En forma muy preliminar se ha estimado que el valor de las obras civiles, incluido el camino de acceso a la zona del cierre, la central y el parque de maniobras, ascendería a U$S 6.860.000, mientras que el equipamiento hidroelectromecánico sería de U$S 4.390.000, conformando un total de U$S 11.250.000.

La potencia a instalar podría ser de 4,5 MW, mientras que la potencia firme resultaría de 3,0 MW, con una Energía Media Anual (EMA) de 14,2 GWh.

3 Conclusiones

Se ha logrado una visión comprensiva de las posibilidades hidráulicas que encierra la cuenca del Río Picheuta y de la singularidad en que está inserto, por lo que desarrollar un aprovechamiento hidráulico no consuntivo resultaría muy interesante.

Los resultados hallados corroboran la necesidad de obtener más datos de campo y mejores registros de aforos in situ.

La antigua estación de aforos de Uspallata que estaba emplazada en una singularidad, reportaba distinta información que la de las estaciones superiores (Tupungato, Cuevas, de Las Vacas) y de aguas abajo (Guido, Cacheuta), aportando datos muy relevantes sobre la magnitud de los flujos en el subálveo del río Mendoza.

La continuación de aforos sistemáticos en la zona de la singularidad de Uspallata, permitirían registrar la totalidad del caudal en esa progresiva, por lo que es necesario intentar rehabilitar la E° Uspallata, para utilizarla como estación de control de los aforos que se realizan sobre el río aguas arriba.

El potencial hidroeléctrico del río Picheuta permite sugerir una posible gestión del recurso en esa progresiva del río Mendoza, tal que ayude a optimizar los beneficios en el resto de la cuenca, aguas abajo de Uspallata.

El análisis de una alternativa con presa de embalse no debe ser totalmente descartado, toda vez que una mejor y mayor información podrían contribuir a una decisión favorable.

Referencias

1. Consorcio Potrerillos; “Aprovechamiento Múltiple Potrerillos Río Mendoza - Clima, Tomo 38”.pp. 95, (1972).
2. EDES-AUXINI; “Desarrollo Eléctrico de la Región Cuyo”, Tomo 1- Estudio de Recursos Hidroeléctricos; Tomo 2 - Estudio Hidrológico (1969).
3. Di Lello, F. A. et al; “Estudio de la Singularidad Hidrológica del río Mendoza en Uspallata”. Proyectos Bienales de la SeCTyP (UNCuyo). Mendoza, 2009-2011. (2011).

4. Sociedad Argentina de Ingenieros Proyectistas (SADIP S.R.L) (1952); "Río Mendoza y Afluentes" Hidrología. T. 1 - Observaciones Hidrométricas (1949-1951).
5. Forti, A. "Posibilidades de Fuerza Motriz de los Ríos Andinos de la República Argentina entre los Paralelos 31º y 36º" Buenos Aires, (1944).
6. Espizúa, L.E.; "Glaciaciones Cuaternarias en el Valle del río Mendoza, Andes Argentinos" - Geología del Cuaternario - IANIGLA, pp. 112, (2002).
7. Di Lello, F. A. et al; "Aprovechamiento Integral del Río Mendoza". JEyPRIII (AyEE) - Mendoza, (1980).
8. Di Lello, F. A. et al; "Estudio de la Regulación en el Río Mendoza en Uspallata"; Convenio UNCuyo- IPE (1994).

El Caudal Ecológico en el Balance Hídrico de la Cuenca del Río Capibaribe

Patricia S. Infante[1], Luis M. Magistocchi[1], Luis E. Guisasola[1], Gustavo Melo[2], María do Carmo Sobral[2], Suzana María Montenegro[2]

[1] Maestría en Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo. Centro Universitario. Ciudad de Mendoza. Mendoza. Argentina
pinfante@fing.uncu.edu.ar, ingamb@uncu.edu.ar

[2] Doutorado Engenharia Civil, Centro de Tecnologia e Geociências, Departamento de Engenharia Civil, Universidad Federal de Pernambuco. Rua Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária, Recife, Pernambuco, Brasil
gustmelo@gmail.com, msobral@ufpe.br

Resumen. La cuenca de Río Capibaribe está ubicada en el noreste del estado de Pernambuco, en Brasil, presenta características ambientales complejas, con contrastes climáticos, de relieve, de suelos, de cobertura vegetal y de aspectos socioeconómicos que exigen un modelo de gestión hídrica y ambiental específico. Los conflictos de uso y la contaminación urbana e industrial a lo largo de la cuenca exigen la compatibilización de las demandas actuales y futuras provenientes del sector productivo agropecuario, de la industria y de los servicios. El Sistema del Río Capibaribe está formado por cinco presas de embalse, tres ubicadas sobre el mismo río y dos ubicadas en afluentes del mismo, las que tienen como finalidad el abastecimiento de agua para uso poblacional, industrial y agropecuario, además de la atenuación de crecientes. Con la aplicación de métodos hidrológicos en el diseño de la herramienta "Caudal Ecológico", para el balance hídrico de la cuenca; se concluye que el método de la Curva de Permanencia es el que más se ajusta a la variación de los caudales medios mensuales del río Capibaribe.

Palabras Clave: Recursos hídricos. Gestión. Caudales ecológicos. Río Capibaribe

1 Introducción

En los aprovechamientos hidráulicos que incluyen la construcción y operación de presas de embalse y centrales hidroeléctricas se produce un efecto regulador de los caudales del río en el cual se instalan; generando una modificación del régimen natural de los mismos. Se modifican a través del tiempo los volúmenes que ingresan y egresan del cuerpo de agua que se forma aguas arriba de la presa.

El manejo temporal mencionado implica almacenamiento y descarga de agua a través de la central hidroeléctrica, o a través del descargador de fondo o del aliviadero, según un plan de erogaciones que debe respetar las necesidades de caudal hacia aguas abajo. Esas necesidades pueden tener diferentes características en cuanto a magnitud, variación temporal y espacial, y es lo que en la bibliografía se ha denominado "caudal de reserva ecológico" o "caudal mínimo medioambiental", o simplemente "caudal ecológico" [1].

El concepto de "caudal ecológico" implica determinar las necesidades hídricas para la conservación de la ecología fluvial, y se lo define como el caudal que debe ser reservado para mantenerla en condiciones admisibles, aguas abajo de las obras o aprovechamientos que alteren los regímenes originales o naturales de flujo de una corriente [2]. Se entiende, entonces, que el caudal de ecológico, Q_E, es el mínimo necesario para mantener los valores ecológicos del río, asegurando la permanencia de un volumen de agua dentro del cauce.

Los ríos forman ecosistemas, limitados espacialmente y formados por componentes bióticos y abióticos y por las interacciones entre todos ellos, se denominan ecosistemas lóticos, y comprenden cuerpos de agua y corrientes rápidas como ríos y arroyos [3]. Cuando en dichos ecosistemas se desarrollan aprovechamientos hidráulicos que regulan el régimen natural del curso de agua, las relaciones entre los diferentes componentes del ecosistema se modifican ocasionando alteraciones de diferentes magnitudes. La medida de mitigación que se debe diseñar en dichos casos es el "caudal ecológico", lo que asegura que la actividad a desarrollar a través los aprovechamientos hidráulicos sea sustentable.

2 Caso de estudio: cuenca del río Capibaribe

2.1 Descripción hidrográfica y geológica de la cuenca

Se plantea como caso de estudio la Cuenca del Río Capibaribe. Dicha cuenca se encuentra en el norte del estado oriental de Pernambuco, en Brasil, entre los 07º 41' 20" y 08º 19' 30" de latitud sur y 34º 51' 00"y 36º 41' 58" de longitud oeste; limita al norte con el estado de la cuenca del río Paraíba y Goiás, al sur con la cuenca del río Ipojuca, al este con el Océano Atlántico y al oeste con el Estado de Paraíba y la cuenca del río Ipojuca. En la Figura 1 se puede ver la ubicación del estado de Pernambuco y la ubicación relativa de la cuenca del río Capibaribe.

La cuenca del río Capibaribe tiene una superficie de 7.454,88 km², abarca 42 municipios del Estado de Pernambuco, y por la envergadura de su cobertura regional, incluye ambientes agrestes, selváticos y costeros, lo que se traduce en un entorno complejo en el que se muestran contrastes climáticos, de relieve, de suelo y de vegetación, así como socioeconómicos, lo que requiere un modelo de gestión del agua y del medio ambiente que se adapte a sus particularidades subregionales y locales. En la Figura 2 se representa la extensión de la cuenca y los estados involucrados.

El río Capibaribe nace entre el municipio y la poción Jatauba, fluye por varios centros urbanos y actúa como cuerpo receptor de sus efluentes industriales y domésticos. Presenta dirección inicial al este-noreste de la zona de Santa Cruz do Capibaribe cuando sigue su curso de oeste a este, cubriendo una longitud total de cerca de 280 kilómetros hasta su desembocadura en el océano en la ciudad de Recife. En varios pasajes, sirve de límite entre los municipios de Pernambuco, y entre Santa Cruz y Heath Capibaribe la Madre de Dios.

El río presenta régimen de flujo intermitente en los cursos superior y medio, llegando a ser perenne sólo a partir de la ciudad de Limoeiro, en su curso inferior.

Fig. 1. Localización de la cuenca hidrográfica del río Capibaribe en el Estado de Pernambuco [4].

Fig. 2: Cuenca hidrográfica del río Capibaribe [4].

Los principales afluentes de la margen derecha del río Capibaribe son los arroyos Mimoso, Tabocas, Corriente de Oz, Carapatós, Corriente de Mares, Caçatuba, y los ríos Cotumgubá y Goitá Tapacurá. Mientras que en la margen izquierda se encuentran los arroyos Jatauba, Dulce Trozo arroyo y Cajaí Manso.

En cuanto a las características geológicas, el territorio correspondiente a la cuenca es predominantemente cristalino con la aparición de las unidades sedimentarias restringidas a su curso inferior. Este basamento cristalino está limitado por la Cuenca Sedimentaria Pernambuco-Paraíba, en el municipio de Recife, donde es más bien estrecha, teniendo como unidad basal la Formación Beberibe, representada por un depósito fluvial de alto potencial hidrogeológico llamado acuífero Beberibe. En la parte inferior del río Capibaribe, cerca de la región metropolitana de Recife, se ubica la Formación Barreiras, representada por las cubiertas sedimentarias dispersas que cubren indistintamente el basamento cristalino y la cuenca sedimentaria. Ya en las

tierras bajas de la planicie costera, hay sedimentos cuaternarios más recientes, representados por depósitos marinos y en estuarios de la planicie costera.

En cuanto a la cobertura vegetal, y a pesar de la extraordinaria riqueza y diversidad de especies en los biomas del nordeste brasileño, hay una elevada degradación de los mismos debido a las intervenciones humanas, y esto se repite, tanto en ambientes naturales, como modificados, en zonas urbanas y rurales. La cuenca bajo estudio desde sus nacientes y hasta su desembocadura en el océano en la ciudad de Recife, presenta paisajes que incluyen los biomas de Caatinga y la Mata Atlántica, observándose una gran variedad de suelos y de relieves, lo que resulta en una gran diversidad de ambientes. Sin embargo, la forma de ocupación del territorio, dominado por el monocultivo de la caña de azúcar, el ganado y anteriormente del cultivo del algodón, determina la aparición de paisajes muy antropizados. En esta región, el escenario de la interferencia humana en el ámbito de la sabana esteparia original, muestra paisajes compuestos por árboles dispersos tales como el Aristida setifolia y el Tragus berteronianus.

2.2 Aportes antrópicos a la calidad del agua del río Capibaribe

El principal aporte antrópico que sufre el río es el proveniente de los efluentes domésticos e industriales de los centros urbanos cercanos. Los resultados del monitoreo de la calidad del agua de río Capibaribe, que está a cargo de la Agencia de Medio Ambiente del Estado de Pernambuco (CPRH), arrojan contaminación en todas las unidades de análisis, debido principalmente a altas concentraciones de amoníaco, fósforo y coliformes fecales [4].

Se han observado muy bajas o casi inexistentes concentraciones de oxígeno disuelto, OD, y altas concentraciones de demanda bioquímica de oxígeno, DBO_5, aguas abajo de los centros urbanos e industrias, resaltando que la tasa de vuelco de aguas residuales domésticas y efluentes industriales se realiza por encima de la capacidad de autodepuración del río. En general y en su mayoría, el recurso hídrico del río se encuentra eutrofizado, desde eutrófico a hipereutrófico, con la excepción de una estación, denominada CB-60, cuyo estado se clasifica como mesotrófico y moderadamente contaminado [4].

El otro aspecto antrópico que modifica la calidad del agua del río Capibaribe es la disposición inadecuada de residuos sólidos urbanos. La generación total de residuos sólidos en la cuenca del río Capibaribe es de aproximadamente 1.521 t/día, incluyendo las poblaciones urbanas y rurales de cada condado. El municipio de Caruaru, cuya sede se encuentra fuera de la cuenca, es responsable de la generación de 222 t/día, 14,62% del total generado en la cuenca, seguido por los municipios de São Lourenço da Mata y Santa Cruz Capibaribe con 117 t/día cada uno, y Vitoria de Santo Antao con 110 t/día [4].

La disposición final de estos residuos generados son vertederos, básicamente 22 vertederos a cielo abierto, dos rellenos sanitarios, Toritama y Santa Cruz de Capibaribe, y un vertedero controlado en Vitória de Santo Antão [4].

2.3 Fauna íctica de la zona bajo estudio

La abundancia de las especies de río Capibaribe aumenta hacia la desembocadura en el océano, probablemente debido a la interferencia del mar, lo que produce una mejora en la calidad ambiental del hábitat. En un estudio sobre la fauna de peces del río Capibaribe, octubre de 2006 a marzo de 2007 [5], se identificó que la familia con el mayor número de especies fue el Gobiidae, seguida del Poeciliidae. Las especies más abundantes fueron Gobionellus boleosoma y Poecilia vivípara. A pesar de ser un río afectado por la acción humana, presenta una gran diversidad de peces. Sin embargo, esta diversidad es el resultado de la predominancia de especies indicadoras de ambientes degradados, como Poecilia vivípara.

El estudio de las poblaciones de peces en las diferentes cuencas totalizó 4.372 individuos, siendo la cuenca del río Goiana y del río Ipojuca Goiás, los que mostraron los valores más altos, respectivamente 1.127 y 1.039 individuos, seguido por el río Una, Capibaribe y Sirinhaém, 953, 704 y 549 individuos, respectivamente. Se han identificado 40 taxones, representando 13 familias y 6 órdenes. Characidae es la familia con más riqueza taxonómica, 12 especies y 30% del total, seguido por Cichlidae, 8 y 20%, y Loricariidae Poeciliidae, 4 y 10%, callichthyid, 3 y 7,5%, Crenuchidae, 2 y 5% cada uno, y las demás con un taxón Parodontidae Curimatidae, Anostomidae, Erythrinidae, Heptapteridae, Gymnotidae y Synbranchidae, correspondiente al 2,5% de la riqueza total. Sin embargo, tales condiciones fueron posible debido a los ambientes y tramos menos afectados de la cuenca hidrográfica del río Capibaribe [4].

2.4 Sistema de aprovechamiento del recurso hídrico

El Plan Director de la cuenca hidrográfica del río Capibaribe [4], establece una división de la cuenca en cuatro unidades de análisis, denominadas UA1, UA2, UA3 y UA4, principalmente debido a la heterogeneidad en las características de las mismas, tal como puede observarse en la Figura 3.

La UA1 o Unidad de Toritama abarca aproximadamente el tercio superior de la cuenca, la UA2 o Unidad de Jucazinho abarca desde Toritama hasta el embalse Jucazinho, la UA3 o Unidad de Limoeiro comprende las áreas de drenaje de Capibaribe, desde el embalse Jucazinho hasta el embalse Carpina; y la UA4 o Unidad de São Lourenço da Mata abarca las áreas de drenaje del tercio inferior de la cuenca.

Fig. 3: Unidades de análisis de la cuenca hidrográfica del río Capibaribe [4].

El sistema del río Capibaribe está compuesto por una serie de embalses, que aunque se trata de una densa red hidrográfica, totaliza un volumen de almacenamiento del orden de los 800hm^3, que se distribuyen en siete embalses con capacidad mayor a los 10hm^3 y otros de menor capacidad, siendo la mayor parte, 900 reservorios, de capacidad menor a 0.5hm^3. La finalidad principal de estos embalses es el abastecimiento de agua, asociado a la piscicultura, al control de crecidas por precipitaciones y al riego, y los embalses de mayor envergadura son gestionados por una comisión integrada por organismos federales y estaduales y coordinados por la Secretaría de Recursos Hídricos de Pernambuco.

En la Tabla 1 se indican los embalses o reservorios ubicados en el río Capibaribe con capacidad superior a dos millones de m³, 2hm^3. En *cursiva* se resaltan los embalses de mayor envergadura y cuya operación representa la mayor modificación del sistema natural del río Capibaribe, los que representan en conjunto el 94,7% del total de agua acumulada en la cuenca, y su ubicación relativa respecto de la cuenca se esquematiza en la Figura 4.

El sistema de aprovechamiento descrito garantiza la disponibilidad del recurso hídrico para diferentes usos, principalmente consumo para riego, usos doméstico e industrial. El río Capibaribe es de régimen pluvial, y presenta intermitencia en su tramo medio transformándose en permanente a partir del municipio de Limoeiro, por lo tanto las tomas de agua más importantes, para los diferentes usos consuntivos, se materializan en los embalses ubicados en toda la cuenca, y no del propio cauce del río. Es importante destacar que el río también es receptor de efluentes domésticos e industriales de desarrollos urbanos ubicados en sus márgenes en varios municipios.

El uso de agua subterránea no representa un ítem importante en términos de volumen captado, ya que la mayor parte de la superficie de la cuenca se desarrolla en suelo cristalino, y sólo una pequeña extensión cerca de la costa se encuentra en la cuenca sedimentaria Pernambuco-Paraíba, en la que cual el agua subterránea es de mejor calidad y presenta mejores caudales.

Tabla 1. Reservorios ubicados en el río Capibaribe [4].

Reservorio	UA	Capacidad (hm^3)	Año funcionamiento	Longitud coronamiento (m)
Carpina	3	270	1978	1720
Goitá	4	52	1978	78
Jucazinho	2	327	1999	442
Poco Fundo	1	27,75	1998	178
Tapacurá	4	94,2	1973	110
Ing. Cercino Pontes (Tabocas)	1	13,6	S/D	S/D
Machados	1	6,8	S/D	215
Oitis	1	3,02	S/D	S/D
Várzea do Una	4	11,57	S/D	200

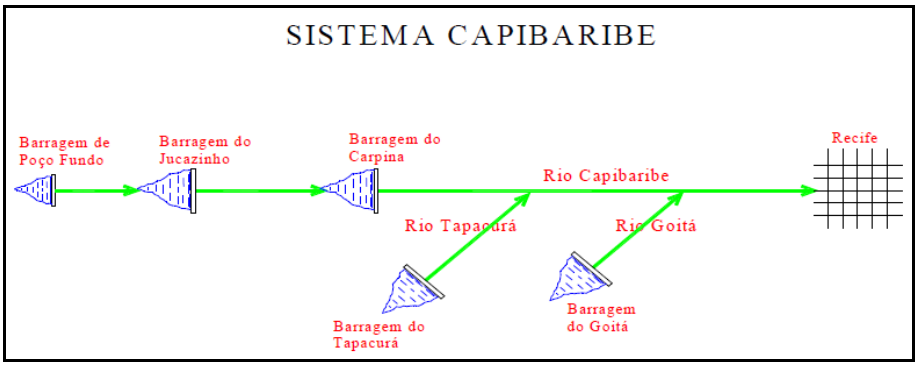


Fig. 4. Representación gráfica del sistema Capibaribe [6].

Conforme al Plan Director de Recursos Hídricos de la cuenca del río Capibaribe confeccionado en el año 2002, en las unidades ambientales UA1, UA2, UA3 y parte del UA4, en donde los pozos se encuentran en el basamento cristalino, el porcentaje de pozos desactivados supera los 50 %, presentan niveles bajos de caudal y los altos contenidos de sales. Los pozos situados en el basamento cristalino se utilizan principalmente para el abastecimiento doméstico y rural. Los usuarios de agua subterránea más importantes se ubican en la ciudad de Recife, donde las aguas son destinadas principalmente para el suministro de condominios, usos industrial y comercial.

De los usos superficiales inventariados correspondientes a la totalidad de la cuenca hidrográfica del río Capibaribe, el mayor resulta ser el de riego, seguido del de abastecimiento poblacional, usos industrial, comercial, ganadero y piscicultura, según puede verse en la Tabla 2.

Tabla 2. Finalidades de uso de agua expresadas en porcentajes

Finalidades de uso de agua	Porcentaje del total
Abastecimiento para riego	42
Abastecimiento poblacional público y privado	40
Abastecimiento para uso industrial	11
Abastecimiento para uso comercial	3
Abastecimiento para uso ganadero	3
Abastecimiento para piscicultura	1

En el balance hídrico realizado en Plan Hidroambiental de la cuenca hidrográfica del río Capibaribe del año 2010 [4], se han tenido en cuenta las potencialidades y disponibilidades efectivas y virtuales del recurso versus las demandas consuntiva y ecológica, para obtener lo que se llama el saldo hídrico.

El concepto de caudal ecológico aplicado en el mencionado estudio corresponde a un valor equivalente al 10% de la disponibilidad efectiva total de agua de la cuenca. O sea que se adoptó una metodología de cálculo hidrológica simplificada para su consideración en el balance hídrico. Según la pág. 188 del mencionado estudio la disponibilidad efectiva total de agua de la cuenca es de 403,4 hm^3/año, lo que resulta en un caudal ecológico de 40,34 hm^3/año.

3 Metodología aplicada y resultados obtenidos

3.1 Datos hidrológicos disponibles

Se ha seleccionado la unidad ambiental de análisis UA4 para el cálculo del caudal ecológico, ya que la misma se ubica en el extremo este de la cuenca del río Capibaribe, con lo cual la red de drenaje de la misma se encuentra casi completa, o sea, con el aporte de la gran mayoría de sus tributarios.

Los datos que se han utilizado para los cálculos hidrológicos corresponden a los registros de la Agencia Nacional de Aguas de Brasil, ANA, y forman parte del Sistema Nacional de Información sobre Recursos Hídricos [7].

Para los cálculos realizados se seleccionó la serie de caudales medios diarios, Q_{MD}, medidos en la estación de aforos São Lourenço da Mata, ver Figura 5, perteneciente a la red hidrometeorológica de la cuenca del río Capibaribe y ubicada en la unidad ambiental de análisis UA4, la última hacia el este. La estación de aforo seleccionada está ubicada a 8º1´0´´ de latitud sur, a 35º3´0´´ de longitud oeste y a 55msnm de altitud, dentro del Municipio de São Lourenço da Mata, y es operada por la ANA. El método de obtención de los caudales en las estaciones de aforo es a través de curvas de descarga.

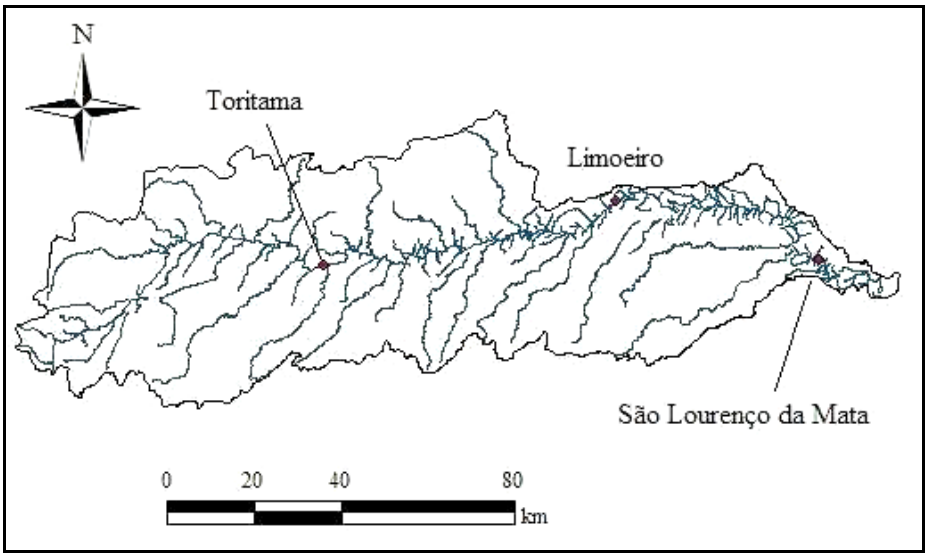


Fig. 5. Ubicación de las estaciones de aforo sobre el río Capibaribe [4].

La serie de datos de Q_{MD} que se ha usado para los cálculos del caudal ecológico se extiende desde enero de 1957 y hasta diciembre de 1975, ya que luego de esta última fecha hay un intervalo hasta 1984 en el cual no hay mediciones registradas. Hay que tener en cuenta que a partir de 1978 se completó la construcción de la mayoría de las presas del sistema ya descrito, y este cálculo de caudales ecológicos está orientado a determinar las condiciones naturales de variabilidad del caudal imperantes previo a la regulación del río.

Los caudales medios mensuales, Q_{MM}, fueron calculados a partir de los Q_{MD} correspondientes a la serie temporal 1957-1975 y se presentan en la Tabla 3 y en la Figura 6.

Tabla 3. Caudales medios mensuales Q_{MM}, en m^3/s, calculados para el período 1957-1975 en la estación de aforo São Lourenço da Mata.

Mes	Q_{MM} (m^3/s)	Mes	Q_{MM} (m^3/s)
Enero	3,63	Julio	56,96
Febrero	4,26	Agosto	18,93
Marzo	32,79	Septiembre	8,08
Abril	40,66	Octubre	4,22
Mayo	21,38	Noviembre	2,66
Junio	35,49	Diciembre	3,26

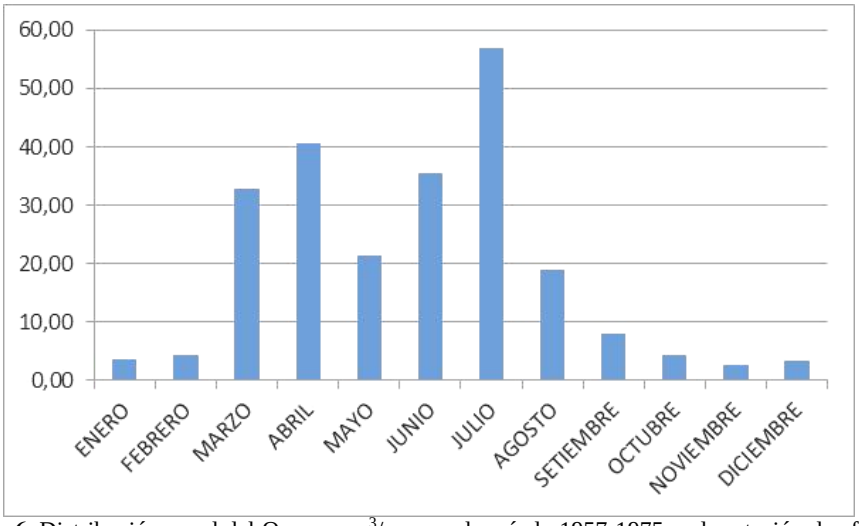


Fig. 6. Distribución anual del Q_{MM}, en m^3/s, para el período 1957-1975 en la estación de aforo São Lourenço da Mata.

3.2 Análisis de los métodos hidrológicos a aplicar

El marco conceptual de los métodos hidrológicos se basa en la consideración de que los organismos de las comunidades ribereñas están adaptados a las variaciones estacionales propias de un régimen hídrico; y además estas variaciones naturales afectan el comportamiento, ciclo biológico y producción de las poblaciones [1].

Se aplican los métodos siguientes: Método de la Curva de Permanencia; Método del Caudal Mínimo de siete días con período de ocurrencia de 10 años; Método de Tennant, Método de la legislación del Código de Aguas de Chile, en estos cuatro se obtiene un hidrograma ecológico; Método Matemático Suizo y el Método de la legislación del Principado de Asturias, en éstos dos últimos se obtiene un único valor de caudal a aplicar en todos los meses del año.

En primer lugar se aplica el Método de Curva de Permanencia [8], a partir de los Q_{MM} correspondientes a la serie 1957-1975 en la estación de aforo São Lourenço da Mata. Se identifica el mínimo Q_{MM}, el que resulta de $0{,}48 m^3/s$, valor que se presenta en el mes de febrero de 1972. Se fija este caudal como el "caudal ecológico" correspondiente al mes de febrero. Para calcular el caudal ecológico del resto de los meses, se afecta a los Q_{MM} por un coeficiente α que se obtiene del cociente entre el caudal mínimo de la serie y el promedio de los Q_{MM} de la serie correspondiente al mes en el que se produce el mínimo. Con lo cual el cálculo del coeficiente α se realiza con la ecuación (1):

$$\alpha = \frac{Q\min serie}{Qprom} = \frac{0{,}48 m^3/s}{Qprom.febr} = \frac{0{,}48 m^3/s}{4.26 m^3/s} = 0{,}11 \quad \textbf{(1)}$$

Los caudales ecológicos calculados con los Q_{MM}, indicados como Q_{EMM}, se resumen en la Tabla 4, el derrame anual correspondiente asciende a 68,61hm^3/año, lo que representa el 11,18% del derrame medio anual.

El segundo método aplicado es el del Caudal Mínimo de siete días consecutivos [8]. Este método entrega el valor de un caudal mínimo estadístico que corresponde al valor que en media, será igual o menor que el caudal medio en cualquier evento de siete días de sequía consecutivos. Para el cálculo se identificaron los siete días consecutivos más secos de la serie histórica de Q_{MD} entre los años hidrológicos 1956-1975 en la estación de aforo São Lourenço da Mata. La suma de los siete Q_{MD} consecutivos que arrojó el menor valor fue de 1,26m^3/s, lo cual da un medio diario de 0,18m^3/s, este valor es el que se toma como "módulo ecológico".

De los datos de la serie hidrológica se evaluó el derrame promedio anual, los derrames promedios mensuales y las relaciones entre ellos para cada mes. A partir del "módulo ecológico" calculado anteriormente, se determinó un derrame anual mínimo. Luego se evaluaron los caudales ecológicos para cada mes, conservando la misma relación entre derrames mensuales y anuales que se obtuvieron de la serie dato, los resultados, indicados como $_7Q_{10}$, se resumen en la Tabla 4. El derrame anual correspondiente a los caudales ecológicos $_7Q_{10}$ asciende a 5,67hm^3/año, lo que representa el 0,92% del derrame medio anual.

El tercer método hidrológico aplicado corresponde al Método de Tennant [9], en el que se fijan los caudales ecológicos como un porcentaje del caudal medio anual, Q_{MA}. Dichos porcentajes son variables de acuerdo a un criterio cualitativo, para este caso se adopta un *criterio aceptable* para la reserva ecológica, al que le corresponde el 10% del caudal medio anual para los meses de estiaje y el 30% para los meses más abundantes. La aplicación de este criterio, a la serie de datos de Q_{MM} para el período 1957-1975 en la estación de aforo São Lourenço da Mata, resulta en los valores indicados como Q_{ET} en la Tabla 4. El derrame anual correspondiente a los caudales ecológicos Q_{ET} asciende a 123,23hm^3/año, lo que representa el 20,08% del derrame medio anual.

En el método de la legislación del Código de Aguas de Chile [10] se consideran tres caudales de referencia:

1. El caudal asociado al 50% del caudal con probabilidad de excedencia del 95%, $Q_{95\%PE}$, para cada mes.
2. El caudal correspondiente al 10% del caudal medio anual, $10\%Q_{MA}$.
3. El caudal correspondiente al 20% del caudal medio anual, $20\%Q_{MA}$.

Las consideraciones para la adopción del caudal ecológico mensual son las siguientes. Para aquellos meses, en los cuales el caudal determinado para el 50% del $Q_{95\%PE}$ es menor al caudal determinado para el $10\%Q_{MA}$, entonces el caudal mínimo ecológico en esos meses será el $10\%Q_{MA}$. Para aquellos meses, en los cuales el caudal determinado para el 50% del $Q_{95\%PE}$ es mayor al caudal determinado para el $10\%Q_{MA}$ y menor que el caudal determinado para el $20\%Q_{MA}$, entonces el caudal mínimo ecológico en esos meses será el 50% del $Q_{95\%PE}$. Y por último, para aquellos meses, en los cuales el caudal determinado para el 50% del $Q_{95\%PE}$ es mayor al caudal determinado para el $20\%Q_{MA}$, entonces el caudal mínimo ecológico en esos meses será el 20% Q_{MA}.

Para la aplicación de estas consideraciones a la serie de Q_{MD} para el período 1956-1975 en la estación de aforo São Lourenço da Mata, ha sido necesario construir una

curva de caudales clasificados para cada mes y obtener de cada una de ellas el valor correspondiente al $Q_{95\%PE}$. Los valores obtenidos para cada mes se indican como Q_{ELC} en la Tabla 4. El derrame anual correspondiente a los caudales ecológicos indicados como Q_{ELC} asciende a 94,04hm^3/año, lo que representa el 15,32% del derrame medio anual.

El quinto método hidrológico aplicado es el Matemático Suizo [11], cuya expresión matemática para el cálculo del caudal ecológico Q_{EMS} es la ecuación (2).

$$Q_{EMS} = \frac{15 \times Q_{347}}{[\ln Q_{347}]^2} \cdot \quad \textbf{(2)}$$

En la ecuación (2) el caudal Q_{347} se calcula a partir de 10 años de caudales medios diarios, y representa el caudal que es igualado o excedido 347 días por año, expresado en l/s.

Con los datos de la serie de Q_{MD} entre los años hidrológicos 1956-1975 en la estación de aforo São Lourenço da Mata, se calculó la curva de caudales clasificados de la cual el Q_{347} resulta de 2,44m^3/s, y el caudal ecológico, indicado como Q_{EMS} en la Tabla 4, resulta en un único valor de 0,60m^3/s, lo que implica un derrame anual ecológico de 18,98hm^3/año, lo que representa el 3,09% del derrame medio anual.

El sexto método hidrológico aplicado es el correspondiente a la legislación asturiana [11], cuyo criterio es adoptar el mayor de los caudales obtenidos aplicando las ecuaciones (3), (4) y (5), en las que el Q_{347} tiene el mismo concepto ya mencionado. El resultado obtenido es un único valor de caudal ecológico, Q_{ELA}, para todo el año.

$$Q_{ELA} = \frac{15 \times Q_{347}}{[\ln Q_{347}]^2} \cdot \quad \textbf{(3)}$$

$$Q_{ELA} = 0{,}35 \times Q_{347} \cdot \quad \textbf{(4)}$$

$$Q_{ELA} = 0{,}25 \times Q_{347} + 75 \cdot \quad \textbf{(5)}$$

Con los datos de la serie de Q_{MD} entre los años hidrológicos 1956-1975 en la estación de aforo São Lourenço da Mata, y la curva de caudales clasificados de la cual el Q_{347} resulta de 2,44m^3/s, el caudal ecológico, indicado como Q_{ELA} en la Tabla 4, resulta en un único valor de 0,85m^3/s, lo que implica un derrame anual ecológico de 26,95hm^3/año, lo que representa el 4,39% del derrame medio anual.

En la Tabla 5 se resumen los resultados correspondientes a los derrames ecológicos anuales y a los porcentajes de los mismos respecto del derrame anual del río Capibaribe, éste último calculado en base a la serie de datos hidrológicos adoptada en los cálculos realizados. Las demandas ecológicas se han expresado en derrame anual, y no como caudales mensuales, ya que dicho valor es uno de los términos que se incluyen en el balance hídrico de la cuenca.

Tabla 4. Hidrogramas de caudales ecológicos

Mes	Q_{MM} (m^3/s)	Q_{EMM} (m^3/s)	$_7Q_{10}$ (m^3/s)	Q_{ET} (m^3/s)	Q_{ELC} (m^3/s)	Q_{EMS} (m^3/s)	Q_{ELA} (m^3/s)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Enero	3,63	0,41	0,03	1,95	1,95	0,60	0,85
Febrero	4,26	0,48	0,04	1,95	1,95	0,60	0,85
Marzo	32,79	3,67	0,30	5,84	3,89	0,60	0,85
Abril	40,66	4,55	0,38	5,84	3,89	0,60	0,85
Mayo	21,38	2,39	0,20	5,84	3,89	0,60	0,85
Junio	35,49	3,97	0,33	5,84	3,89	0,60	0,85
Julio	56,96	6,37	0,53	5,84	3,89	0,60	0,85
Agosto	18,93	2,12	0,17	5,84	3,89	0,60	0,85
Septiembre	8,08	0,90	0,07	1,95	2,62	0,60	0,85
Octubre	4,22	0,47	0,04	1,95	1,95	0,60	0,85
Noviembre	2,66	0,30	0,02	1,95	1,95	0,60	0,85
Diciembre	3,26	0,36	0,03	1,95	1,95	0,60	0,85

Tabla 5. Comparación de resultados de derrames anuales ecológicos del río Capibaribe.

Método	**Derrame Ecológico Anual (hm^3/año)**	**Porcentaje del Derrame Anual**
Método de la Curva de Permanencia	68,61	11,18%
Método del Caudal Mínimo de siete días con período de ocurrencia de 10 años	5,67	0,92%
Método de Tennant	123,23	20,08%
Método Matemático Suizo	18,98	3,09%
Método de la legislación del Principado de Asturias	26,95	4,39%
Método de la legislación del Código de Aguas de Chile	94,04	15,32%

4 Consideraciones finales

Del análisis de los valores que se resumen en las Tablas 4 y 5 se puede concluir lo siguiente.

La metodología hidrológica de la Curva de Permanencia, columna 2 de la Tabla 4, con el uso de caudales medios y mínimos para el cálculo de caudales ecológicos, es la que más se ajusta a la variación de Q_{MM} del río Capibaribe, columna 1 de la Tabla 4, en la UA4.

Mientras que los resultados obtenidos con el Método del Caudal Mínimo de siete días consecutivos, columna 3 de la Tabla 4, son significativamente menores, tanto para los caudales ecológicos medios mensuales, como para el derrame anual, 5,67hm^3/año, pero respetan bastante bien la variabilidad natural de los caudales del río Capibaribe.

Teniendo en cuenta los resultados de la aplicación del Método de la legislación del Código de Aguas de Chile, columna 5 de la Tabla 4, y del Método de Tennant, columna 4, se concluye que brindan los mayores caudales ecológicos en los meses de estiaje, pero se observa bastante rigidez en la variación del resto de los valores obtenidos, de modo que ambos métodos poseen una relativa o escasa adaptabilidad al régimen natural de caudales del río Capibaribe.

Idéntica conclusión a la anterior se puede dar para la aplicación de los métodos Matemático Suizo, columna 6 de la Tabla 4, y de la Legislación Asturiana, columna 7, principalmente debido a lo restringido de ambas metodologías.

Hay que hacer una aclaración respecto del Método de Tennant, el mismo ha sido desarrollado en base a los resultados obtenidos del monitoreo de ríos pertenecientes a una zona montañosa de Estados Unidos, de modo que la aplicabilidad a la cuenca del río Capibaribe está muy restringida por las diferencias físicas, meteorológicas y geomorfológicas entre ambas zonas, y debido a ello es que el resultado obtenido no se ajusta a las condiciones naturales.

Comparando los resultados de los dos primeros métodos aplicados, que son los que más se ajustan a la variabilidad natural del caudal del río Capibaribe, se los puede calificar como esperados, debido a las condiciones de aplicación de los métodos, en el caso del método de la Curva de Permanencia se selecciona el mínimo de los valores medios mensuales de la variable; mientras que en el del Caudal Mínimo de siete días consecutivos se selecciona el mínimo de los valores medios diarios de un evento extremo como es la sequía de siete días.

En cuanto a los valores anuales de derrame ecológico, el método de la Curva de Permanencia representa un derrame anual algo mayor, 68,61hm^3/año, que el criterio adoptado para el balance hídrico realizado en el Plan Hidroambiental de la cuenca hidrográfica del río Capibaribe, 40,34 hm^3/año.

Teniendo en cuenta que el río Capibaribe es un río de régimen pluvial, y que también es receptor de efluentes domésticos e industriales, se aconseja tomar como "hidrograma ecológico" el correspondiente a la columna 2 de la Tabla 4. Esta recomendación se debe a que en los meses de menores caudales ecológicos, correspondientes al verano, las concentraciones de contaminantes pueden aumentar. También debe incluirse un estricto control de la fauna íctica a lo largo de mismo, principalmente aguas arriba y aguas abajo de las presas, y aguas abajo de los puntos de vuelco de efluentes. Los parámetros que deben incluirse en el monitoreo son:

ictiopatologías según análisis macroscópico interno y externo, zooplancton y fitoplancton. La frecuencia del monitoreo debe ser por lo menos estacional, o sea por lo menos una vez por estación del año.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido desarrollado en el marco del Proyecto Nº 034/2012, aprobado por la Resolución Nº 224-SPU del 27/12/11, perteneciente al Programa de Centros Asociados para el Fortalecimiento de Posgrados Brasil-Argentina, que ha sido financiado por la SPU y la CAPES. El proyecto prevé actividades de fortalecimiento entre la Maestría en Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería de la UNCuyo y el Doctorado en Ingeniería Civil del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad Federal de Pernambuco.

Referencias

1. Infante, P., Magistocchi, L., Guisasola, L. y Mármol, C.: "Caudales de reserva ecológicos: aplicación de métodos de cálculo en el río Grande". En: XXIII Congreso Nacional del Agua CONAGUA 2011, pp 320-332. Resistencia, Chaco (2011). ISSN N° 1853-7685.
2. García Rodríguez, E. y Paz Soldán Córdova, G.: "Estimación de las necesidades hídricas para la conservación de la ecología fluvial de los ríos regulados". Informe técnico, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México (2006).
3. Domínguez, G. y Rodrigues Finotti, A.: "Evaluación del instrumento caudal ecológico, panorama legal e institucional en Chile y Brasil". Revista de la Gestión de Agua de América Latina, vol. 2, pp 83-96 (2005).
4. Secretaría de Recursos Hídricos del Gobierno de Pernambuco SRHE: "Plan hidroambiental de la cuenca hidrográfica del río Capibaribe". Informe Técnico. Recife, Pernambuco, Brasil (2010).
5. Lins, M.L.A., Campos, S.S. & Teixeira, S.F.: "La ictiofauna de la cuenca del río Capibaribe, Recife, Pernambuco" (portugués). En: Anales del VIII Congreso de Ecología de Brasil, Caxambu - MG. 2p., Brasil (2007).
6. COMPESA: "Cuenca Hidrográfica del río Capibaribe - Monitoreo de embalses" (portugués). Informe Técnico, Brasil (2009).
7. Agencia Nacional de Aguas de Brasil, ANA, Sistema Nacional de Información sobre Recursos Hídricos, http://hidroweb.ana.gov.br/
8. Silveira, L.A y Silveira, L.G.: "Caudales mínimos" (portugués). En: Paiva, J. B. D. y Paiva, E. M. C. D. Hidrología Aplicada en la gestión de pequeñas cuencas hidrográficas (portugués). Editorial Asociación Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, Brasil (2003).
9. Tennant, D. L.: "Régimen de caudales ecológicos para peces" (inglés). Wildlife, Recreation and Related Environmental Resources, Montana, USA (1976).
10. Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas de Chile: "Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos". Informe Técnico, S.I.T Nº 156. Santiago de Chile (2008).
11. Benetti, A; Lanna, E y Cobalchini, M.: "Metodologías para la determinación de caudales ecológicos en ríos" (portugués). En: Revista Brasilera de Recursos Hídricos. Vol.8, nro. 2, p. 149-160, Brasil (2003).

Caracterización Preliminar de los Aerosoles Derivados de la última Erupción del Complejo Puyehue Cordón Caulle

Mulena Celeste[a,b], Allende David[a,b], Lakkis Gabriela[c,d], Puliafito Enrique[a,b]

[a] Grupo de Estudios de la Atmósfera y el Ambiente
Facultad Regional Mendoza
Universidad Tecnológica Nacional
Rodríguez 273 Ciudad, Mendoza (M5502AJE)
web: http://www.frm.utn.edu.ar/geaa/
celeste.mulena@gmail.com, david.allende@frm.utn.edu.ar,
epuliafito@frm.utn.edu.ar

[b] Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

[c] Facultad de Ciencias Agrarias, Pontificia Universidad Católica Argentina (UCA), Cap. Gral. Ramón Freire 183, (C1426AVC), Buenos Aires, Argentina.

[d] Equipo Interdisciplinario para el Estudio de Procesos Atmosféricos en el Cambio Global (PEPACG), Pontificia Universidad Católica Argentina (UCA), Alicia Moreau de Justo 1300, Buenos Aires, Argentina, gabylakkis@uca.edu.ar

Resumen. En este trabajo se caracterizaron, con modelado y mediciones, las propiedades espaciales, temporales y ópticas de los aerosoles volcánicos derivados de la erupción del Complejo Puyehue - Cordón Caulle ocurrida en junio 2011. Para ello, se utilizó el modelo FALL3D acoplado al modelo meteorológico de mesoescala WRF (Weather Research and Forecasting model). El sistema acoplado se configuró con opciones físicas adaptadas para el caso en estudio. Con el fin de estudiar el evento, las salidas del modelo: Aerosol Optical Depth (AOD) y Concentración Total, se combinaron con mediciones de superficie de LIght Detection And Ranging (LIDAR) y con imágenes del sensor Ozone Mapping Instrument (OMI). Adicionalmente se utilizaron datos de Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS). Las Concentraciones in situ modeladas lograron reproducir la variabilidad espacial y temporal de los aerosoles, la cual fue corroborada por las mediciones del LIDAR. Asimismo, las mediciones satelitales han resultado complementarias a las simulaciones AOD y Concentraciones brindadas por el modelado. La discrepancia entre los valores observados y simulados planteó nuevos interrogantes los cuales serán investigados con posteridad. Aunque el análisis presentado en el trabajo no posee resultados conclusivos proporciona elementos de interés para la comunidad sobre este tipo de eventos excepcionales.

Palabras clave: aerosoles volcánicos, AOD, Concentraciones, FALL3D, LIDAR, OMI, MODIS, Erupción del Complejo Puyehue-Caulle.

1 Introducción

Los aerosoles atmosféricos definidos como partículas suspendidas en estado sólido o gaseoso, pueden diferir en cuanto a sus formas, tamaños y tiempos de residencias en la atmósfera, además, de que pueden ser antropogénicos o naturales según la procedencia de la fuente que le de origen. La carga de aerosol (Aerosol Loading) o la cantidad de aerosol en la atmósfera es usualmente cuantificada por la concentración de la masa o el espesor óptico de aerosoles [1].

La detección de los aerosoles y el monitoreo de ellos estudiados por el espesor óptico en diferentes longitudes de onda (entre 420 nm y 550 nm) se llevan acabo a través de los observaciones satelitales y terrestres. En el caso de las observaciones satelitales el espesor óptico se denomina en inglés Aerosol Optical Depth (AOD) mientras que en el caso de mediciones de superficie se utiliza el término Aerosol Optical Thickness (AOT). El AOD u AOT es una medición de la dispersión y absorción de la luz por las partículas presentes en una columna vertical de la atmósfera, así es una medida cuantitativa del contenido total de aerosoles en la columna atmosférica y, por lo tanto, de la turbiedad atmosférica [1].

Las erupciones volcánicas proveen grandes cantidades en la atmósfera de aerosoles naturales, partículas de ceniza y gases. Estas emisiones, dependiendo de la altura de inyección, pueden permanecer por varias semanas en la tropósfera e incluso durante varios meses en la estratósfera interviniendo de esta manera en el balance radiativo de energía de la Tierra. En los niveles bajos de la atmósfera, las emisiones representan un gran riesgo para la salud y los animales [2]. En el ámbito de la aviación, en muchas ocasiones, aquellas pueden producir cancelación de los vuelos debido a grandes daños en los motores y reducción de la visibilidad [3][4].

La erupción del Complejo Puyehue-Cordón Caulle, uno de los centros activos en la Zona Volcánica de Sudamérica, ocurrió el 4 de junio de 2011. Este evento dispersó grandes cantidades de ceniza en la atmósfera durante este mes. La dirección predominante oeste-este de los vientos en los primeros días hizo que la nube de cenizas alcanzara la estepa patagónica provocando daños en varias ciudades argentinas, entre ellas San Carlos de Bariloche y Villa La Angostura [5].

En este trabajo se realiza un análisis preliminar de las propiedades espaciales, temporales y ópticas de los aerosoles volcánicos derivados de la erupción del Complejo Puyehue - Cordón Caulle desde el 4 al 13 de junio 2011. Con este fin se emplea salidas del modelo Euleriano FALL3D [6] junto con mediciones. FALL3D es acoplado al modelo meteorológico de mesoescala Weather Research and Forecasting (WRF) [7] quién toma sus condiciones iniciales y de borde de los datos de reanálisis del European Centre for Medium Range Forecasts (ECMWF) ERA-Interim [8]. La Concentración Total de la masa y el Espesor Óptico de aerosoles a 500 nm ($AOD_{500\ nm}$) del modelo FALL3D se analizan con mediciones en superficie de LIght Detection And Ranging (LIDAR) [9] y con productos de nivel 3: Aerosol Index (AI), Aerosol Extinction Optical Depth (AOD*), Single Scattering Albedo (SSA) y Aerosol Absorption Optical Depth (AAOD) del sensor Ozone Mapping Instrument (OMI)

[10]. En adición, se examina el exponente de Angstrom ($\alpha'_{470\text{-}660\ nm}$) derivado de Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) [11].
El trabajo está organizado de la siguiente manera: a) en primer lugar se resume el evento eruptivo del Puyehue-Caulle cronológicamente entre el 4 y 13 de junio de 2011; b) luego se presenta una visión general de la aproximación de modelado y configuraciones utilizadas; c) se analizan las salidas del modelo FALL3D conjuntamente con datos de LIDAR, OMI y MODIS. Finalmente, se concluye con una discusión de las implicaciones de los resultados obtenidos.

2 Breve descripción del evento

El complejo volcánico que comprende el Puyehue, Cordón Caulle y Sierra Nevada está situado en el norte de los Andes Patagónicos, en la Zona Volcánica Sur, en el arco volcánico activo desde los 33°S a los 46°S, en el centro sur argentino-chileno. El 4 de junio de 2011, a las 15:15 (hora local) el Observatorio Vulcanológico de los Andes del Sur del Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile (OVDAS-Sernageomin) [9] informó de la explosión y una columna de 5 km de ancho y de una altitud de 10 km sobre el nivel del mar. La mayor parte del evento se centró en los primeros 10 días posteriores al 4 dejunio. Un breve resumen de la columna de erupción y la dirección de los vientos desde el 4 al 13 se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Información detallada de la principal fase eruptiva del Puyehue-Cordón Caulle. Ver reportes de SERNAGEOMIN [12].

Fecha	Dirección de la Pluma	Altura de la Columna eruptiva (km s.n.m)
4 Junio 2011 ~ (19:15 UTC)	Sur – Sureste-Este	10
5 Junio 2011	Sureste – Noreste sobre el Océano Atlántico.	10 a 12
6 Junio 2011	Noreste – Sureste-Este sobre el Océano Atlántico y Argentina.	10
7 Junio 2011	No hay información	7.5
8 Junio 2011	Noreste – Sureste, sobre el Océano Atlántico y Argentina.	7.5
9 Junio 2011	Noreste sobre Argentina	No hay información

10 Junio 2011	No hay información	3.7
11 June 2011	Este – Este-Norte-Este	4.0 a 4.5
12 June 2011	No hay información	8
13 Junio 2011 hasta las 00:00 UTC	Este – Este-Norte-Este	8

3 Métodos y materiales

En este trabajo comparamos diferentes salidas de FALL3D con LIDAR y productos de nivel 3 de OMI y MODIS con el fin de complementar las variables en estudio.

3.1. Aproximación de modelado

FALL3D es un modelo Euleriano dependiente del tiempo, en tres dimensiones, para simular el transporte y deposición de cenizas volcánicas. El modelo resuelve la ecuación de advección-difusión-sedimentación en una grilla estructurada que sigue las elevaciones del terreno utilizando un esquema explícito de diferencias finitas de segundo orden [6][13]. Las entradas del modelo son datos meteorológicos, topografía, distribución del tamaño de grano, forma, densidad y caudal másico de partículas inyectadas en la atmósfera. Un resumen de los detalles de configuración efectuadas en el modelo FALL3D se indican en la Tabla 2.

Tabla 2. Resumen de las opciones de configuración del modelo FALL3D.

Configuración	Opciones
Altura de la ventana volcánica	2.240 m aproximadamente s.n.m
Granulometría	Con distribución bimodal gaussiana con medias de 0.5mm y 700 μm y valores de desviación estándar de 125-500 μm respectivamente para cada modo. 7 clases de tamaños de particulado supuestas.
Tasa de Flujo Másico	Estimada a partir de la altura de la

	columna eruptiva
Modelo de velocidad terminal	Ganser
Modelo de turbulencia vertical	Similarity
Dominio de modelado	Grilla de resolución de 20km x 20km, resolución vertical de 500 m con. Valor máximo de la vertical 15km (línea continua Figura 1)
Datos meteorológicos	WRF

Con el objeto de reconstruir los campos meteorológicos durante la erupción, las simulaciones incluyeron datos meteorológicos generados con el modelo de meosescala WRF [7]. WRF fue configurado con un dominio que comprende el sur de Argentina y Chile, con una resolución de 20 km, centrado en 40° 35' S - 72° 5' O, con un tamaño de 3000 x 3000 km2 (ver contorno en líneas punteadas de la Figura 1). Para la coordenada vertical, se utilizaron 38 niveles sigma hasta 50 hPa. Las condiciones iniciales y de contorno para el modelo se tomaron de datos de reanálisis del ERA-Interim [8] en una resolución de 0,7 grados cada 6 horas. El modelo meteorológico se configuró para correr desde el 3 al 13 de junio de 2011, es decir, se utilizó un spin-up de 24 horas antes de la simulación para ingresar los datos al modelo de dispersión. Se configuraron varias opciones para la simulación meteorológica en el modelo WRF, las cuales se detallan en la Tabla 3. La validación de WRF se ha realizado previamente en las localidades ubicadas en la figura 1. Los resultados pueden encontrarse en el trabajo de Mulena et al [14].

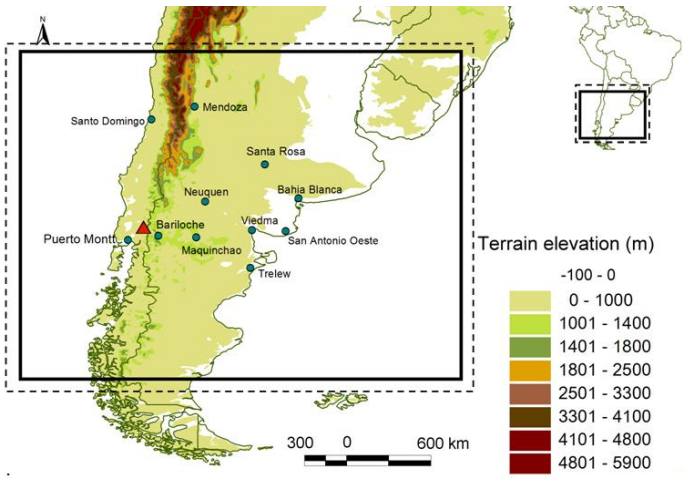


Fig. 1. En línea punteada y continua dominio de modelado de WRF y FALL3D respectivamente.

Tabla 3. Opciones de configuración seleccionadas para la simulación con WRF [7].

Proceso atmosférico	**Configuración del modelo WRF**
Esquemas de Física	
Radiación de onda larga	Esquema RRTM (Rapid Radiative Transfer Model)
Radiación de onda corta	Esquema de Dudhia
Microfísica de nubes	Esquema WSM5 (Single-Moment 5-class)
Capa superficial	Esquema de difusión Térmica
Capa límite planetaria	Esquema YSU
Cúmulos	Esquema de Kain-Fritsch
WRF Preprocessing System (WPS)	
Descripción de la elevación del terreno	Radar Topography Mission (SRTM3)
Cobertura y Uso de suelo	Propia de GEAA

3.2. Light Detection And Ranging del Centro de Investigaciones en Láseres y Aplicaciones- Buenos Aires.

En la División LIDAR del CEILAP-BA (Centro de Investigaciones en Láseres y Aplicaciones – sede Villa Martelli, provincia de Buenos Aires, 34,5º S; 58,5º O) se encuentra instalado un sistema LIDAR coaxial multilongitud de onda [15] capaz de medir desde los 80 m a los 13 km la evolución de la capa límite, capas de aerosoles, nubes y vapor de agua con una resolución espacial de 7,5 m y temporal de 10 s. En este trabajo se compara la variación espacial y temporal de la señal de derivada de LIDAR con la Concentración Total (C) del modelo de dispersión FALL3D para los días 7 y 8 de Junio de 2011.

3.3. Caracterización satelital de aerosoles

Una caracterización basada en la medición de aerosoles a escala global puede ser solamente realizada a través del sensado remoto debido a las largas heterogeneidades espaciales y temporales de la distribución de los aerosoles. El monitoreo de aerosoles desde el espacio ha sido realizado por más de dos décadas [16]. En este trabajo analizamos los datos *AI', AOD*', SSA' y AAOD'* del sensor OMI y la Concentración Total (C_h') y AOD'$_{500nm}$ del modelo FALL3D. Conjuntamente, se suma al análisis el

$\alpha'_{470\text{-}660\ nm}$ derivado de MODIS. Las longitudes de onda empleadas son 330 nm, 339 nm, 470 nm, 500 nm y 660 nm. Todas las variables han sido promediadas en el periodo de estudio, denotado con (’). En el caso de la Concentración, ella también se ha promediado en la altura, denotada con (h).

3.3.1. Ozone Mapping Instrument

Association of Universities for Research in Astronomy (AURA) es una misión lanzada en 2004 con el objetivo de estudiar el ozono atmosférico, la calidad del aire y el clima. Para ello, los sensores instalados en Aura miden la composición química de la atmósfera, y realizan seguimientos de su dinámica. Aura recorre una órbita de 705 km de altura, con un periodo de 98.5 minutos, y una inclinación respecto al Ecuador de 98.2º, cruzándolo a las 1:45 PM. Su ciclo de repetición sobre un mismo punto es de 16 días. Abordo de AURA operan los instrumentos High Resolution Dynamics Limb Sounder (HIRLDS), Microwave Limb Sounder (MLS) y OMI (en español Instrumento de monitoreo de ozono). OMI supone la continuidad en la toma de datos de TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer), instrumento que ha aportado datos durante 30 años desde 1978. En este apartado se describirá el instrumento OMI. El TOMS no sigue operativo.
El OMI17, como continuación de TOMS18, genera imágenes multiespectrales en el espectro visible y ultravioleta. Las medidas se realizan en 740 bandas con longitudes de onda comprendidas entre 350 nm y 500 nm, y entre 270 nm y 380 nm. La resolución espectral va desde 1 a 0.45 nm, dependiendo de la longitud de onda. OMI escanea a lo largo de la órbita con un barrido frontal, proporcionando una cobertura global cada 14 órbitas recorridas (1día). La radiación se capta con un telescopio que alimenta a dos espectrómetros generadores de imágenes raster. Las imágenes tienen una resolución espacial nominal de 13x24 km, y pueden ampliarse hasta 13x13 km para detectar y realizar seguimientos de fuentes de contaminación a escala urbana. También se pueden crear mapas de perfiles de ozono con una resolución espacial de 36x48 km. Cada espectrómetro emplea un detector Charge Coupled Device (CCD) con 780x576 píxeles. OMI suministra información relativa al ozono en la columna atmosférica y también mide compuestos claves en la calidad del aire como el dióxido de nitrógeno (NO_2), dióxido de azufre (SO_2), óxido de bromo (BrO) y dióxido de cloro (OClO). Además, determina características de los aerosoles, la radiación ultravioleta y es capaz de distinguir entre diferentes tipos de aerosoles como humo, polvo o sulfato.
Los productos de aerosol de OMI, OMAERUV y OMTO3d, de nivel 3 posee un grillado de 1°x1° con resolución de píxeles 13 x 24 km en el nadir. El primero contiene datos de AOD*, AAOD, SSA en tres longitudes de onda (355 nm, 388 nm y 500 nm) y el segundo AI de aerosoles en el UltraVioleta (UV) Cercano. Ambos se producen a partir de los pixeles del producto de Nivel 2 de datos de aerosol OMAERUV y OMTO3 respectivamente que se basan en la versión mejorada del algoritmo 8 de TOMS que esencialmente utiliza los datos de radiación del ultravioleta. Por más información consultar la página web de la NASA Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center [10].

El AOD^*_{500nm} es una medida de la extinción de la radiación debido a la dispersion y absorción de los aerosoles. La atenuación de la luz es la suma de la dispersion y la absorción. Está relacionado con la columna total de partículas de aerosol en la atmósfera. La medida, sin unidades, varia entre 0 a 1, donde 1 indica mucha cantidad/número de particulas aerosoles, y 0 ausencia total de ellos. La dispersión está correlacionado con el tamaño de las partículas (~SSA) y la absorción con la composición de los aerosoles (~AAOD).
El $AAOD_{500nm}$ es una medida de la concentración de partículas de aerosol de absorción del UV cercano. Los valores cercanos a 1 indican altas concentraciones mientras que 0 indica lo opuesto. Las estimaciones cuantitativas de AAOD' se pueden hacer sólo en escenas relativamente libres de nubes. Es calculado como: $AAOD_{500nm} = AOD_{500nm} * x (1.0 – SSA_{500nm})$.
El SSA'_{500nm} es una medida cualitativa de la dispersión relativa de la extinción de la luz al encontrarse ésta con los aerosoles atmosféricos (polvo o minerales). Los valores varían entre 0 (absorción completa de la luz) y 1 (dispersión completa de la luz). Típicamente varía entre 0.6 y 1.
El *AI* en el UV cercano es la medida de la concentración de partículas de aerosol de absorción en UV cercano, como el humo y el polvo mineral: humo, polvo de desierto, ceniza volcánica, etc. No es un indicador de los aerosoles de sulfato. Este es calculado usando observaciones de dos longitudes de onda en el rango 330-339 nm. Los valores mayores de 2 medias indican una mejora en la capa de absorción de aerosoles. Es una herramienta para seguir la trayectoria de transporte de gran alcance de ceniza volcanica, humo y polvo sobre nubes y nieve/hielo.
Para el análisis con datos de AOD'_{500nm} y C_h'de FALL3D utilizaremos la variable $AOD^{*'}_{500nm}$, SSA'_{500nm}, $AAOD'_{500nm}$ y AI'.

3.3.2. Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

MODIS es un instrumento científico lanzado en órbita terrestre por la NASA en 1999 a bordo del satélite Terra (EOS AM) y en 2002 a bordo del satélite Aqua [11]. El producto de nivel 3 (MOD08) de resolución espacial de 1° x 1° grado es utilizado en este trabajo. De él se ha extraído el exponente de Angstrom promedio para el periodo de estudio $\alpha'_{470\text{-}660\ nm}$. Este es calculado usando observaciones de dos longitudes de onda en el rango 470-660 nm. El α es un buen indicador para el tamaño de aerosol. Alto valor de α indica el predominio de partículas finas, mientras que su valor bajo indica predominio de partículas gruesas.

4 Resultados

4.1. Comparación de LIDAR del CEILAP-BA y FALL3D

En las figuras 2 y 3 se muestra la evolución temporal y espacial de la variable de concentración simulada C por FALL3D, y la señal de retrodifusión de aerosoles en

1064 nm, medido con el sistema LIDAR para algunos días característicos del periodo de estudio constituido entre el 4 al 13 de junio de 2011.
Las salidas del FALL3D en el mismo periodo, muestran la evolución de los aerosoles volcánicos hasta los ~8 km para el día 7 de junio de 2011 (Figura 2-a) y hasta los ~5km (Figura 3-a). En este mismo sentido, las imágenes sistema LIDAR muestran el progreso de la capa límite desde las 10 de la mañana del día 7 de junio hasta la medianoche del 8 de junio (Figuras 2-b y 3-b). En las imágenes se pueden distinguir claramente la evolución de la capa límite atmosférica y su estructura e importantes capas de aerosoles hasta los 6 km, entre los 8 a 12 km se observa la presencia de nubes. Debemos señalar que las imágenes del LIDAR y sus descripciones fueron extraídas del trabajo "Volcán Puyehue – Cordón Caulle: medición de las cenizas en Buenos Aires, Argentina, durante junio 2011" [17].

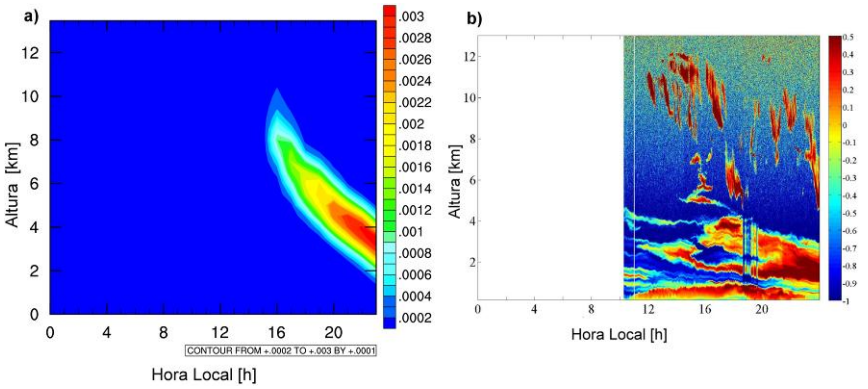


Fig. 2. a) Evolución de la Concentración Total simulada C por FALL3D [µg m^{-3}] para el 7 de junio de 2011. b) Evolución de la capa límite atmosférica y de las capas de aerosoles para el mismo día, medido con el sistema LIDAR en 1064 nm (escala de colores en unidades arbitrarias: intensidad de la señal).

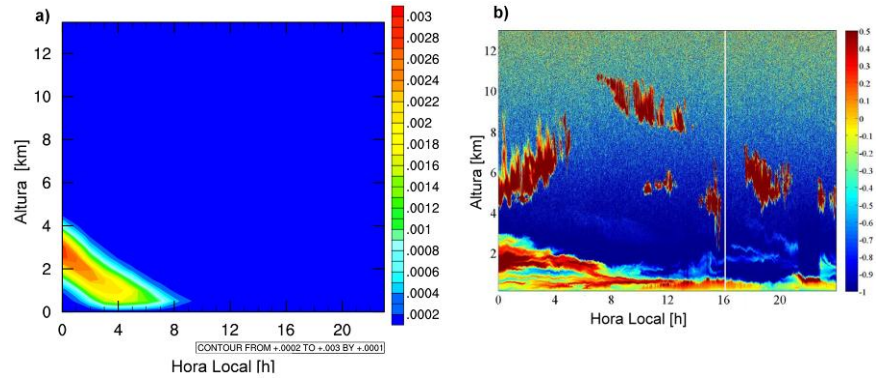


Fig. 3. a) Evolución de la Concentración Total simulada C por FALL3D [µg m^{-3}] para el de junio de 2011, b) Evolución de la capa límite atmosférica y de las capas de aerosoles para el mismo día, medido con el sistema LIDAR en 1064 nm (escala de colores en unidades arbitrarias: intensidad de la señal).

4.2. Análisis de OMI /MODIS y FALL3D.

La figura 4 expone las salidas de FALL3D mientras que la figura 5 muestra los productos del sensor OMI. Todas las variables han sido promediadas en el periodo comprendido entre el 4 al 13 de Junio.

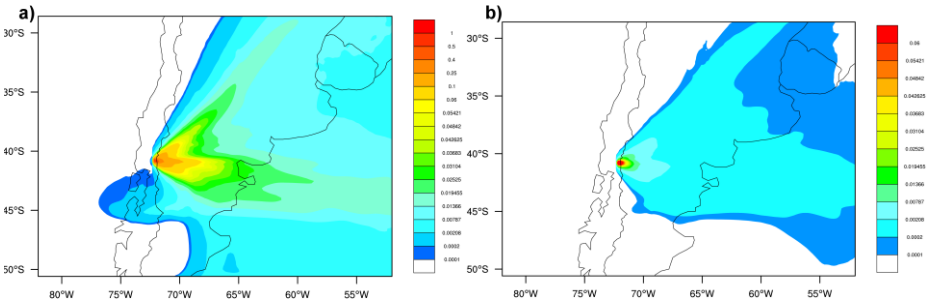


Fig. 4. a) Promedio temporal del Espesor óptico de la columna total de aerosoles AOD' [adimensional] simulado por el modelo FALL3D, b) Promedio temporal y en altitud (hasta 15 km) de la Concentración de aerosoles C_h'[µg m-3] simulado por el modelo FALL3D.

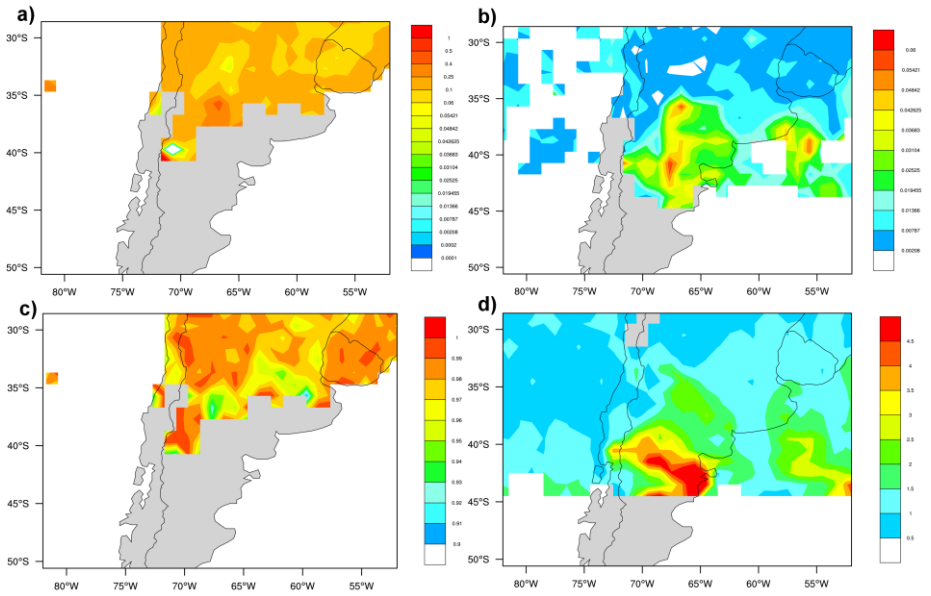


Fig. 5.a) Promedio temporal del Espesor óptico de extinción de aerosoles AOD*'$_{500nm}$ [adimensional], b) Promedio temporal del Espesor óptico de absorción de aerosoles AAOD'$_{500nm}$ [adimensional], c) Promedio temporal del Single Scattering Albedo SSA'$_{500nm}$ [adimensional], e) Promedio temporal del Aerosol Index AI' [adimensional] derivados de OMI.

El AOD'$_{500\ nm}$ y AOD*'$_{500\ nm}$ indican que la columna total de aerosoles se extiende en toda la latitud estudiada. El mayor valor de AOD'$_{500\ nm}$ (rojo) se ubica cerca del lugar de la erupción , disminuyendo lejos de él. Los AOD'$_{500\ nm}$ en contraposición con

AOD*'$_{500\ nm}$ son muy bajos (muy inferiores a 0.06). Nótese que el AOD'$_{500\ nm}$ podría calcularse como AOD$_{500\ nm}$ (aerosoles) ~AOD*$_{500\ nm}$ (total) –AOD$_{500\ nm}$ (residual: O_3, CH_4, Rayleigh, Agua precitable, etc).
El AAOD'$_{500\ nm}$ medido muestra que la mayor concentración de aerosoles se encuentra en la zona cercana a la fuente de emisión y disminuyendo hacia el Este en concordancia con lo evidenciado por C_h'. Obsérvese que las altas concentraciones parciales lejos de la fuente no pueden ser observadas por la variable simulada.
Los valores de SSA'$_{500\ nm}$ son cercanos a 1 indicando que hay una alta dispersión.
El AI' indica la presencia de aerosoles volcánicos que han absorbido radiación UV cercana. El promedio temporal muestra la preponderancia de aerosoles emitidos (ceniza) desde los días 4 a 6 de junio de 2011 (no mostrado aquí ver [14]).

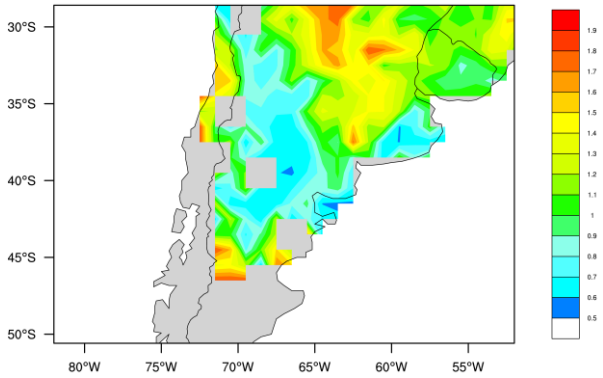


Fig. 6. Angstrom exponent Land $\alpha_{\ 470\text{-}660\ nm}$ derivado de MODIS.

El $\alpha_{\ 470\text{-}660\ nm}$ indica el predominio de partículas finas lejos de la fuente de emisión, entre tanto, las partículas gruesas están cerca de ella.

5 Conclusiones

En este trabajo se caracterizó las propiedades temporales, espaciales y ópticas de los aerosoles volcánicos derivados de la erupción del Complejo Puyehue - Cordón Caulle desde el 4 al 13 de junio 2011. Con este fin se simuló el evento con el modelo de dispersión FALL3D acoplado al modelo meteorológico WRF, cuyas salidas Concentración Total C y C_h' y AOD'$_{500\ nm}$ fueron analizadas en conjunto con mediciones LIDAR y con los producto satelitales de OMI/AURA de nivel 3. Adicionalmente, el producto de nivel 3 de MODIS (MOD08) fue empleado.
Los resultados muestran que las propiedades de los aerosoles necesitan ser evaluados mediante el modelado y mediciones, es decir, ambos actúan complemente para brindar información.
En primer lugar, la variable Concentración Total C fue comparada con la evolución de la pluma volcánica detectada por el sistema LIDAR en 1064 nm para los días 7 y 8 de junio de 2011. En ambos días la distribución vertical de aerosoles medida fue bastante bien representada por la simulación.

Por otro lado, la utilización del sensado remoto permitió explorar parcialmente las propiedades ópticas de los aerosoles derivados de la erupción del complejo volcánico, las cuales no pueden ser observadas a simple vista por las salidas del modelo FALL3D. Sin embargo, estas últimas dan información espacial y temporal no provista por las mediciones satelitales las cuales tienen baja concurrencia (overpass) en la zona de estudio. Como detalle destacable no menor, se han observado discrepancias en los valores AOD'_{500nm} y $AOD^{*'}_{500nm}$, esto podría deberse a que la altura tope utilizada para calcular el AOD en el caso simulado es de 15 km, mientras que para el satélite es 750 km. En el mismo sentido, la C_h' no ha podido representar bien las altas concentraciones lejos de la fuente, pero en líneas generales si la extensión del fenómeno.
A partir de este estudio se plantean nuevos interrogantes: el modelo FALL3D está dispersando bien?, podría realizarse modelación inversa utilizando un modelo de transferencia radiativa?
Aunque el análisis presentado en el trabajo no posee resultados conclusivos proporciona elementos de interés para la comunidad sobre el detalle descriptivo de este tipo de evento excepcionale.
Los interrogantes detallados precedentemente dejan la puerta abierta para futuros estudios. Además, queda en evidencia la necesidad de mejorar los datos vulcanológicos ingresados en el modelo FALL3D.

Referencias

[1] Chin M., Atmospheric Aerosol Properties and Climate Impacts. (2009).

[2] Crutzen P., "Albedo enhancement by stratospheric sulfur injections: a contribution to resolve a policy dilemma?", Climatic Change, vol. 77, no. 3–4, pp. 221–220, (2006).

[3] Horwell P. and Baxter C., "The respiratory health hazards of volcanic ash: a review for volcanic risk mitigation", Bulletin of Volcanology, vol. 69, no. 1, pp. 1–24, 2006.

[4] Swanson B. S. E. and Beget J. E., "Melting properties of volcanic ash", in US Geological Survey Bulletin 2047, (1992).

[5] Bulletin of the Global Volcanism, "No Title", (2012). [Online]. Available: http://www.volcano.si.edu/world/volcano.cfm?vnum=1507-%0A15=&volpage=var. Accessed May 2013.

[6] Costa A., Macedonio G., and Folch A., "A three-dimensional Eulerian model for transport and deposition of volcanic ashes", Earth and Planetary Science Letters, vol. 241, no. 3–4, pp. 634–647, Jan. (2006).

[7] Skamarock W. C., Klemp J. B., Gill D. O., Barker D. M., Wang W., and Powers J. G., "A Description of the Advanced Research WRF Version 3", Mesoscale and Microscale Meteorology Division, National Center for Atmospheric Research, (2008).

[8] Dee D. P., Uppala S. M., Simmons A. J., Berrisford P., Poli P., Kobayashi S., Andrae U., Balmaseda M. A., Balsamo G., Bauer P., Bechtold P., Beljaars A. C. M., van de Berg L., Bidlot J., Bormann N., Delsol C., Dragani R., Fuentes M., Geer A. J., Haimberger L., Healy S. B., Hersbach H., Hólm E. V, Isaksen L., Kållberg P., Köhler M., Matricardi M., McNally A. P., Monge-Sanz B. M., Morcrette J.-J., Park B.-K., Peubey C., De Rosnay P., Tavolato C., Thépaut J.-N., and Vitart F., "The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system", Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, vol. 137, no. 656, pp. 553–597, (2011).

[9] LIDAR/CEILAP, "No Title", (no date). [Online]. Available: http://www.division-lidar.com.ar/. Accessed May 2013.

[10] NASA Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center, "No Title", (no date). [Online]. Available: http:/Aura/OMI/omaeruvd_v003.shtml. Accessed May 2013.

[11] Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, (no date). [Online]. Available: http://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataprod/dataproducts.php?MOD_NUMBER=08. Accessed May 2013.

[12] Southern Andes Volcanological Observatory-National Geology and M. S. (SERNAGEOMIN), "No Title", (2011). [Online]. Available: http://www.sernageomin.cl/volcan-observatorio.php. Accessed June 2011.

[13] Folch A., Costa A., and Macedonio G., "FALL3D: A computational model for transport and deposition of volcanic ash", Computers & Geosciences, vol. 35, no. 6, pp. 1334–1342, Jun. (2009).

[14] Mulena C., Allende D., Puliafito E. and Lakkis G., "Estudio de la dispersión de cenizas volcánicas del puyehue: simulaciones y validación", Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente, vol. 16, pp. 7–14, (2012).

[15] Otero L., Ristori P., Pawelko E. and Pallotta J., "Six-Year Evolution of Multiwavelength Lidar System at CEILAP," Optica Pura y Aplicada, vol. 44, pp. 13–18, (2011).

[16] Mishchenko M. et al., "Accurate monitoring of terrestrial aerosols and total solar irradiance", Bulletin of the American Meteorological Society, vol. 88, pp. 677–691, (2007).

[17] Otero L., Ristori P., Pawelko E., Pallotta J., D'Elia R., and Quel E. "Volcán Puyehue – Cordón Caulle: medición de las cenizas en Buenos Aires, Argentina, durante junio 2011", Journal of Geology, vol. 2, no. 2, (2012).

Indicadores Ambientales y Barreras Comerciales - el Caso de la Huella de Carbono

Roxana Piastrellini[a,b], Silvia Curadelli[a], Alejandro Pablo Arena[a,b], Bárbara Civit[a,b]

[a] Grupo CLIOPE, Universidad Tecnológica Nacional-Facultad Regional Mendoza, Cnel. Rodríguez 273, 5500 Mendoza, Argentina
roxana.ppp@gmail.com, silvia.curadelli@gmail.com, aparena@gmail.com, barbara.civit@gmail.com

[b] Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas-CCT Mendoza, Av. Ruiz Leal s/n, 5500 Mendoza, Argentina

Resumen. Los indicadores ambientales surgieron en el ámbito académico debido a una preocupación respecto a la degradación de la calidad ambiental y al agotamiento de los recursos naturales. En la actualidad se están insertando con gran velocidad en los procesos de toma de decisiones. Tal es el caso de la huella de carbono, que se ha trasladado a los mercados a través de estándares voluntarios de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, con una creciente tendencia hacia la obligatoriedad, por lo que podría transformarse en una barrera para-arancelaria a las exportaciones de determinados productos. El objetivo del presente estudio es analizar las posibles implicancias de la huella de carbono en el comercio internacional de productos. Para ello, el documento se organiza en cuatro secciones: 1) características generales de la huella de carbono como un indicador ambiental, 2) análisis de los marcos metodológicos y los estándares públicos y privados vigentes a nivel internacional para la huella de carbono de productos, 3) posición de la Argentina frente a las exigencias que imponen los países importadores, y 4) el caso del biodiesel de soja argentino.

Palabras Clave: huella de carbono, indicadores ambientales, barreras comerciales, biodiesel de soja argentino.

1 Introducción

Un indicador ambiental es un valor representativo de un fenómeno observado [1], que surge con el fin de reflejar de forma sintética una preocupación social con respecto al medio ambiente y de posibilitar su inserción en el proceso de toma de decisiones. En los últimos años, el calentamiento global y las emisiones de gases de efecto invernadero se han convertido en los puntos clave de los debates sociales y políticos. Aunque varios indicadores ambientales han surgido al respecto, la huella de carbono (HC) es el más popular y ampliamente utilizado para crear conciencia sobre este impacto [2].

Más allá de una mera cuestión ambiental, indicadores como la HC actualmente se utilizan para la diferenciación de productos y para incorporar exigencias al mercado internacional de diversos bienes y servicios, especialmente agroalimentos y biocombustibles.

Las grandes cadenas de supermercados de Europa, Estados Unidos y Gran Bretaña están siendo muy exigentes con sus proveedores, privilegiando productos bajos en carbono. Aunque EEUU no ratificó el protocolo de Kioto, firmas como Wal-Mart, Cosco y K-Mart suscribieron el Carbon Disclosure Project, donde se comprometen a reducir la HC en sus empresas y en los productos que adquieren.

Asimismo, la HC se ha convertido en una referencia para los consumidores y usuarios al momento de elegir bienes y servicios, por lo que constituye un importante elemento diferenciador de productos. En la Unión Europea el 84% de los consumidores considera el impacto ambiental de los productos como el tercer criterio a nivel de importancia en sus decisiones de compra, detrás de la calidad y el precio; el 47% de los ciudadanos sostiene que el etiquetado ecológico juega un papel importante en sus decisiones de compra; y el 72% cree que la etiqueta de HC de productos debe ser obligatoria en el futuro [3].

El número de nuevos productos lanzados al mercado con etiqueta de HC a nivel mundial ha incrementado notablemente en los últimos dos años [4]: en 2010 se registró un total de 28 productos, mientras que en 2012 se registraron 102 productos. En cuanto a países líderes en este aspecto, Estados Unidos ocupa el primer lugar seguido por Reino Unido, Francia y Sudáfrica; y los principales productos son el vino, los jugos de frutas, las sopas elaboradas y el agua, seguidos por alimentos elaborados en base a frutas frescas, postres, yogures, comidas preparadas, snacks, cereales y café.

De la misma forma, existe un gran desarrollo de estándares para HC impulsados por países importadores, que comienzan a utilizarse más allá del ejercicio voluntario de las empresas. Tal es el caso de Francia que, a través de la Ley Grenelle 2 (Ley Nº 788 de 2010) obliga a todos los exportadores a comunicar de manera explícita en los envases de los productos la trazabilidad de carbono, es decir la cantidad de gases de efecto invernadero (GEI) emitida a lo largo de todo su ciclo de vida, incluyendo las emisiones directas e indirectas relacionadas con la adquisición de materias prima, el proceso de fabricación, la distribución, el consumo y la disposición final o reciclo. Otro ejemplo es el caso de Estados Unidos que incorporaría castigos a los diferentes productos según su grado de emisión de GEI a través de impuestos a la importación.

Estas medidas que imponen el cálculo de la HC constituyen barreras de ingreso de determinados productos a los países desarrollados con el fin de proteger sus industrias, afectando a los países exportadores. De allí surge la importancia de contar con información actualizada y orientativa sobre los estándares internacionales existentes para la HC de productos y la situación de la Argentina frente a este nuevo escenario. El objetivo del presente estudio es analizar las posibles implicancias de la huella de carbono en el comercio internacional de productos. Para ello, el documento se organiza en cuatro secciones: en la primera de ellas se presentan las características generales de la huella de carbono como un indicador ambiental, en la segunda sección se realiza un análisis de los marcos metodológicos y los estándares públicos y privados vigentes a nivel internacional para la huella de carbono de productos, en una tercera sección se discute la posición de la Argentina frente a las exigencias que imponen los países importadores, y finalmente en la cuarta sección se expone el caso del biodiesel de soja argentino.

2 La Huella de carbono como indicador ambiental

Los indicadores ambientales pueden utilizarse para representar y comunicar fenómenos complejos de una manera simplificada, incorporando los patrones de tendencia durante un determinado período de tiempo [5], [6]. Según [7] los indicadores ambientales se pueden clasificar en cuatro categorías (Fig. 1): i) Indicadores de flujos de materia y energía; ii) Indicadores con dimensión territorial; iii) Indicadores de Análisis de Ciclo de Vida [1](ACV); y iv) Indicadores de evaluación de riesgo ambiental. Los indicadores de ACV consideran el consumo de materiales y energía, y la generación de emisiones y residuos a lo largo de todo el ciclo de vida de un producto o actividad. Estos se utilizan en la etapa de Evaluación de Impactos de un ACV para representar cuantitativamente distintas categorías de impacto tales como el Calentamiento global, el Uso del suelo, el Agotamiento del ozono estratosférico, la Acidificación, la Eutrofización, la Ecotoxicidad, entre otras (Fig. 2).

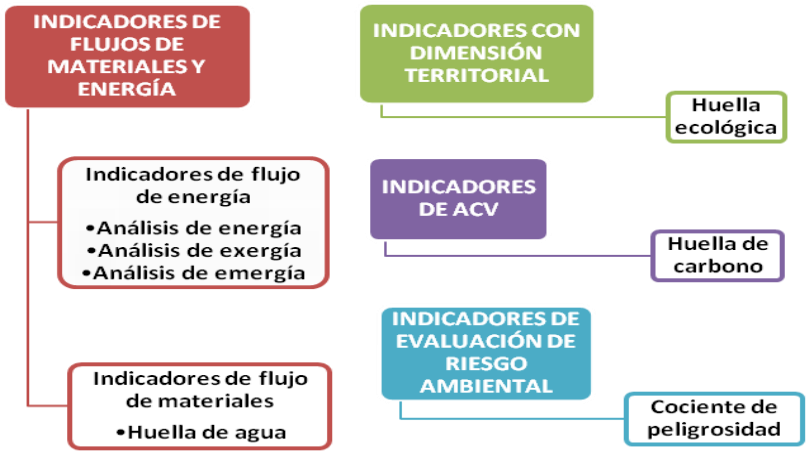


Fig. 1. Clasificación de indicadores ambientales. Fuente: Elaboración propia en base a las categorías presentadas por Herva *et al* (2011).

En los últimos años, la HC se ha convertido en uno de los indicadores de ACV más significativos [8] debido a que se utiliza como equivalente a la cantidad de GEI que contribuyen al calentamiento global. En [9] se define a la HC como una medida de las emisiones directas (in-situ o internas) e indirectas (ex-situ o externas) de CO_2 causadas por una actividad o un producto durante su ciclo de vida; coincidiendo con otros autores que sostienen que una *'huella'* debe comprender todos los efectos que deja a su paso una actividad, abarcando su ciclo de vida completo. En [10] se presenta una revisión de las diferentes definiciones existentes para la HC en base al cambio climático y calentamiento global, a las emisiones de GEI y al área de suelo requerida

[1] Según la norma ISO 14040 (2006), el ACV es una técnica que permite determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados con un producto, proceso o actividad. Consta de cuatro fases: i) Definición de los objetivos y alcance; ii) Análisis del inventario; iii) Evaluación del impacto; iv) Interpretación de resultados.

para el secuestro de CO_2. La perspectiva de ACV se ha abordado metodológicamente desde dos enfoques: *top-down* y *bottom-up*. El enfoque *top-down* parte desde una visión global de una organización para obtener magnitudes específicas de HC [11], mientras que el enfoque *bottom-up* realiza un análisis específico de la magnitud de las unidades constituyentes de una organización, evento o proceso para obtener una magnitud global de HC de un producto o servicio [12].

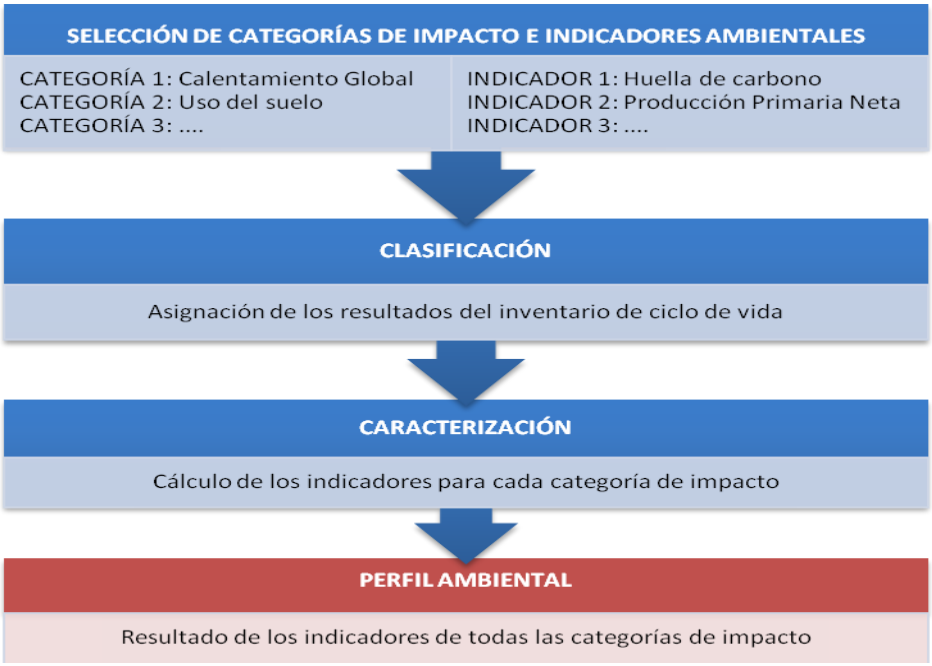


Fig. 2. Etapa de Evaluación de impactos de un ACV según las especificaciones de la norma ISO 14040 (2006). En la Figura sólo se muestran los elementos obligatorios.

La HC, al igual que otros indicadores que se utilizan para evaluar el cambio climático, se calcula mediante la ecuación:

$$CCI = \sum_{i} GWPi \; x \; mi \qquad \textbf{(1)}$$

Donde *CCI* es el Indicador de cambio climático, *mi* es la masa de la sustancia *i*, y *GWP* es el Potencial de calentamiento global. El GWP es un factor de caracterización que permite comparar las emisiones de diferentes GEIs con respecto a un gas de referencia, por lo general, el CO_2. Es publicado periódicamente por el Intergovernamental Panel on Climate Change (IPCC) para períodos de 20, 100 y 500 años. Usualmente se considera un período de 100 años.

Se destaca que se pueden obtener resultados muy disimiles de HC para un mismo producto o actividad en función de los criterios adoptados para su cuantificación. A continuación se enumeran los interrogantes más relevantes que se han instalado en el

ámbito científico con respecto al cálculo de la HC [13], algunos de los cuales aún están sin resolver:

- ¿Qué gases de efecto invernadero se deben considerar: los que especifica el IPCC (2007) o el protocolo de Kyoto?
- ¿Cómo especificar los criterios de corte: según el umbral de masas o el umbral de GEI?
- ¿Qué fuentes de datos son más adecuadas: las primarias o las secundarias? ¿Se pueden utilizar en forma combinada? ¿Es factible determinar la calidad de los datos?
- ¿Qué transportes se deben tener en cuenta? ¿El traslado de los empleados es relevante?
- ¿Cómo se consideran los bienes de capital?
- ¿Cómo se debe considerar el cambio directo del uso del suelo? ¿Los cambios indirectos del uso del suelo se incluyen en el estudio?
- ¿Se debe incluir el almacenamiento y la captura de carbono?
- ¿Cuál es el método de asignación de cargas ambientales más adecuado? ¿Existen avances o mayores especificaciones en comparación con los procedimientos recomendados por la norma ISO 14040? ¿Cómo se puede identificar un sistema calificado de productos evitados?
- ¿Se deben considerar mecanismos de compensación? ¿El uso de energías renovables es un tipo de compensación?
- ¿Cómo se debe incluir la fase de uso de un producto?
- ¿Cómo se deben definir los escenarios de fin de vida?

Por su parte, [14] plantea que uno de los interrogantes más difíciles de dilucidar es cómo estimar la HC de las empresas (contratistas y pools de siembra) que alquilan tierras con fines productivos luego de que han sido deforestadas, y afirma que es muy probable que el mercado internacional asigne esas pérdidas de carbono de la biomasa y del suelo a la HC de los productos que se exportan desde los países en desarrollo.

3 Estándares públicos y privados existentes a nivel internacional para la huella de carbono de productos

Los estándares son documentos que contienen especificaciones técnicas utilizadas como directrices y que constituyen los requerimientos a satisfacer [15]. El impulso de estándares de HCP (huella de carbono de productos) por los organismos gubernamentales y las organizaciones internacionales se ha basado en el desarrollo de normas privadas y ha tenido un gran auge desde el año 2009.

A continuación se realiza un análisis de los estándares de HCP más relevantes a nivel internacional.

3.1 PAS 2050

El PAS 2050 (Publicly Available Standard) es el primer estándar sobre HCP que surge con la ambición de cubrir una amplia gama de productos. Fue publicado en octubre de 2008 por el British Standards Institute (BSI) y es la metodología disponible más detallada y amplia hasta la fecha. El PAS 2050 consta de dos guías: una para apoyar el cálculo de HCP específicos [16], [17], y otra para apoyar una 'robusta comunicación' de la HCP (evaluada de conformidad con el PAS) y la reducción de este indicador ambiental para las organizaciones que así lo deseen [16], Esta norma especifica los requisitos para la evaluación de las emisiones GEI asociadas con los bienes y servicios, basados en técnicas y principios del ACV. Se detallan las exigencias para la identificación de los límites del sistema, las fuentes de emisiones GEI que caen dentro de los límites del sistema, los datos necesarios para llevar a cabo el análisis, y el cálculo de los resultados. Incluye los seis GEI señalados en el marco del protocolo de Kyoto y abarca la fase de uso y las emisiones debidas a los cambios directos de uso del suelo que se han producido desde 1990. Las emisiones GEI excluidas de la evaluación son las relacionadas con la producción de bienes de capital, tales como maquinaria, equipos y edificios, el transporte de los empleados a su lugar de trabajo, y los insumos energéticos humanos y animales que proporcionan servicios de transporte. Las dos últimas excepciones en la contabilidad de emisiones GEI imparten un sesgo contra los productos de los países en desarrollo, donde la producción es relativamente intensiva en mano de obra y los empleados son más propensos a utilizar los medios públicos y no motorizados de transporte para acudir al sitio de trabajo. Esto da lugar a una ventaja competitiva en la HCP de los países industrializados.

Todas las emisiones derivadas del transporte del producto y del ciclo de vida de sus materias primas se incluyen en la evaluación. Las dos excepciones son [18]: i) El transporte aéreo, debido a la incertidumbre de su impacto sobre el calentamiento global; y ii) Las emisiones resultantes de la producción de los medios de transporte. De lo anterior se desprende que la metodología PAS 2050 no posee sesgos en contra de los productos que son objeto de comercio a largas distancias, ni perjudica a los productores locales. Por otro lado, se destaca que la norma podría contener sesgos contra algunos productores, debido a que no requiere el uso de bases de datos específicas, a excepción de un conjunto de reglas de calidad de datos. En general, experiencias de aplicación de la PAS 2050 ponen de manifiesto ciertas cuestiones metodológicas que dejan margen para la interpretación y dificultan la comparación de HCP [18]. Estos problemas están relacionados con la necesidad de equilibrar la rigidez metodológica con la viabilidad económica, así como con las limitaciones de datos de ACV armonizados.

3.2 ISO 14067

A finales de 2008, la International Organization for Standardization (ISO) inició un proyecto de normalización de la HCP a través de la norma ISO 14067. Dicha norma estaría destinada a servir como un estándar acordado internacionalmente con la cual las organizaciones podrían basar la medición, notificación y verificación de las

emisiones GEI de los productos. La norma ISO/TS 14067:2013[2] fue lanzada el 23 de julio de 2013 y consta de dos partes: la ISO 16047-1 (cuantificación de la HC, monitoreo del producto y seguimiento en la mitigación de GEI); y la ISO 16047-2 (armonización de los métodos de comunicación de la información de la HC). El estándar se basa en la serie de normas para sistemas de gestión ambiental ISO 14000, especialmente en la 14040 y 14044, así como en la metodología para las declaraciones ambientales, ISO 14025. Esta última se refiere a las etiquetas y declaraciones ambientales (Declaraciones ambientales Tipo III) y recomienda el enfoque de unidad funcional en la comunicación de resultados del ACV, a diferencia de los informes de masa o volumen, que se consideran insuficientes para permitir una comparación.

La ISO 14067 aborda la comunicación de HCP de empresa a empresa (business to business), así como del negocio al consumidor (business to consumer), incluyendo una orientación sobre el etiquetado. Para la cuantificación se toman en cuenta temas tales como el sistema de suministro de electricidad, el cambio de uso de la tierra, y el cambio del carbono del suelo (el almacenamiento de carbono, la captura de carbono, y el secuestro de carbono). Además incluye la cuestión de las normas de categoría de productos (Product Catgory Rules-PCR). Las PCR son un conjunto de normas específicas, requisitos y directrices para el desarrollo de las Declaraciones ambientales Tipo III. Como se mencionó en el párrafo anterior, éstas se tratan en la norma ISO 14025 (2006) y son un requisito previo para una comparación significativa y fiable de las emisiones de carbono para diferentes productos y cadenas de valor. Se espera que los requisitos de coherencia y comparabilidad de la ISO 14067 puedan generar cambios en los PCR existentes.

3.3 WRI-WBCSD GHG Protocol

El Instituto de Recursos Mundiales (WRI) y el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD), autores del GHG Protocol, ampliamente reconocido y utilizado para evaluaciones de GEI en proyectos y a nivel corporativo, comenzaron a desarrollar, en Septiembre de 2008, su estándar de contabilidad de GEI y presentación de informes para productos y cadena de suministro. Esta nueva norma incluye directrices tanto para la contabilidad y cálculo de GEI del ciclo de vida del producto y su publicación de emisiones del 'Scope 3' de las empresas, es decir, las emisiones indirectas de las corporaciones, que no fueran tenidas en cuenta en el 'Scope 2': emisiones debidas a la generación y a la compra de energía.

El alcance preciso, los objetivos y el desarrollo del enfoque de la norma se establecieron a través de consultas a grupos de representantes de los organismos de normalización (incluyendo el Carbon Trust), empresas, programas y, en menor medida, a las instituciones académicas. Para evitar conflictos de intereses entre el diseño y la implementación del estándar, el Protocolo de GEI no desarrolla un programa de certificación. Los realizadores de la norma WRI-WBCSD y de la ISO

[2] La ISO 14067 ha sido aprobada como ST (Technical Specification) debido a la falta de consenso para ser publicada como estándar internacional. Es importante destacar que la Argentina no votó a favor de esta norma.

14067, que se ha descrito anteriormente, han acordado mantenerse mutuamente informados y participar en todas las reuniones pertinentes para evitar inconsistencias [19]. Además, los autores de la PAS 2050 participaron tanto en el desarrollo de las normas ISO como del GHG Protocol de productos.

En contraste con la PAS 2050, pero de manera similar al Sistema de huella de carbono de Japón que se discute más adelante, la norma del WRI-WBCSD requiere la inclusión de bienes de capital dentro de los límites del sistema del producto siempre que se consideren importantes para el estudio [20].

3.4 CFP (TS Q 0010)

En el año 2009, el gobierno japonés puso en marcha un programa como prueba de su nuevo Sistema de Huella de Carbono (CFS), que tiene como objetivo proporcionar información sobre las GEI producidas durante el ciclo de vida de los bienes y servicios. El 'Programa piloto de Huella de Carbono' (CFPP) fue lanzado por el Ministerio de Economía, Comercio e Industria (METI), en cooperación con el Ministerio de Agricultura, Silvicultura y Pesca (MAFF), el Ministerio de Medio Ambiente (MOE) y el Ministerio de Tierra, Infraestructura, Transporte y Turismo (MLIT). El objetivo esperado por parte de Japón es incentivar a las empresas a competir en el mercado mediante la reducción de sus emisiones de carbono, y además lograr cambios en el comportamiento del consumidor.

La participación en la HCP es voluntaria y abierta a todos los productos. La metodología utilizada consta de la 'Directiva relativa al Sistema de Huella de Carbono', que incluye las normas generales de la HCP y normas para la comunicación de la información en las etiquetas de carbono o en otro lugar. El cálculo de la HCP, en el marco del programa, debe incluir las emisiones GEI de la totalidad del ciclo de vida del producto, utilizando el enfoque de ACV. Además, las empresas participantes deben comprometerse a reducir sus emisiones GEI, aunque no se fijan valores meta específicos. Además, hace hincapié en la necesidad de mecanismos para verificar la HCP, y garantizar la eficacia y la credibilidad, y para ello METI está considerando establecer un programa de certificación.

3.5 PEF

En sus conclusiones sobre la Producción Sostenible y el Plan de Acción de Consumo de julio de 2008, el Consejo de la UE invitó a la Comisión Europea a que estudie la introducción de la HCP en los instrumentos de etiquetado ecológico ya existentes, como la etiqueta ecológica y energética, para empezar a trabajar lo antes posible en métodos voluntarios comunes para facilitar el cálculo futuro de la HCP y el establecimiento de auditorías de carbono para las organizaciones [21]. En 2011, la UE fijó un importante objetivo intermedio: para 2020, los ciudadanos y las autoridades públicas contarán con los incentivos adecuados para elegir los productos y servicios más eficientes en el uso de los recursos, debido a precios accesibles y a la disponibilidad de información ambiental. En 2010 el Consejo de la Unión Europea hizo un llamado a la Comisión para elaborar un método armonizado de cálculo de la

huella ambiental de las organizaciones (OEF) y la huella ambiental de los productos (PEF), bajo el enfoque del ACV y las normas internacionales existentes. Los requisitos establecidos por la PEF se basan en las normas ISO 14044, 14067, 14025, 14020, el GHG Protocol, el ILCD (International Reference Life Cycle Data System), el PAS 2050, entre otros.

La PEF considera 14 impactos ambientales diferentes entre los que se incluyen el cambio climático; la destrucción de la capa de ozono; la toxicidad humana; la acidificación; la eutrofización; el uso del suelo; y el consumo de agua; entre otros. Por el momento la Comisión recomienda el uso voluntario de la PEF.

3.6 Otras iniciativas

A partir de Enero de 2011, el Gobierno francés comenzó a exigir de manera progresiva la evaluación de indicadores ambientales para determinadas categorías de bienes y servicios vendidos en el país. En este sentido ha desarrollado la Ley Grenelle de l'Environnement. En el marco de Grenelle de l'Environnement se elaboraron dos proyectos de ley: Grenelle 1, votada el 21 de julio de 2009, adoptada el 3 de agosto de 2009; y Grenelle 2 cuyo decreto de aplicación entró en vigor el 1 de julio de 2012. Mientras Grenelle 1 es una ley marco que establece los principios generales del programa ambiental del gobierno, Grenelle 2 establece específicamente todas las medidas necesarias para ponerla en práctica. El artículo 85 del proyecto de ley introduce nuevas medidas en el Código de Consumo francés (Code de la Consumación) referidas a la manera adecuada de proporcionar información a los consumidores sobre el contenido de carbono de los productos y sus embalajes y el impacto durante sus ciclos de vida incluido el servicio de transporte de los productos. Además, el proyecto especifica que el método de evaluación de los impactos ambientales de productos debe ser desarrollado de acuerdo con las ISO 14040 e ISO 14044, y el formato de comunicación para las indicaciones medioambientales deberá ajustarse a la serie de normas ISO 14020.

Por su parte, Estados Unidos aprobó una Ley sobre 'Energía limpia y cambio climático' que prevé para el año 2020 una reducción de las emisiones GEI del país de un 17% tomando como base el año 2005. Para lograrlo, impondría aranceles compensatorios sobre bienes intensivos en carbono. Se puede mencionar también la incorporación de iniciativas similares en otros países como Alemania, Taiwan y Corea del Sur.

Paralelamente a la acción gubernamental, existe un movimiento voluntario de diversas empresas alrededor del mundo (especialmente retailers) como WalMart, Carrefour, Casino y Leclerc, que ya implementaron el etiquetado de carbono en productos de marca propia. El Grupo Abengoa de España, presente en Latinoamérica, se auto-impuso estándares de emisión y pide declaración de emisiones a sus proveedores.

4 La situación en la Argentina.

Los productos que exporta la Argentina consisten en manufacturas de origen industrial, manufacturas de origen agropecuario, productos primarios, y combustibles y energía; y representaron el 34.1%, 33.8%, 24.1% y 8% respectivamente del total de las exportaciones en el 2012 [23]. Los bienes exportados en mayor medida corresponden a residuos de la industria alimenticia, cereales y materiales de transporte terrestre. Las mayores subas en las exportaciones con respecto al 2011 se registraron en animales vivos (23%), azúcar, cacao y artículos de confitería (19%), y manufacturas de cuero y marroquinería (10%). Los retrocesos más importantes fueron para fibra de algodón (53%), vehículos de navegación aérea, marítima y fluvial (49%), lanas elaboradas (28%), pescados y mariscos elaborados (21%), y grasas y aceites (13%). El principal destino de las exportaciones argentinas durante el año 2012 fue el Mercosur, con el 27.8% del total de las ventas del país, seguido de la Unión Europea con el 14.4% y Nafta con el 8.8% [23]. Dentro de las exportaciones al Mercosur se destacó Brasil en el rubro manufacturas de origen industrial, mientras que en la Unión Europea los países más representativos fueron España y Alemania con manufacturas de origen industrial, y los Países Bajos e Italia con manufacturas de origen agropecuario. En los países que integran el Nafta se destacó EEUU con el rubro manufacturas de origen industrial. A pesar de que la Unión Europea ocupó el segundo lugar en cuanto a destino de las exportaciones, se destaca una importante caída del 17.3% con respecto al año 2011.

De lo expuesto anteriormente surge que la imposición de barreras comerciales recae necesariamente en los productos que exporta la Argentina ya que sus principales destinos coinciden con los países que han desarrollado acciones relacionadas con la HC de productos. Por su parte [24] afirma que la Argentina es consciente de la necesidad de adaptarse a las disposiciones vigentes con el fin de evitar futuras restricciones a las exportaciones, sin embargo no presenta aún una postura firme respecto al tema.

En los últimos años se han desarrollado en el país distintas iniciativas relacionadas con la HC, tanto en el ámbito público como en el privado y convenios de articulación entre ambos sectores. Como primer ejemplo se puede citar el modelo AgroEcoIndex, en el marco del Programa de Gestión Ambiental del INTA, que contiene 18 indicadores agroecológicos, entre ellos el Cambio en el stock de C del suelo y de la biomasa leñosa, y el Balance de Gases Invernadero. Estos indicadores permiten analizar el sector de la producción primaria como primera etapa para una posterior evaluación del ciclo de vida completo de los productos. Otro ejemplo es el desarrollo de un dispositivo de medición de las emisiones de metano resultantes de la fermentación entérica del ganado bovino, desarrollado también por el INTA en el año 2009.

Desde el año 2009, el INTA desarrolla el Programa Nacional de Bioenergía-PNB, en el cual se enmarca la estimación de las emisiones de GEI resultantes de la producción de biocombustibles. Además en el año 2011, el INTA ha participado en el Proyecto ‘Cambio climático y ganadería: Cuantificación y opciones de mitigación de las emisiones de metano y óxido nitroso de origen bovino en condiciones de pastoreo’, financiado por el FONTAGRO (Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria). Otros países miembros del consorcio fueron Chile, Colombia,

República Dominicana y Uruguay. En el marco del Proyecto 'Estableciendo una cadena sustentable y certificada de biodiesel en Argentina' se realizan mediciones de óxido nitroso durante todo el ciclo del cultivo de soja bajo siembra directa destinada a la producción de biocombustibles. Este proyecto comenzó en marzo de 2013 y participan el INTA, el grupo Los Grobo, quien aportó los campos para instalar las estaciones de medición, la RTRS (Round Table on Responsible Soy), Argos, y la Fundación Solidaridad Latinoamericana, con fondos aportados por Agentschap NL (Agencia del Ministerio de Economía de Holanda). Su objetivo principal es avanzar en la certificación de la sustentabilidad ambiental y contribuir a la competitividad de Argentina en la comercialización de los biocombustibles.

Desde el año 2008, AAPRESID (Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa) desarrolla el Programa 'Agricultura Certificada', específico para esquemas de producción agrícola en siembra directa (SD). La Agricultura Certificada consta de dos elementos básicos: un manual de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA), y un Protocolo de uso, medición y registro de indicadores de gestión ambiental, apuntados al recurso suelo. Entre los indicadores de gestión se incluye el Cambio en el nivel de carbono, que puede ser utilizado como dato de inventario en el cálculo de la HC de los productos agrícolas bajo SD.

En el marco del Programa Agricultura Inteligente-AI (Resolución 120/2011), del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, se enmarcan una serie de proyectos vinculados estrechamente con la HC, tales como 'Agricultura Inteligente, Huella de Carbono y Huella Hídrica-AIHCHI', cuyos objetivos específicos consisten en definir las estrategias nacionales en cuanto a HC y Huella hídrica (HH) y elaborar guías metodológicas de estos indicadores para las principales cadenas agropecuarias (vino, peras y manzanas, miel, carne bovina, y cítricos en una primera etapa del proyecto, y arándanos, aceite de oliva, maní y caña de azúcar en una segunda etapa). Las acciones realizadas y en curso incluyen: i) La profundización del análisis económico de las exportaciones de los productos seleccionados, a cargo del MAGyP y CEI-Cancillería; ii) La comparación de metodologías y ciclos de vida de los productos, a cargo del grupo CLIOPE de la Universidad Tecnológica Nacional-Regional Mendoza; iii) El estudio de meta-análisis del factor Ym de la cadena de la carne bovina (emisión de metano en relación a la ingesta), a cargo de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires; iv) La elaboración de una guía metodológica sobre HC del sector vitivinícola, a cargo del INV (Instituto Nacional de Vitivinicultura), el grupo CLIOPE de la Universidad Tecnológica Nacional-Regional Mendoza y de Bodegas Argentinas, entre otras. Otro de los Proyectos que merece mención dentro del Programa es 'Emisiones de gases de efecto invernadero en la cadena de valor de la carne bovina', que cuenta con la colaboración de AACREA (Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola). Además, el Programa de AI establece que se tendrán en consideración las acciones destinadas a la evaluación de las emisiones de óxido nitroso en la agricultura y la determinación de emisiones de los biocombustibles.

En cuanto a las iniciativas privadas se puede mencionar a Aguas Danone, que en el año 2008 realizó mediciones de la HC de sus productos Villa del Sur sin gas en envases PET y Villavicencio con y sin gas en envases PET y en envases de vidrio. Las principales estrategias de reducción se orientaron a minimizar la cantidad de packaging del producto terminado e incorporar el uso de RPET (PET reciclado) en la

conformación de las botellas. Otro ejemplo de agua mineral lo constituye la empresa La Posta del Águila, la cual ha obtenido la HC de su producto Seductive Mineral Water, consiguiendo la certificación de Carbon Trust, según el GHG Protocol, en el año 2009. Bodegas Salentein obtuvo la certificación del vino Portillo Malbec, emitida en 2013 por Carbon Trust Certification del Reino Unido. Además, se comprometió a reducir las emisiones incorporando una botella eco-friendly de 510 gramos, un 12% más liviana que la botella que utilizan comúnmente. Diversas acopiadoras de granos, plantas aceiteras y plantas de biodiesel han certificado bajo los esquemas ISCC y 2BSvs, entre ellas se encuentran Molinos Río de la Plata S.A., Cargill SACI, Louis Dreyfus Company, y Bunge Argentina S.A.(ver apartado siguiente de biodiesel de soja).

De lo anterior se desprende que en la actualidad, la Argentina muestra una real preocupación con respecto a los avances de los países desarrollados frente a las exigencias en la trazabilidad del carbono, con especial énfasis en los productos agroexportables. En general, las iniciativas que se están desarrollando tienden a cubrir las falencias ligadas a la medición de emisiones de GEI, estimación de la HC de productos, y desarrollo de guías o protocolos de medición de la HC. Sin embargo, se destaca el escaso esfuerzo enfocado en el desarrollo de factores de emisión regionales, y la falta de difusión y concientización de la sociedad en general. En cuanto al sector productivo, se observa que las iniciativas voluntarias se desarrollan principalmente en compañías multinacionales con actividades en el país, mientras que sólo unas pocas empresas locales tienen un sólido conocimiento sobre el tema y consideran a la HC como una oportunidad de mercado.

5 El caso del biodiesel de soja

Durante el período 2007-2008 el principal destino de las exportaciones de biodiesel argentino fue EEUU. A partir del 2009, año en el cual entra en vigencia la Directiva Europea de Energías Renovables (EU RED 2009/28/EC), el principal destino del biodiesel pasó a ser la Unión Europea (UE). La RED establece ciertos parámetros de sostenibilidad de los biocombustibles a utilizar. Uno de estos parámetros señala que la reducción de emisiones GEI derivada de la producción de los biocombustibles debe ser, como mínimo, del 35% en relación a los combustibles fósiles. Sin embargo, la UE estableció para el biodiesel de soja un porcentaje de reducción del 31%, posicionándolo por debajo de ésta meta. Esta situación obligó a la Argentina a demostrar que el biocombustible producido en el país genera ahorros de emisiones GEI iguales o superiores al 35%. De lo contario, se afectaría la continuidad de las exportaciones a la UE de ese producto.

Un estudio realizado por [25] deja ver que durante el año 2011 y comienzos del 2012 se emitieron alrededor de 30 certificados de sustentabilidad para productores de soja, aceiteras y plantas de biodiesel que se desarrollan en la Argentina. Estos certificados fueron otorgados bajo esquemas de certificación aprobados por la UE, tales como Roundtable for Responsible Soybean-RTRS, Biomass Biofuels Sustainability Voluntary Scheme-2BSvs o International Sustainability and Carbon Certification-ISCC. Incluso algunas empresas certificaron bajo más de un esquema,

por ejemplo Los Grobos y T6 utilizaron los sistemas de certificación ISCC y RTRS, mientras que AGD y Molinos Río de la Plata optaron por los tres sistemas [25]. La mayoría de las empresas certificadas demostraron tener un ahorro de emisiones de al menos 40% en relación al combustible fósil.

Durante el 2012, el volumen de biodiesel exportado a la UE superó las 1.500.000 toneladas, sin embargo a partir del último cuatrimestre de ese año y en lo que va del 2013, las exportaciones han disminuido considerablemente [26]. Esta caída en las exportaciones se debe a que la European Biodiesel Board-EBB [3] presentó ante la UE denuncias contra Argentina por supuesto dumping[4]. La EBB acusó a la Argentina de reducir los costos de las empresas productoras de biodiesel y de aplicar tasas diferenciales a la exportación mediante las que se gravaría en menor medida el biocombustible que el aceite con el que se produce, compitiendo en forma desleal con el biodiesel producido en los países europeos. En mayo de 2013, la Comisión Europea estableció un derecho antidumping sobre las importaciones de biodiesel argentino bajo el Reglamento (UE) N° 490/2013, especificando aranceles de entre el 7% y el 11%. Por otro lado, a principios de julio de este año, el Parlamento Europeo votó a favor para que se limite la participación de los biocombustibles de primera generación a un 5,5% del consumo total de energías renovables. Estas medidas pueden concretarse en obligaciones definitivas a finales de este año, frustrando la posibilidad de reabrir las exportaciones de biodiesel argentino a la UE. Este panorama podría ser la causa de que algunas plantas de biodiesel no han renovado aún sus certificados de sustentabilidad obtenidos con anterioridad. Como ejemplo se puede citar a Molinos Rio de la Plata S.A. que logró en el año 2012 la certificación ISCC de la planta de extracción de aceite y de la planta de biodiesel, sin embargo este año solamente obtuvo la renovación de la certificación correspondiente a la aceitera.

En la actualidad, la Argentina busca compensar la caída de las exportaciones al mercado europeo a través de negociaciones con Estados Unidos, para lo cual necesitará cumplimentar con los estándares adoptados en ese país. Desde el año 2011, California (Estados Unidos) exige a las empresas la reducción del carbono total de los distintos combustibles en una proporción que aumentará cada año hasta el 2020, o bien comprar créditos a las compañías que venden combustibles con menores emisiones GEI. Estas medidas se enmarcan bajo el Low Carbon Fuel Standard (LFCS). El objetivo de LFCS es reducir la intensidad media de carbono de los combustibles usados para transporte en un 10% en promedio, mediante el incentivo del uso de combustibles alternativos de menor intensidad de carbono como los biocombustibles, el gas natural comprimido, el hidrógeno y la electricidad [27]. Por otro lado, Estados Unidos (también la UE) proyecta hacer cumplir cuotas y el acceso a créditos fiscales, exenciones fiscales o subvenciones supeditadas a los biocombustibles que alcancen mejoras mínimas en las emisiones de GEI en comparación con los derivados del petróleo.

[3] La EBB es un organismo integrado por 62 empresas productoras de biodiesel, de 19 países europeos.

[4] El dumping se define como la práctica en donde una empresa establece un precio inferior para los bienes exportados que para los costos de producción que tiene la empresa del país adonde se importan esos bienes, quitando competitividad a la empresa local.

6 Conclusiones

- Es necesario unificar criterios de evaluación de la HC, ya que los exportadores al momento de enviar productos a más de un mercado, se enfrentan al desafío de responder simultáneamente a requerimientos muy diversos, pudiendo llevar al fracaso de importantes intercambios comerciales. Las compañías transnacionales pueden obtener ventajas de esta situación, debido a su mayor poder económico y de conocimiento, perjudicando a las pequeñas y medianas empresas.
- En Argentina se debe incrementar la difusión de la HC de productos no sólo con el fin de contribuir a la concientización de los ciudadanos sobre el cuidado del ambiente y de su poder como consumidores sino también para su utilización como herramienta comercial de los productos exportables. Esta experiencia debería servir como puntapié inicial para una posterior incorporación de otros indicadores ambientales.
- Es indispensable que Argentina adopte un esquema de evaluación de HC dentro del marco del ACV que sea accesible a pequeñas, medianas y grandes empresas, y que sea aplicable a un gran número de los productos de exportación. Posteriormente se deberían desarrollar programas de reducción de emisiones GEI que permitan no sólo mantener los mercados actuales sino además abrir nuevos mercados.
- Es necesario que Argentina participe más activamente de los espacios de discusión a nivel internacional sobre los estándares ambientales, lo que le permitirá posicionarse mejor a la hora de realizar las negociaciones e identificar las vulnerabilidades de las exportaciones por futuras exigencias ambientales.
- Los estándares de exigencia ambiental, que comenzaron siendo voluntarios, están avanzando a gran velocidad, con claras consecuencias sobre los productos de los países exportadores. Es muy probable que esta tendencia continúe. La HC puede ser sólo un disparador de este tipo de barreras no arancelarias de productos dirigidos a mercados internacionales, existiendo la posibilidad de que entren en juego en el corto plazo otros requisitos ambientales, de sustentabilidad como la huella hídrica, el uso del suelo, la eficiencia energética, el comercio justo, entre otros.

Referencias

1. EEA (European Environmental Agency):. Environmental Indicators: Typology and Overview Technical report No. 25. Copenhagen, Norway (1999).
2. Hoffmann, V.H., Busch, T: Corporate carbon performance indicators. Carbon intensity, dependency, exposure, and risk. J. Ind. Ecol. 12 (4), 505e520 (2008).
3. Bolwig. S. and Gibbon, P: Emerging product carbon footprint standards and schemes and
4. their possible trade impacts. Risø National Laboratory for Sustainable Energy- Risø-R-1719(EN). Technical University of Denmark. Pp. 42 (2009).
5. Mintel, http://www.mintel.com/mintel-global-market.
6. Roca, E., Arca, J.C., Calo, J., Zumalave, J.A.: Indicators and systems of environmental monitoring. In: Environmental Information Systems. Netbiblo, A Coruña, Spain, pp. 95e116 (2005).

7. Herva, M., Franco, A., Fdez-Carrasco, E., Roca, E: The ecological footprint of production processes as indicator of sustainability. Ingeniería Química 460, 180e186 (2008)
8. Herva, M., Franco, A., Fdez-Carrasco, E.F., Roca, E: Review of corporate environmental indicators. Journal of Cleaner Production 19, 1687-1699 (2011).
9. Galli, A., Wiedmann, T., Ercin, E., Knoblauch, D., Ewing, B., & Giljum, S: Integrating ecological, carbon and water footprint into a "footprint family" of indicators: definition and role in tracking human pressure on the planet.Ecological Indicators, 16, 100-112 (2012).
10. Wiedmann, Thomas, and Jan Minx: A definition of'carbon footprint'. Ecological economics research trends 1-11 (2007).
11. Čuček, L., Klemeš, J. J., & Kravanja, Z: A review of footprint analysis tools for monitoring impacts on sustainability. Journal of Cleaner Production,34, 9-20. (2012)
12. Minx, J.C., T. Wiedman: Input–Output analysis and carbon footprinting: an overview of applications. Economic Systems Research, 21(3), 187-216 (2010)
13. Wiedmann T. Carbon Footprint and Input-Output Analysis - An Introduction, Economic Systems Research, 21, 175-186 (2009).
14. Finkbeiner, M: Carbon footprinting—opportunities and threats. Int J Life Cycle Assess (2009) 14:91–94. 2009.
15. Viglizzo, E.F: Huella de carbono, ambiente y agricultura en el Cono Sur de Sudamérica. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura-IICA. Pp. 40. (2010)
16. Papendiek, S: Análisis comparativo de las diferentes iniciativas de estándares privados ambientales para la producción de soja sustentable y sus derivados con la normativa europea. Programa Apoyo a los procesos de apertura e integración al comercio internacional. ATN7ME-9565-RG BID-FOMIN. Pp88 (2011).
17. Carbon Trust: Code of Good Practice for Product Greenhouse Gas Emissions and Reduction Claims. Guidance to support the robust communication of product carbon footprints. (2008).
18. BSI (British Standards InstitutePAS 2050: Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services. (2008).
19. Brenton, P., G. Edwards-Jones, M.F. Jensen, K. Plassmann, A. Norton, N. Attarzedeh: Carbon Footprints and Food Systems: Do Current Accounting Methodologies Disadvantage Developing Countries? Unpublished manuscript (2009).
20. Radunsky, K.: Carbon footprint standard moves forward. ISO Focus, Vol. 8 (6)(2009).
21. WRI (World Resources Institute) and WBCSD (World Business Council for Sustainable Development): Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard. Review Draft for Stakeholder Advisory Group (2009).
22. Lucchini, C. and Tran. M: The Display of Environmental Information in France: Private and Public Engagement. In: Counting Carbon in the Market Place: Part II – Case Studies. OECD Trade and Agriculture Directorate. Unpublished manuscript (2009).
23. Cámara Argentina de Comercio. Informe de comercio exterior argentino. http://www.cac.com.ar
24. Papendiek, S: La huella de carbono como nuevo estándar ambiental en el comercio internacional de agroalimentos. Programa Apoyo a los procesos de apertura e integración al comercio internacional. ATN7ME-9565-RG BID-FOMIN. Pp87 (2010).
25. Muñoz, L; Hilbert, J: Biocombustibles: el avance de la certificación de sustentabilidad en la Argentina. INTA. Informe Técnico Bioenergía 2012. Año 1, n°2. (2012)
26. Cámara Argentina de Biocombustibles-CARBIO, http//www.carbio.com.ar
27. ARB (Air Resources Board) (2009). Proposed Regulation to Implement the Low Carbon Fuel Standard, Volume I, California, Environmental Protection Agency. (2009).

Caracterización Horaria y Diaria de la Concentración del Número Total de Partículas en Ambientes Urbanos y Suburbanos en Mendoza

Allende, David G.[1,2]*; Romero, Gerardo E.[1,2], Cremades, Pablo G.[1,2], Mulena, Gabriela C.[1,2] y Puliafito, Salvador E[1,2]

[1]*: Grupo de Estudios de la Atmósfera y el Ambiente
Facultad Regional Mendoza
Universidad Tecnológica Nacional
Rodríguez 273 Ciudad, Mendoza (M5502AJE)
e-mail: david.allende@frm.utn.edu.ar, manu10mzarom@gmail.com, pablocremades@gmail.com, celestemulena@gmail, epuliafito@frm.utn.edu.ar
Web: http://www.frm.utn.edu.ar/geaa/

[2]: Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

Resumen. La distribución de tamaños de los aerosoles atmosféricos, al igual que su concentración en número, fuentes y sumideros, son elementos claves en el entendimiento y el control de sus posibles efectos en la salud, la visibilidad, el tiempo atmosférico y el clima. En este trabajo se presentan distribuciones representativas de tamaños de aerosoles y datos de concentraciones en número para cuatro sitios de muestreo del Gran Mendoza y diferentes condiciones meteorológicas. Para ello se utilizó un equipo de monitoreo GRIMM 1.107, el cual realiza medición de tamaño de partículas en 32 canales, entre 0,25 µm y 32 µm, por medio la dispersión de luz láser. De la gran cantidad de datos medidos, algunas conclusiones obtenidas son: a) se encontraron distribuciones horarias para el número total de partículas relacionadas con actividad vehicular en todos los sitios de monitoreo; b) la distribución de tamaños de aerosoles depende fuertemente de la meteorología local; c) los patrones diurnos varían entre dos extremos: influenciados predominantemente por la meteorología para sitios sin fuentes locales de partículas e influenciados por fuentes locales como el tráfico y d) observaciones inusuales durante las horas nocturnas sugieren la presencia de posibles fuentes que previamente no han sido consideradas.

Palabras Clave: aerosoles atmosféricos, distribución de tamaños, número de partículas, Gran Mendoza.

1 Introducción

Los aerosoles afectan una gran variedad de procesos en la atmósfera: por ejemplo, las partículas pueden cambiar las propiedades de las nubes, dispersar directamente la radiación solar, afectar la visibilidad y el clima [1-4]. Por otro lado, una serie de estudios epidemiológicos ya ha mostrado los efectos adversos del material particulado (MP) sobre la salud, incluyendo irritación en el aparato respiratorio y cambios en las

funciones pulmonares; como así también asociación entre concentraciones en masa de material particulado y mortalidad [5-11]. Recientemente, ha habido un creciente interés respecto a los efectos sobre la salud de partículas más pequeñas [12], [13], [14]. Algunos estudios de laboratorio han encontrado que para una concentración en masa dada, los efectos sobre la salud son mayores para tamaños de partículas más pequeñas [15], dada la asociación más fuerte entre los efectos adversos para material particulado con diámetro aerodinámico menor a 1 y 2.5 μm (PM1 y PM2.5 respectivamente) que para el particulado total en suspensión (TSP). Sin embargo, debido a que la concentración en masa de MP en el ambiente está determinada por partículas grandes, la determinación de esta concentración puede no ser apropiada para evaluar adecuadamente sus efectos. PM10 describe bastante bien la re suspensión de, por ejemplo, el polvo en calles pero ha habido creciente evidencia de que mediciones de partículas más finas de diferentes orígenes podrían proporcionar información adicional sobre los efectos de las partículas en la salud [16], [17]. Persiste, sin embargo, una gran incertidumbre en la cuantificación de todos estos efectos debido, en parte, a la falta de compresión en los procesos de producción, transporte, evolución físico-química y remoción de estos aerosoles a varias escalas temporales y espaciales que dependen, en gran parte, de su distribución de tamaño.

El tamaño de las partículas de aerosoles atmosféricos cubre un amplio rango; desde unos pocos nanómetros hasta varios micrómetros. Partículas de tamaños hasta 0,1 μm se originan, o bien por procesos de combustión o por conversión de gas a partícula. Éstas coagulan rápidamente y tienen a crecer formando partículas más grandes. MP en el rango de tamaños por encima de 1 μm son creadas por procesos de suspensión mecánica en la tropósfera baja [18].

El centro urbano del Gran Mendoza y sus alrededores es una gran fuente de aerosoles naturales y antrópicos, los cuales forman una mezcla compleja con propiedades variables. En las condiciones ambientales locales, existen varios fenómenos que gobiernan la concentración y el número de partículas de aerosoles. En gran parte, la concentración de partículas está afectada por el mezclado local: partículas emitidas localmente o resuspendidas permanecen en gran volumen [19] y la dispersión y mezclado depende de la velocidad del viento, turbulencia y humedad relativa. Una porción menor de aerosoles es producto de transporte de largo alcance, de acuerdo a la meteorología de mesoscala y cuya concentración depende también de la deposición seca y húmeda y procesos en nubes [20]. En tercer lugar, la meteorología y la estación del año afectan la concentración y las emisiones de partículas, especialmente con variaciones en diferentes fuentes de emisión como quema de biomasa y tráfico [19], [21].

En este trabajo se presenta un panorama de las distribuciones representativas de tamaños y datos de concentraciones en número de aerosoles en cuatro sitios de muestreo del Gran Mendoza y en diferentes condiciones meteorológicas. El estudio de los cambios temporales y espaciales de las características de los aerosoles proporciona un mejor entendimiento del origen de las partículas.

2. Materiales y métodos

2.1. Área de estudio: características generales

El centro urbano del Gran Mendoza está ubicado al oeste de la República Argentina, en el piedemonte de la Cordillera de Los Andes, ocupando un área de 16.692 km^2. El área metropolitana se extiende de forma casi regular hacia el Nordeste, Este y Sur, mientras que las estribaciones de la Cordillera, impiden el crecimiento en las direcciones Norte y Oeste. Se trata de la cuarta aglomeración del país con 1.230.000 habitantes, siendo la más importante fuera de la Pampa Húmeda. La calidad de aire en esta zona urbana se encuentra influenciada por varias fuentes de contaminantes, destacándose la influencia de dos centros industriales, el intenso tráfico vehicular, emisiones fugitivas y, en menor medida, fuentes residenciales. La ciudad se ubica en una zona árida a semiárida, de precipitaciones bajas (120-400 mm anuales), principalmente en meses de verano. La cercanía de la Cordillera de Los Andes tiene una fuerte influencia en la meteorología y en la calidad de aire locales, debido a la circulación típica valle-montaña de variación diaria. La velocidad de viento media anual es alrededor de 2,6 m/s con un 26% de calmas. Las direcciones predominantes son S, S-SW, E-SE y E. El área presenta baja humedad relativa (50%), baja incidencia de niebla y pocos días cubiertos (65-75 días /año). En este estudio se realizaron mediciones en cuatro locaciones con diferentes características (ver Figura 1 y

2.2. **Instrumentos y análisis de datos**

En este estudio, la distribución de tamaños de partículas se midió mediante el espectrómetro laser de aerosoles GRIMM 107, que proporciona curvas granulométricas entre 0.25 µm y 32 µm [22]. En este equipo, las muestras de aire son llevadas directamente dentro de la celda de medición y las partículas son detectadas por dispersión de luz. El pulso de dispersión de luz de cada partícula se cuenta y la intensidad de esta señal se clasifica en un determinado tamaño de partícula. Las distribuciones de tamaño se escanearon en todos los sitios de monitoreo cada 1 minuto, durante un período mínimo de tres semanas. En el caso del sitio M1 (Observatorio) se hicieron dos mediciones en períodos diferentes para evaluar también variaciones estacionales (M1a y M1b). Los datos obtenidos con el espectrómetro se guardaron continuamente en una tarjeta de datos extraíble, para ser descargados al final de la medición y procesados con el software matemático libre GNU Octave [23].

Tabla 1). Variables meteorológicas fueron tomadas por estaciones meteorológicas ubicadas en el punto de monitoreo M1 (cada 5 minutos), en la estación del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) ubicada en el Aeropuerto de Mendoza (32°49’S; 68°47’W) y la estación del INTA en Luján (33° 1’S; 68°52'W), ambas con datos horarios.

2.2. Instrumentos y análisis de datos

En este estudio, la distribución de tamaños de partículas se midió mediante el espectrómetro laser de aerosoles GRIMM 107, que proporciona curvas granulométricas entre 0.25 µm y 32 µm [22]. En este equipo, las muestras de aire son llevadas directamente dentro de la celda de medición y las partículas son detectadas por dispersión de luz. El pulso de dispersión de luz de cada partícula se cuenta y la intensidad de esta señal se clasifica en un determinado tamaño de partícula. Las distribuciones de tamaño se escanearon en todos los sitios de monitoreo cada 1 minuto, durante un período mínimo de tres semanas. En el caso del sitio M1 (Observatorio) se hicieron dos mediciones en períodos diferentes para evaluar también variaciones estacionales (M1a y M1b). Los datos obtenidos con el espectrómetro se guardaron continuamente en una tarjeta de datos extraíble, para ser descargados al final de la medición y procesados con el software matemático libre GNU Octave [23].

Tabla 1. Información detallada de los sitios de monitoreo seleccionados.

Sitio	Nombre	Localización	Características
M1	Observatorio	32°53'S; 68°52'W	Sitio ubicado en el Parque de la Ciudad, en un área densamente vegetada, a 800 metros de calles principales.
M2	Centro	32°53’S; 68°50'W	Sitio ubicado en zona compacta, central administrativa y comercial, con alta densidad edilicia, sobre dos calles principales.
M3	Las Heras	32°51'S; 68°51'W	Sitio ubicado en una zona residencial de densidad media, a 300 metros de una calle principal.
M4	Perdriel	33° 3'S; 68°51'W	Sitio localizado en un área agrícola, al sur de centro urbano, en las inmediaciones de una calle secundaria.

Figura 1. Sitios de medición y sus alrededores localizados en el centro urbano.

3. Resultados

Los datos utilizados en los cálculos a continuación están basados en las mediciones de 1 minuto. Debido a que las concentraciones en los diferentes sitios de monitoreo, como así también las distribuciones de tamaños poseen valores muy diferentes, se fijaron en todos los casos valores límites superior e inferior, de acuerdo a los mínimos locales encontrados y limitaciones del instrumento.

3.1. Variabilidad en la distribución de tamaños

Un análisis de las distribuciones de tamaños para los sitios de monitoreo, promediada para todo el período de muestreo revela diferencias en las concentraciones del número de partículas y los distintos rangos de tamaño. En la Figura 2, se muestran los histogramas para el número total de partículas en función del diámetro aerodinámico. Se utilizan como intervalos discretos los canales de medición del espectrómetro GRIMM, los cuales están desigualmente espaciados.

Si bien el rango de medición es amplio, puede notarse en todos los sitios de medición que una gran parte del total de las partículas tiene un diámetro menor a 1

µm. Se aprecia asimismo el carácter multimodal de la distribución del número de partículas en todos los casos, mostrando que se trata de una mezcla compleja de diversos orígenes.

Se encuentran concentraciones extremadamente altas de partículas más pequeñas en el sitio M2, debido a su ubicación en una zona céntrica del centro urbano, muy cerca de las fuentes (vehiculares en su gran mayoría). Si bien, el sitio de monitoreo M1a y M1b es el mismo, las mediciones se realizaron en dos períodos diferentes: M1a en setiembre, donde el número de partículas dobla a las medidas en M1b, durante el mes de octubre. Posiblemente las mayores alturas de capa de mezcla en octubre y tal vez la presencia de fuentes biogénicas en el mes de setiembre originarían estas diferencias, aunque esa hipótesis debe ser estudiada con más detalles en un trabajo futuro. Una menor cantidad de partículas se verifica en las áreas residenciales (M3) y en el sitio de medición rural (M4), donde las distancias a las fuentes son mayores y el nivel de actividad es menor. En principio, el sitio de monitoreo M1 no cuenta con fuentes cercanas, con la excepción de emisiones vehiculares eventuales próximas al parque de la ciudad, por lo que la concentración de aerosoles de tamaño más pequeño debe explicarse por la presencia de otras fuentes no consideradas y/o el transporte de partículas debido a la circulación local.

Debido a que el alto de cada barra en el histograma (es decir el número promedio de partículas para cada intervalo), depende del ancho del intervalo tomado, una modificación de este diagrama se muestra en la Figura 3, donde se grafica el número de partículas normalizado por el ancho del intervalo tomado, utilizando una curva a través de los datos. En este diagrama se aprecia mejor la presencia de modas en la distribución de tamaños.

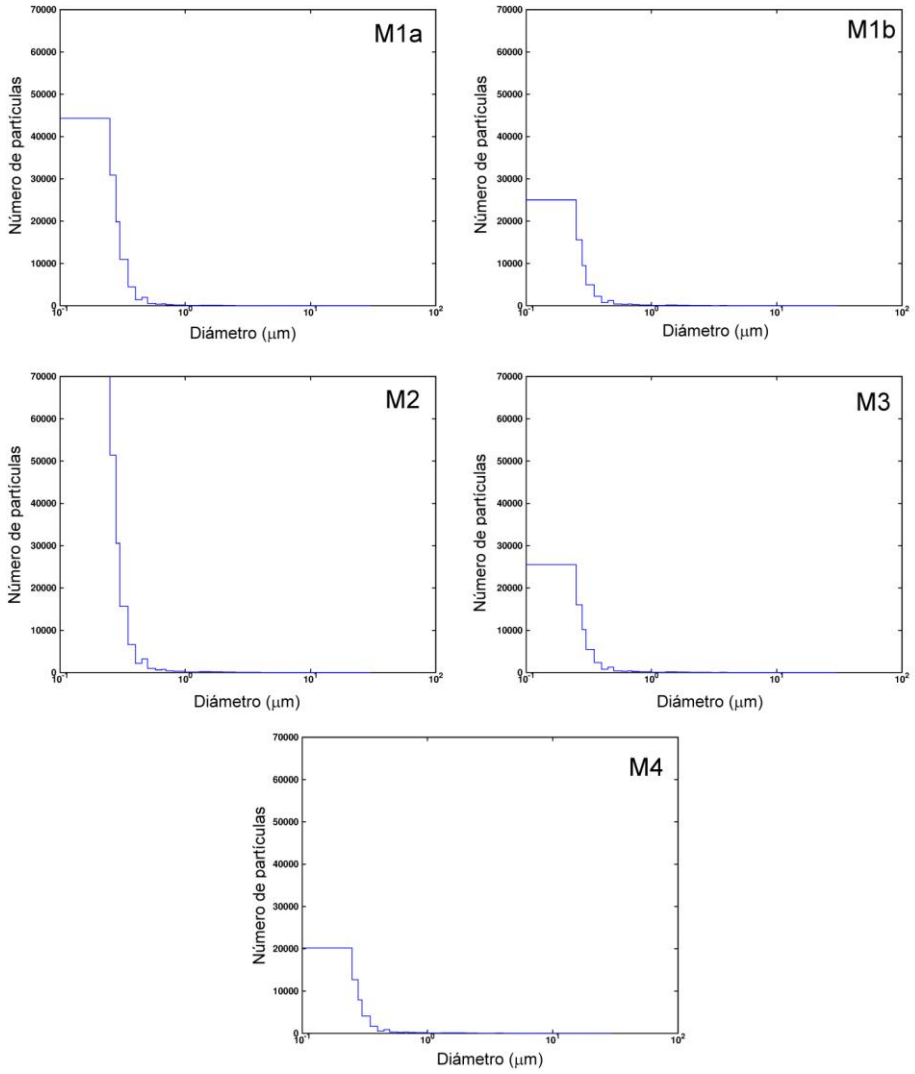


Figura 2. Histogramas para el número de partículas promedio en cada sitio de monitoreo en función del diámetro aerodinámico, expresado en escala logarítmica para ampliar el rango de partículas visible en el diagrama. (M1a: Observatorio, setiembre; M1b: Observatorio, octubre, M2: Centro;M3:Las Heras; M4:Perdriel).

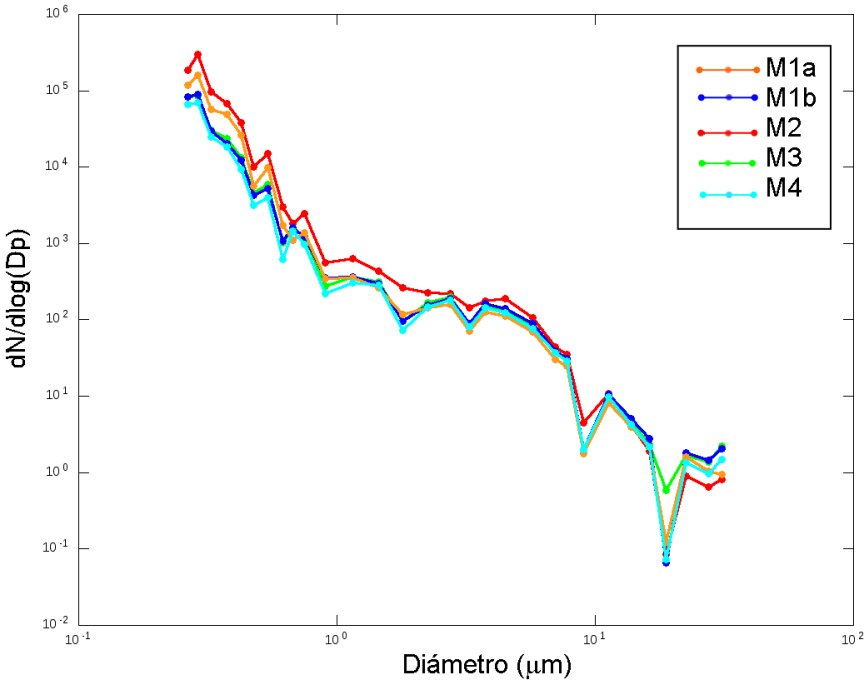


Figura 3. Distribuciones de tamaños para el número de partículas en los diferentes sitios de monitoreo, obtenidas con en el espectrómetro laser GRIMM 107, desde setiembre a diciembre de 2012. (M1a: Observatorio, setiembre; M1b: Observatorio, octubre, M2: Centro;M3: Las Heras; M4:Perdriel).

Puede notarse en la Figura 3 que la distribución de tamaños en el rango de tamaños que se investigó, está compuesta de dos modos distintos. Para todos los sitios de monitoreo, la distribución consiste en un modo fino o modo acumulación, hasta 1 µm aproximadamente y uno menor, pero inequívocamente presente, de partículas mayores o modo grueso [1],[24]. Distribuciones de tamaños similares han sido medidas en varios centros urbanos y áreas rurales [22], [25], [26], [27], [28], [29], siendo el modo grueso asociado con partículas de origen local, tanto de procesos naturales o antropogénicos (por ejemplo resuspensión de partículas por actividad vehicular o movimiento de suelos), mientras que el modo acumulación contiene partículas provenientes de combustión o coagulación de partículas más pequeñas [24]. Un análisis de los promedios de un minuto muestra que las partículas gruesas poseen un máximo alrededor de los 3 µm, con poca variabilidad para todos los sitios de medición. La distribución en el rango de tamaños de 0,25 a 1 µm se presenta, para el promedio total de mediciones una forma monomodal, como se ve en la Figura 3, aunque a determinadas horas, aparece bimodal, con un máximo local alrededor de 0,7 µm. La observación de distribuciones monomodales y bimodales en el rango de acumulación sugiere la posibilidad que determinadas condiciones atmosféricas controlen el crecimiento de partículas generadas por combustión [30], [31], [32], [33].

Con el objeto de identificar más claramente la presencia de modas en las distribuciones de tamaño, se realizó un análisis de clústers [34]. El objetivo de esta metodología es el agrupamiento de objetos del set de datos (la distribución del número de aerosoles por tamaño) de forma que los perfiles de los objetos en un mismo grupo sean muy similares entre sí (cohesión interna del grupo) y los de los objetos de clusters diferentes sean distintos (aislamiento externo del grupo). En este estudio se utilizó un análisis cluster jerárquico (ACJ) con el software estadístico NCSS, para la generación de dendrogramas con los agrupaciones obtenidas a través del Método de la Varianza Mínima de Ward.

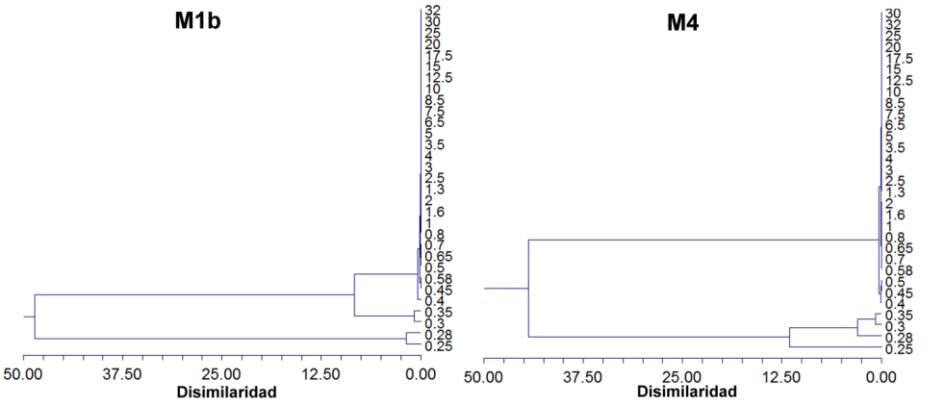


Figura 4. Dendrogramas para los tamaños de partículas, para dos sitios representativos. El eje horizontal representa el grado de disimilaridad entre los grupos o aglomeraciones. La fusión entre dos clústers se representa por cada línea dividida.

En la Figura 4 se muestran los dendrogramas para dos sitios representativos: M1b: similar para todos los puntos de monitoreo con influencia urbana notable y M4: característico de la zona suburbana y rural. Puede notarse en el diagrama de la derecha que existen 2 grupos muy definidos con grados de asociación similares, uno asociado a las partículas entre 0,4 y 32 µm y otro asociado con las partículas más pequeñas, dentro del cual la homogeneidad no es tan notable. En cambio, para las zonas con mayores influencias urbanas (Figura 4, izquierda), parece haber una mayor diferenciación dentro del grupo comprendido entre 0,4 y 2 µm, relacionado con el grado bimodal en el rango de acumulación, característico de zonas urbanas.

3.2. Variabilidad horaria

La Figura 5 muestra los promedios horarios para las concentraciones en número de aerosoles en cada estación de monitoreo. Debido a que el número de partículas por encima de 1 µm es mucho menor, no se incluyeron en este análisis.

Las emisiones vehiculares son las fuentes de partículas más relevantes que impactan en los sitios de muestreo urbano (M2, M3). Asimismo, el tráfico parece ser

una fuente importante de partículas en el sitio de monitoreo M1 ubicado en el parque de la ciudad. Para el sitio más céntrico (M2), se verifica un notorio incremento de la concentración de partículas finas, comenzando a partir de las 7:00 horas con un máximo alrededor de las 9:00 horas y luego otro máximo luego del mediodía coincidiendo con el aumento del tráfico local. El nivel de actividad se mantiene bajo, hasta las 19:00, en coincidencia con la hora pico. La actividad vehicular se mantiene casi toda la noche, provocando concentraciones particularmente elevadas, mayormente los días viernes y sábados, al tratarse de un lugar de intensa actividad nocturna.

Para el sitio de monitoreo M3 en una zona suburbana, las emisiones vehiculares parecen explicar el gran número de partículas entre las 7:00 y las 14:00 horas. Asimismo, alrededor de las 20:00 horas, coincidiendo con la hora pico, la concentración en número aumenta notablemente. Se puede notar, sin embargo, que el mayor número de partículas se mide en horas nocturnas, entre las 23:00 y la 1:00 horas, no atribuible a tránsito local. Esto se evidencia también en los otros sitios de monitoreo. Durante las mediciones en el parque de la ciudad. Las mayores concentraciones se dan también en horas nocturnas, a partir de las 21:00 y hasta las 2:00 horas. El tránsito parece impactar también en el sitio de medición M1, en ambos períodos, aunque el mayor pico ocurre alrededor de las 13:00 horas en el mes de setiembre y alrededor de las 10:00 horas en octubre. En general, las concentraciones en el mes de setiembre fueron mayores a las medidas en octubre.

Las mediciones en el sitio M4 responden a la actividad vehicular durante horas diurnas, pero con diferentes horarios, ya que al ser una zona alejada del centro urbano, el nivel de partículas aumenta un poco más temprano, cerca de las 7:00 y tiene un máximo alrededor de las 11:00. La actividad vehicular sobre la Ruta N° 40, a 400 metros del sitio de medición es relativamente estable durante el resto del día. Nuevamente, un gran número de partículas se mide en horas nocturnas, a partir de las 21:00 hs, con niveles mayores incluso que en el día.

3.3. Evolución temporal -tendencias

Debido a que la distribución en número de los aerosoles exhibe una variabilidad significativa en escalas de tiempo subhorarias, horarias y diarias, en las Figura 6 a Figura 7, se muestran las tendencias del número total de partículas para algunos sitios de monitoreo y la influencia de algunas variables meteorológicas. Debido a la distribución multimodal de las distribuciones del número de partículas, se eligieron como diámetros representativos los de 0,25µm, 0,7µm y 10µm para evaluar la evolución de cada modo durante los períodos de medición. Con el objeto de hacer las mediciones de los distintos tamaños comparables, se normalizó el número medido de partículas con el promedio de todo el período.

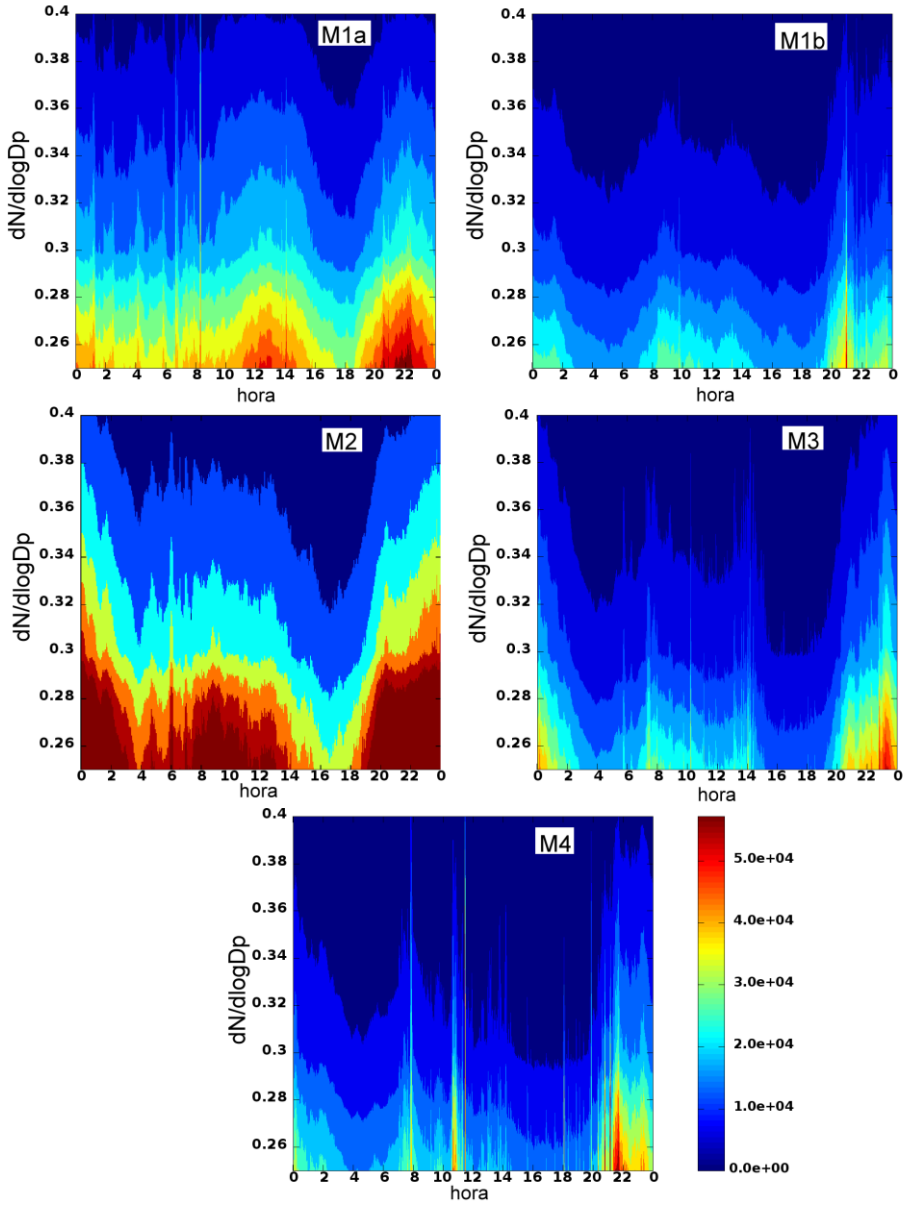


Figura 5. Evolución de la concentración de partículas para cada hora del día en todos los sitios de medición. Los diagramas muestran la respuesta de instrumento sobre los canales de tamaño hasta 1 µm. Los colores rojos indican valores más altos de concentración en número, por tamaño de partícula (dN/dlogDp).

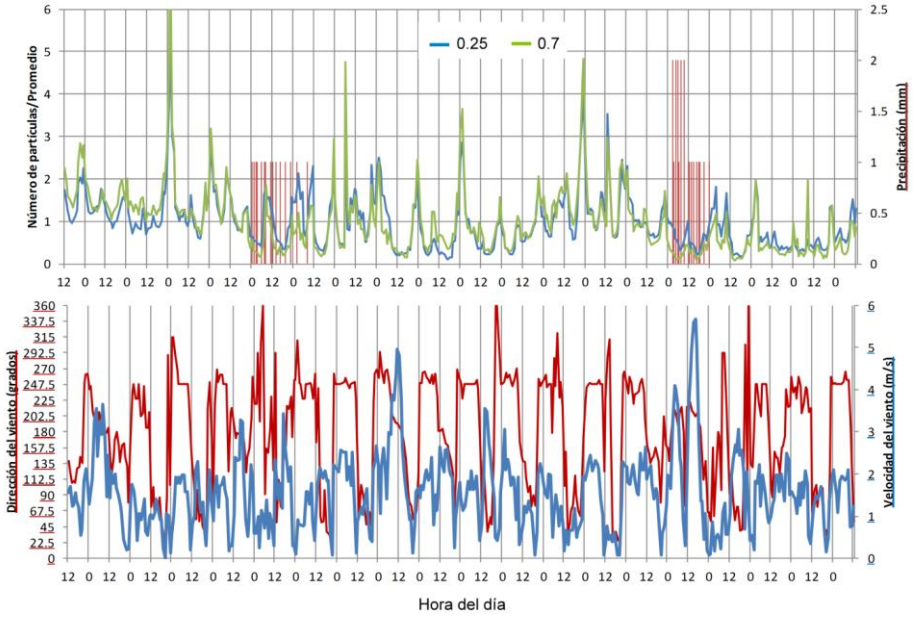


Figura 6. Evolución del número total del número de partículas normalizado con el promedio medido para cada tamaño (valores mínimos horarios) para el sitio de monitoreo M2 (centro), y algunas variables meteorológicas de interés: dirección de viento en rojo y velocidad de viento en azul.

La Figura 6 muestra los mínimos horarios del número total de partículas en los tamaños 0,25 y 0,7 µm en el sitio de monitoreo M2 (centro). Durante todo el período se puede ver claramente un ciclo diario diurno para ambos tamaños, en correspondencia con lo mostrado en la Figura 5

Figura 5: un máximo en las primeras horas de la mañana (alrededor de las 9), cuando la densidad del tráfico es elevada y la altura de capa de mezcla es todavía baja, concentraciones que se mantienen elevadas durante el día y los valores más elevados a partir de la hora pico nocturna hasta aproximadamente las 3 de la mañana.

Independientemente de los episodios diarios, se puede notar períodos en los que los mínimos horarios tienden a crecer durante varios días, sugiriendo la influencia de la meteorología sinóptica en las concentraciones. En la parte inferior del diagrama, las direcciones del viento muestran una circulación típica valle-montaña: corrientes ascendentes que se desarrollan plenamente en las horas centrales del día, desde el E y NE, y brisas descendentes durante la noche desde el SW. Este fenómeno local aparentemente recircula contaminantes emitidos en el centro urbano, provocando el retorno de las partículas emitidas en horas previas y generando una acumulación de aerosoles, especialmente de partículas más finas, con mayor tiempo de vida. Estos períodos de acumulación de partículas pequeñas se suceden mientras las velocidades de viento se encuentran entre 1 y 2 m/s y no hay precipitaciones que provoquen la remoción de contaminantes. Puede verse notoriamente una disminución de las concentraciones totales luego de picos de velocidades viento, por encima de los promedios habituales en el área de estudio, al igual que luego de precipitaciones en

forma de lluvia. Si bien, ambas concentraciones están claramente asociadas al tráfico, no siguen exactamente el mismo comportamiento durante todo el período de medición. Para aerosoles en modo grueso la inercia de las partículas incrementa la probabilidad de colisión con el hidrometeoro, en cambio en el rango de acumulación (especialmente las de 0,25µm), donde el movimiento Browniano o impacto inercial no son eficientes, el proceso de deposición húmeda poseen un mínimo (ver por ejemplo el trabajo de Croft y colaboradores [35]), por lo que la remoción es menos efectiva.

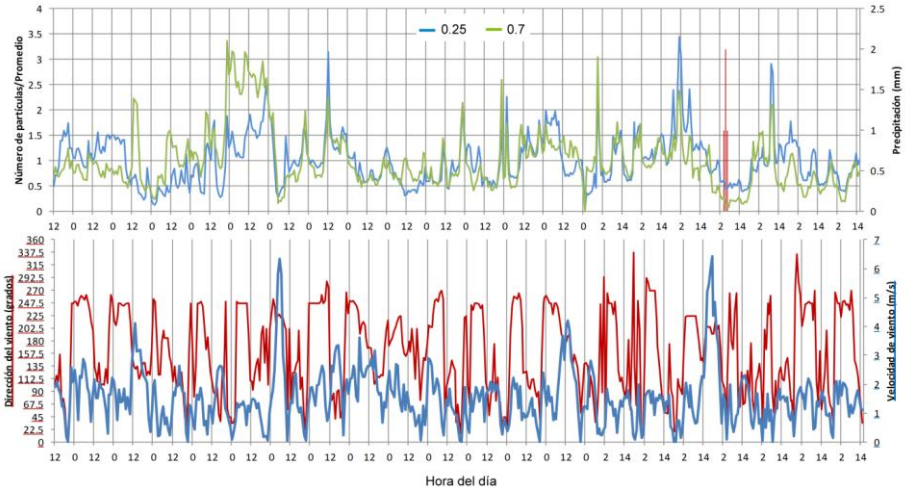


Figura 7. Evolución del número total del número de partículas normalizado con el promedio medido para cada tamaño (valores mínimos horarios) para el sitio de monitoreo M1b (Observatorio, octubre), y algunas variables meteorológicas de interés: dirección de viento en rojo y velocidad de viento en azul.

En la Figura 7 se muestra la evolución de los mínimos horarios del número total de partículas en los tamaños 0,25 y 0,7 µm en el sitio de monitoreo M1b (Observatorio, octubre). Al igual que en el caso del sitio céntrico, el perfil diario posee características distintivas: concentraciones bajas en la madrugada, con valores elevándose a medida que incrementa el tráfico vehicular en las cercanías, se mantienen bajas durante el resto del día y un nuevo incremento a partir de las 20 y hasta las 2 de la madrugada. Sin embargo, de acuerdo con un análisis de las variaciones horarias, solamente las partículas de tamaño 0,7 µm parecen responder perfectamente a las variaciones de tráfico. En este caso, existe menor correlación entre las partículas de 0,2 y 0,7 µm, probablemente porque el sitio de monitoreo se encuentra más alejado de las fuentes de partículas y a la posible presencia de otras fuentes diferentes a las residenciales y vehiculares. De igual manera, se verifica la influencia de la meteorología local en el número de partículas. La circulación valle-montaña también parece afectar la acumulación de partículas en este sitio de monitoreo, con un fuerte efecto de las velocidades de viento altas y precipitación en la concentraciones. Se verifica también

una importante caída en los mínimos horarios luego de fenómenos de fuertes vientos e hidrometeoros, de igual manera, con mayor influencia sobre las partículas de 0,7 µm.

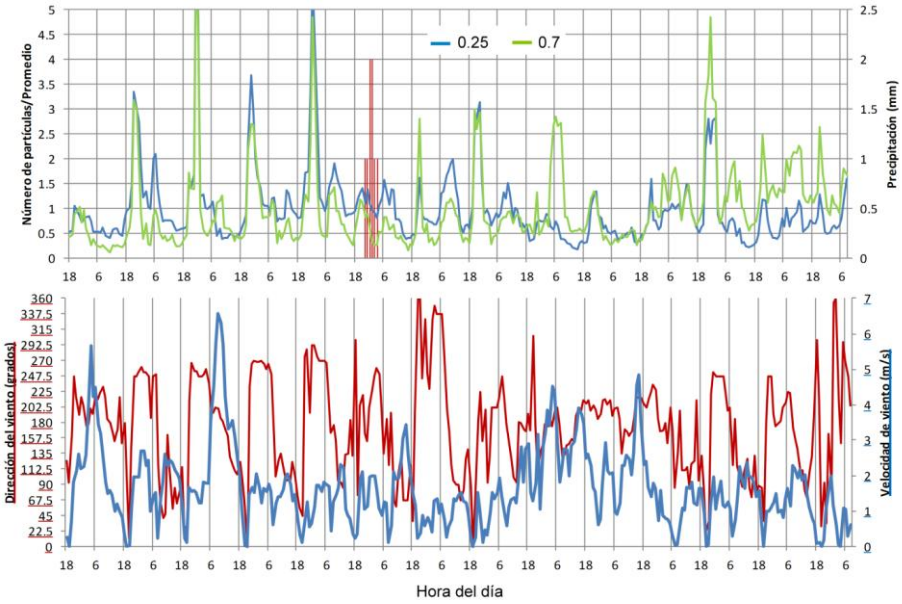


Figura 8. Evolución del número total del número de partículas normalizado con el promedio medido para cada tamaño (valores mínimos horarios) para el sitio de monitoreo M4 (Perdriel), y algunas variables meteorológicas de interés: dirección de viento en rojo y velocidad de viento en azul.

Finalmente en la Figura 8 se muestra la evolución de los mínimos horarios del número total de partículas en los tamaños 0,25 y 0,7 µm en el sitio de monitoreo M4 (Perdriel). Los perfiles diarios son ligeramente diferentes, al tratarse de una zona más bien rural, manteniéndose los valores de concentraciones de partículas muy bajos durante la mayor parte del día, con excepción de las horas picos y un notable aumento nocturno. Al igual que en los otros sitios de monitoreo, se puede notar dos períodos en los que los mínimos horarios tienden a crecer durante varios días, separados por un evento de precipitaciones. Asimismo, es notable también la influencia de las altas velocidades de viento en la caída de las concentraciones para ambos tamaños de partículas. De la misma manera que en lo medido en el resto de los sitios de estudio, los hidrometeoros poseen una mayor influencia en las partículas de tamaño 0,7 µm.

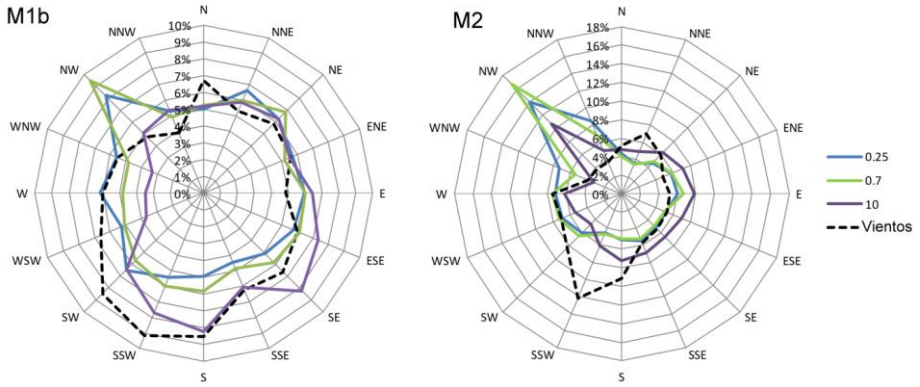


Figura 9. Rosa de vientos y frecuencia de partículas para los tamaños analizados versus dirección del viento, en los sitios de monitoreo M1b y M2.

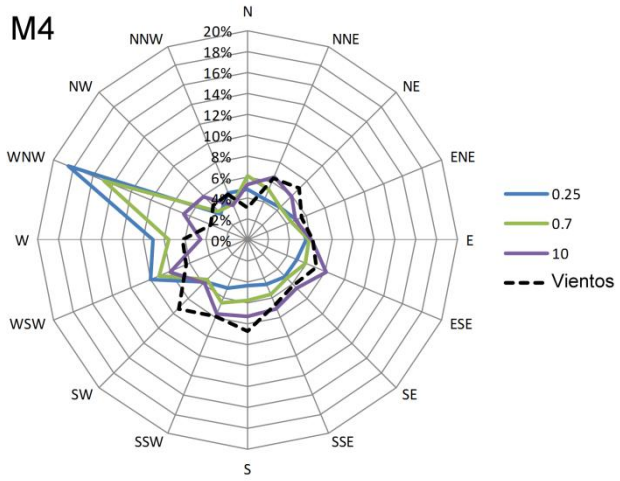


Figura 10. Rosa de vientos y frecuencia de partículas para los tamaños analizados versus dirección del viento, en el sitio de monitoreo M4.

La meteorología en los sitios de monitoreo indica que los vientos predominantes fueron desde el SW y SSW (Figura 9), pero no todas las partículas parecen venir de esa dirección. En el caso del sitio ubicado en el parque de la ciudad, existe una clara distinción entre las partículas en modo grueso (10µm) y las de modo acumulación (0,25 y 0,7 µm). Mientras las partículas gruesas parecen estar muy correlacionadas con los vientos predominantes y, en consecuencia, asociadas a la erosión del viento y resuspensión de polvo, las partículas en modo acumulación poseen origen en fuentes ubicadas principalmente hacia el NW del sitio de medición y también algunas fuentes hacia el S, SE y SW. De acuerdo con la ubicación del sitio de medición, el origen podría ser asociarse tanto a fuentes urbanas (SE, S) como a recirculación por la meteorología local (SW). Hay, sin embargo, alguna fuente cercana (NW) que genera

partículas en modo acumulación y que requiere un estudio más detallado. Existe una posibilidad de que se trate de partículas originadas por laquema de biomasa y/o residuos domésticos en basurales ubicados en el pedemonte. Esta hipótesis se estudiará en trabajos futuros.

La gran correlación entre los distintos tamaños de partículas en el sitio de monitoreo céntrico indica que los aerosoles provienen de una misma fuente muy cercana ubicada hacia el NE. Partículas provienen del resto de las direcciones con frecuencias similares, siendo el origen más probable de estos aerosoles la actividad vehicular.

Para una discusión sobre las posibles fuentes de partículas en el sitio de medición M4 es necesario referirse a la Figura 10. Allí puede verse notablemente la contribución mayoritaria del tráfico en la Ruta 40 ubicada hacia el W del sitio de monitoreo. Asimismo, las actividades agrícolas aportan material particulado grueso proveniente principalmente desde el S.

4. Conclusiones

En el presente artículo se muestra un resumen de mediciones de concentraciones en número de partículas en el centro urbano del Gran Mendoza, presentándose distribuciones representativas de tamaños y datos de concentraciones en número de aerosoles en cuatro sitios de muestreo, en diferentes condiciones meteorológicas. Para ello se utilizó un equipo de monitoreo GRIMM 1.107, el cual realiza medición de tamaño de partículas en 32 canales, entre 0,25 µm y 32 µm. De la gran cantidad de datos obtenidos se pueden extraer algunas conclusiones:

a) La concentración total en número de partículas durante el período de monitoreo está fuertemente asociada a las actividades urbanas y a también a la meteorología. Tal como sería esperable, en condiciones urbanas la cantidad de partículas es mayor que en sitios rurales. Asimismo, las variaciones de la altura de capa de mezcla provocan cambios notables en las concentraciones: durante horas nocturnas y en épocas de baja temperatura, las concentraciones son mayores.
b) La distribución de tamaños para los sitios de monitoreo reveló que existen claramente dos modos de partículas, característicos de sitios urbanos: uno grueso, con diámetros mayores a 1µm, asociado a fuentes locales y posiblemente relacionadas a procesos mecánicos, posiblemente polvo erosionadas por el viento o de resuspensión y una gran cantidad de partículas en modo fino (acumulación), con diámetros entre 0,25 y 1 µm, que contiene partículas provenientes de procesos de combustión. Pudo encontrarse que en algunas horas del día para algunos sitios de medición, el modo de acumulación es bimodal, con máximos alrededor de 0,25 y 0,7 µm. Un análisis de clústers confirmó esta diferenciación, siendo las zonas rurales y suburbanas monomodales en el modo de acumulación y las zonas con influencia netamente urbana bimodales.
c) Los patrones diarios reflejan dos comportamientos distintivos: 1) para sitios

que están influenciados predominantemente por la meteorología, ya que no presentan fuentes locales de partículas, 2) para sitios influenciados por fuentes locales como el tráfico y emisiones residenciales. En todos los sitios de monitoreo la distribución de tamaños de aerosoles depende fuertemente de la meteorología local. La circulación valle-montaña recircula contaminantes emitidos en el centro urbano, provocando el retorno de las partículas emitidas en horas previas y generando una acumulación de aerosoles, especialmente de partículas más finas, con mayor tiempo de vida. Las velocidades bajas de viento características de Mendoza en conjunto con la circulación local generan episodios de contaminación con una aparente acumulación de partículas en el centro urbano, modificada por fenómenos de vientos por encima del promedio local e hidrometeoros.

d) Algunas observaciones inusuales durante las horas nocturnas sugieren la presencia de posibles fuentes que previamente no han sido consideradas. Existen patrones diarios en las concentraciones en número en donde el efecto de las fuentes es evidente. Sin embargo, es posible que la recirculación de aerosoles en conjunto con una altura de capa de mezcla baja sea responsable de gran parte de las altas concentraciones medidas en horas nocturnas.

El análisis preliminar presentado aquí muestra también que las mediciones de las concentraciones en número de partículas pueden utilizarse para evaluar la compleja interacción entre las fuentes de aerosoles, sus procesos atmosféricos y su posterior evolución.

La dependencia entre las concentraciones y el tamaño de partículas es consistente con los sitios representativos seleccionados y coherentes con la meteorología local. Este tipo de mediciones, combinadas con caracterizaciones químicas son la base de futuros estudios de modelado e identificación de fuentes emisoras de aerosoles. Asimismo, se espera acoplar este tipo de mediciones con evaluaciones de concentraciones basadas en masa para detectar y cuantificar mejor la contribución de otras fuentes.

5. Agradecimientos

Los autores desean agradecer a Gonzalo Alfonso y familia y a la Dra. Hebe Cremades por facilitar la instalación del equipo de monitoreo en el sitio céntrico y rural. Las actividades de investigación desarrolladas en este trabajo están parcialmente sostenidas por el Proyecto PID 25/JC01 “Modelos Regionales de Calidad de Aire”.

Referencias

[1] J. H. Seinfeld and S. N. Pandis, Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change, 2nd ed. Wiley-Interscience, 2006.

[2] R. R. Dickerson, “The Impact of Aerosols on Solar Ultraviolet Radiation and Photochemical Smog,” Science, vol. 278, no. 5339, pp. 827–830, Oct. 1997.

[3] R. J. Charlson, S. E. SchwartzZ, J. M. Hales, R. D. Cess, J. A. Coakley, J. E. Hansen, and D. J. Hofmann, "Climate Forcing by Anthropogenic Aerosols," Science, vol. 255, no. 5043, pp. 423–430, 1992.

[4] U. Lohmann and J. Feichter, "Global indirect aerosol effects : a review," Atmos. Chem. Phys, vol. 5, pp. 715–737, 2005.

[5] M. Lippmann, K. Ito, A. Nádas, and R. T. Burnett, "Association of particulate matter components with daily mortality and morbidity in urban populations.," Research report (Health Effects Institute), no. 95, pp. 5–72, discussion 73–82, Aug. 2000.

[6] J. M. Samet, S. L. Zeger, F. Dominici, F. Curriero, I. Coursac, D. W. Dockery, J. Schwartz, and A. Zanobetti, "The National Morbidity, Mortality, and Air Pollution Study. Part II: Morbidity and mortality from air pollution in the United States.," Research Report Health Effects Institute, vol. 94, no. Pt 2, pp. 5–70; discussion 71–79, 2000.

[7] D. W. Dockery, C. A. Pope, X. Xu, J. D. Spengler, J. H. Ware, M. E. Fay, B. G. Ferris, and F. E. Speizer, "An association between air pollution and mortality in six U.S. cities.," The New England journal of medicine, vol. 329, no. 24, pp. 1753–9, Dec. 1993.

[8] J. V Hall, "Assessing health effects of air pollution," Atmospheric Environment, vol. 30, no. 5, pp. 743–746, 1996.

[9] B. Brunekreef and S. T. Holgate, "Air pollution and health.," Lancet, vol. 360, no. 9341, pp. 1233–42, Oct. 2002.

[10] M. Kampa and E. Castanas, "Human health effects of air pollution.," Environmental pollution (Barking, Essex : 1987), vol. 151, no. 2, pp. 362–7, Jan. 2008.

[11] J. Bernstein, N. Alexis, C. Barnes, I. L. Bernstein, A. Nel, D. Peden, D. Diaz-Sanchez, S. M. Tarlo, and P. B. Williams, "Health effects of air pollution.," The Journal of allergy and clinical immunology, vol. 114, no. 5, pp. 1116–23, Nov. 2004.

[12] L. W. Stanek, J. D. Sacks, S. J. Dutton, and J.-J. B. Dubois, "Attributing health effects to apportioned components and sources of particulate matter: An evaluation of collective results," Atmospheric Environment, vol. 45, no. 32, pp. 5655–5663, 2011.

[13] G. Polichetti, S. Cocco, A. Spinali, V. Trimarco, and A. Nunziata, "Effects of particulate matter (PM10, PM2.5 and PM1) on the cardiovascular system," Toxicology, vol. 261, no. 1–2, pp. 1–8, 2009.

[14] M. G. Perrone, M. Gualtieri, V. Consonni, L. Ferrero, G. Sangiorgi, E. Longhin, D. Ballabio, E. Bolzacchini, and M. Camatini, "Particle size, chemical composition, seasons of the year and urban, rural or remote site origins as determinants of biological effects of particulate matter on pulmonary cells," Environmental Pollution, vol. 176, no. 0, pp. 215–227, 2013.

[15] H.-E. Wichmann, C. Spix, T. Tuch, G. Wolke, A. Peters, J. Heinrich, W. G. Kreyling, and J. Heyder, "Daily Mortality and Fine and Ultrafine Particles in Erfurt, Germany.Part I: role or particle number and particle mass.," Cambridge, MA, 2000.

[16] G. Oberdörster, "Pulmonary effects of inhaled ultrafine particles," International Archives of Occupational and Environmental Health, vol. 74, no. 1, pp. 1–8, 2000.

[17] J. J. de Hartog, G. Hoek, A. Peters, K. L. Timonen, A. Ibald-Mulli, B. Brunekreef, J. Heinrich, P. Tiittanen, J. H. van Wijnen, W. Kreyling, M. Kulmala, and J. Pekkanen, "Effects of Fine and Ultrafine Particles on Cardiorespiratory Symptoms in Elderly Subjects with Coronary Heart Disease: The ULTRA Study ," American Journal of Epidemiology , vol. 157 , no. 7 , pp. 613–623, Apr. 2003.

[18] B. J. Finlayson-Pitts, Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere: Theory, Experiments, and Applications; electronic version. San Diego, CA: Elsevier, 1999.

[19] Salvador Enrique Puliafito, Fernando Horacio Castro, and D. G. Allende, "Air quality impact of PM10 emission in urban centres," International Journal of Environment and Pollution, vol. 46, no. 3/4, pp. 127–143, 2011.

[20] F. Castro Videla, F. Barnaba, F. Angelini, P. Cremades, and G. P. Gobbi, "The relative role of Amazonian and non-Amazonian fires in building up the aerosol optical depth

in South America: A five year study (2005–2009)," Atmospheric Research, vol. 122, no. 0, pp. 298–309, 2013.

[21] D. G. Allende, G. C. Mulena, P. G. Cremades, and S. E. Puliafito, "Transporte de aerosoles generados por erosión durante episodios de fuertes vientos: un estudio de modelado," Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente., vol. 16, pp. 01.15–01.21, 2012.

[22] H. Grimm and D. J. Eatough, "Aerosol Measurement: The Use of Optical Light Scattering for the Determination of Particulate Size Distribution, and Particulate Mass, Including the Semi-Volatile Fraction," Journal of the Air & Waste Management Association, vol. 59, no. 1, pp. 101–107, Jan. 2009.

[23] J. W. Eaton, D. Bateman, and S. Hauberg, GNU Octave: A high-level interactive language for numerical computations, Edition3 f. Boston, MA: Network Theory Limited, 2008, p. 539.

[24] B. J. Finlayson-Pitts, "Atmospheric Chemistry," Proceedings of the National Academy of Sciences, vol. 107, no. 15, pp. 6566–6567, Apr. 2010.

[25] A. D. Clarke, Y. Shinozuka, V. N. Kapustin, S. Howell, B. Huebert, S. Doherty, T. Anderson, D. Covert, J. Anderson, X. Hua, K. G. Moore II, C. McNaughton, G. Carmichael, and R. Weber, "Size distributions and mixtures of dust and black carbon aerosol in Asian outflow: Physiochemistry and optical properties," J. Geophys. Res., vol. 109, no. D15, p. D15S09, Jun. 2004.

[26] Z. Wu, M. Hu, P. Lin, S. Liu, B. Wehner, and A. Wiedensohler, "Particle number size distribution in the urban atmosphere of Beijing, China," Atmospheric Environment, vol. 42, no. 34, pp. 7967–7980, Nov. 2008.

[27] M. Vakeva, K. Hameri, T. Puhakka, E. D. Nilsson, H. Hohti, and J. M. M[illegible]kel[illegible], "Effects of meteorological processes on aerosol particle size distribution in an urban background area," J. Geophys. Res., vol. 105, no. D8, pp. 9807–9821, 2000.

[28] S.-U. Park and J.-W. Kim, "Aerosol size distributions observed at the Seoul National University campus in Korea during the Asian dust and non-Asian dust periods," Atmospheric Environment, vol. 40, no. 9, pp. 1722–1730, Mar. 2006.

[29] D. S. Covert and J. Heintzenberg, "Size distributions and aerosol at Alesund, Svarbard," vol. 27, no. 17, pp. 2989–2997, 1993.

[30] S. Hering, A. Eldering, and J. H. Seinfeld, "Bimodal character of accumulation mode aerosol mass distributions in Southern California," Atmospheric Environment, vol. 31, no. 1, pp. 1–11, 1997.

[31] A. Eldering and R. M. Glasgow, "Short-term particulate matter mass and aerosol-size distribution measurements: transient pollution episodes and bimodal aerosol-mass distributions," Atmospheric Environment, vol. 32, no. 11, pp. 2017–2024, 1998.

[32] X. . Yao, N. T. . Lau, C. K. . Chan, and M. . Fang, "Size distributions and condensation growth of submicron particles in on-road vehicle plumes in Hong Kong," Atmospheric Environment, vol. 41, no. 16, pp. 3328–3338, 2007.

[33] S. K. Kharol and K. V. S. Badarinath, "Effect of synoptic meteorological conditions on aerosol properties over urban environment: A study over tropical urban region of Hyderabad, India," Acta Geophysica, vol. 55, no. 3, pp. 383–397, 2007.

[34] D. Wilks, Statistical Methods in the Atmospheric Sciences. Cornell University, Ithaca, New York, U.S.A: Academic Press, 1995, p. 467.

[35] B. Croft, U. Lohmann, R. V. Martin, P. Stier, S. Wurzler, J. Feichter, R. Posselt, and S. Ferrachat, "Aerosol size-dependent below-cloud scavenging by rain and snow in the ECHAM5-HAM," Atmospheric Chemistry and Physics Discussions, vol. 9, no. 2, pp. 7873–7925, Mar. 2009.

Técnicas de Procesamiento Digital de Imágenes y Sistemas de Información Geográfica para Estudios de la Dinámica de la Expansión Urbana en Ecosistemas Frágiles de Zonas Semiáridas y Análisis Espacial

Hilda Cristina Salvatierra[12] y María Magdalena Herrera[34]

1 Especialista Ing. Forestal. Docente e investigadora de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Juan Agustín Maza. 2 Docente e investigadora de la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad Nacional de Cuyo. csalvatierra@umaza.edu.ar

3 Licenciada en Ciencias Geológicas. 4 Docente e investigadora de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Juan Agustín Maza. 4 Docente e investigadora de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de San Juan.
isoraster@gmail.com

Resumen: Los cambios presentes en nuestros ecosistemas son producto directo de la interrelación entre la intensificación de los usos del suelo; a la presión antrópica por el espacio territorial y al efecto causado por el cambio climático global. En regiones semiáridas, esta dinámica es mucho más marcada. De acuerdo a esto, se investigó la dinámica de la expansión urbana en la región del Gran Mendoza, de manera multitemporal, a partir del empleo de técnicas de procesamiento digital de imágenes de satélite, modelización y análisis espacial. La metodología empleada se enfocó al tratamiento digital e interpretación visual de imágenes satelitales de los años 1973, 1986, 1999 y 2008, enfocado a: a) coberturas naturales; b) usos del suelo, especialmente urbanos y c) análisis de los cambios multitemporales presentes en las mismas. Los resultados arrojaron un incremento de la superficie destinada a los usos urbanos (2.03 % del área estudiada); en usos suburbanos (1.98%), una disminución marcada en las áreas de piedemonte (20.28%), así como en los suelos salinos, (27.28%), la cual fue reemplazada por nuevas áreas agrícolas. Finalmente se observó la aparición de conos aluviales y detritos en zonas sumamente frágiles del piedemonte, como indicadores de un incremento en el régimen pluvial.

Palabras Clave: Procesamiento digital de imágenes satelitales, expansión urbana. Fragilidad ecosistémica

1 Introducción

Los cambios presentes en las comunidades vegetales son producto directo de la interrelación entre la intensificación de los usos del suelo aunado al avance de las fronteras agrícolas derivadas de una falta coherente de planificación ambiental, a la presión antrópica por el espacio territorial y al efecto causado por esto, sobre el cambio climático. En regiones semiáridas, el impacto resultante de esta activa interrelación hombre-espacio-clima sobre los ecosistemas naturales, resulta en una eminente pérdida de la biodiversidad, pérdida de suelo, una evidente transformación del relieve y el inicio o aceleración de procesos de desertificación, convirtiéndose en una amenaza potencial para la estabilidad ambiental, social y económica.

1.1 Área de estudio

Comprende la región del Gran Mendoza, limitada por las siguientes coordenadas geográficas: 32º 43’ 10.71’’ a 33º 06’ 32.38’’ de latitud sur y 68º 58’ 03.06’’ a “68º 29’ 35.66’’ de longitud oeste (figura 1). La extensión del área de estudio permitió trabajar a una escala de semi-detalle (1:250.000), lo que facilitó la identificación y clasificación de la cubiertas naturales, artificiales así como la geomorfología presente en cada periodo estudiado.

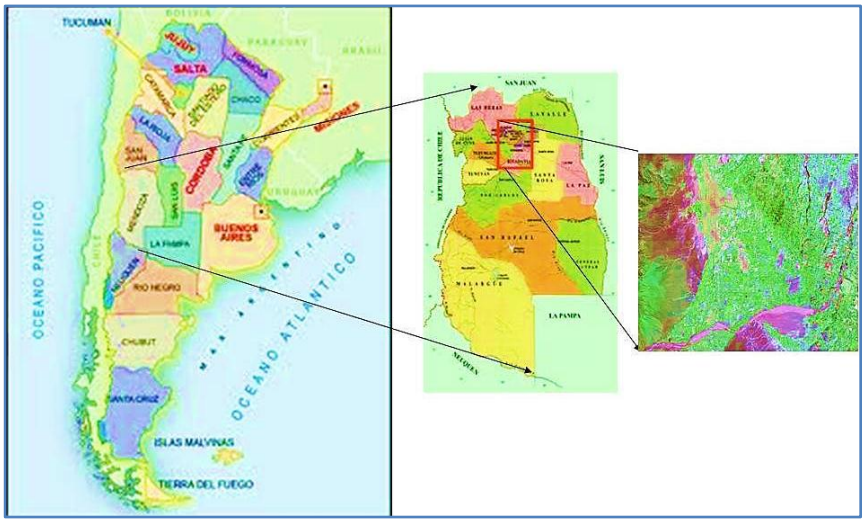


Fig.1. Área de estudio. Elaboración propia.

1.1 Objetivo general: Estudiar la dinámica de la expansión urbana en ecosistemas frágiles de la región semiárida de la provincia de Mendoza, en relación al impacto sobre las diversas formaciones vegetales originales (particularmente monte) y a variables físicas (procesos erosivos), evaluando el impacto que el hombre le infiere al ecosistema natural, a partir del empleo de Tecnologías Espaciales, Análisis Espacial y Temporal dentro de un SIG.

1.3 Objetivos específicos propuestos consisten en:

- Generación de cartografía temática de coberturas y usos del suelo (especialmente urbanos) a partir de técnicas de interpretación visual y PDI (años 1973, 1986, 1999 y 2008);
- Reconocimiento y análisis de la variación espacial y temporal de las coladas lodo y detritos en piedemonte.
- Evaluación de las tendencias de cambio de los usos urbanos (años 1973 a 2008);
- Análisis espacial de resultados
- Difusión de resultados

2 Materiales y Métodos

2.1 Materiales

2.1.1. Imágenes satelitales Landsat:

1) Sensor MSS Multiespectral (4 bandas) . Año1973;
2) Sensor TM. Multiespectral (7 bandas), Años1986, 1999 y 2008;

2.1.2 Programas informáticos especializados

3) 1) Erdas Imagine Professional. Versión 9.1
4) 2) ArcView 3.3.

2.2 Método

La metodología se representó a través de un diseño que permitió implementar e interrelacionar técnicas de Procesamiento Digital e Interpretación visual de Imágenes de satélite y de análisis espacial (figura 2). El proceso comenzó con una selección de variables e identificadores bióticos, físicos y antrópicos a partir de las resoluciones espectrales, espaciales, radiométricas y temporales de las mismas, con el posterior análisis espacio-temporal de los resultados obtenidos, a partir de un Sistema de Información Geográfica (SIG). Como síntesis del objetivo planteado, se diseñó el siguiente flujo metodológico

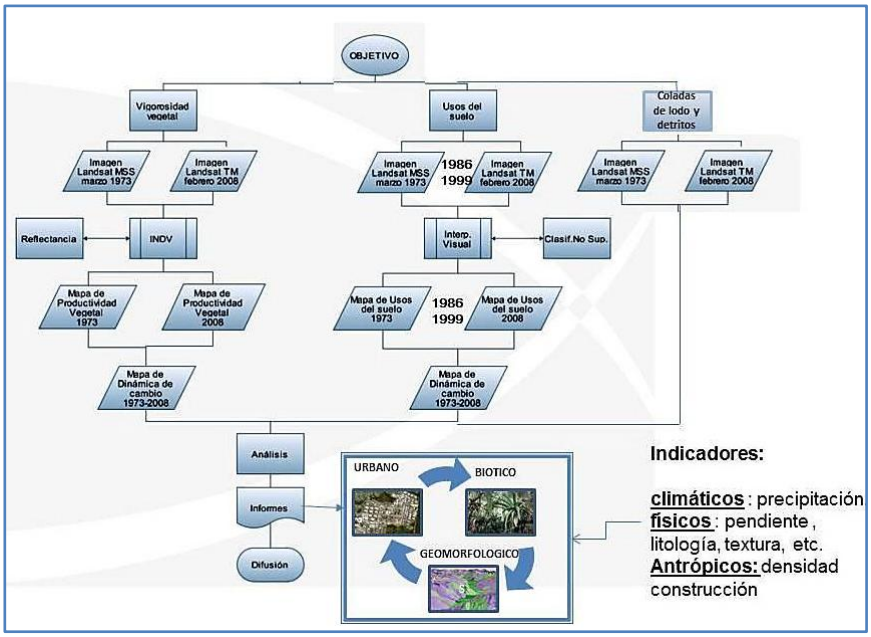


Fig.2. Flujo metodológico-. Elaboración propia

La metodología se segmentó en 3 grandes etapas:

2.2.1 Recopilación y evaluación de la información

En esta primera etapa del proyecto se realizaron contactos con distintas entidades oficiales (nacionales y provinciales) con miras a la obtención de información digital acorde al proyecto, para comenzar a desarrollar el proyecto. Entre los organismos que cordialmente dieron respuesta a esta solicitud, se puede mencionar a la oficina de Geoinformación de la Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable (SAyDS); al Centro Científico Tecnológico (CCT) Mendoza a través del instituto IANIGLA; al servidor público de imágenes satelitales Global Land Cover Facility (www. glcf.umd.edu) y finalmente a la donación de imágenes satelitales de la provincia de mendoza (año 2008) obtenidas de la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE), a través de un convenio de cooperación establecido con la Universidad Maza.

2.2.2 Preprocesamiento digital.

Una vez recolectada toda la información, se realizó una evaluación de la calidad radiométrica, geométrica, espectral, temporal y espacial de las imágenes obtenidas. para cada una de las bandas utilizadas. En el caso de las características radiométricas

de las imágenes, se identificaron y corrigieron errores sistemáticos propios del sensor, del tipo ”noise o ruido” y/o “bandeamiento o stripping. En cuanto a los errores de tipo geométricos (inherentes al tipo de geoposicionamiento involucrado al momento de adquisición de las imágenes satelitales), se procedió a la asignación de coordenadas de tipo planiméticas a través del proceso de georreferenciación, siguiendo los parámetros del Sistema de Posicionamiento Geodésico Argentino (POSGAR. Con objeto de poder analizar multitemporalmente los resultados temáticos resultantes, se determinó un error medio cuadrático (RMS) de 0.5 pixeles, para evitar ambivalencias espaciales y de interpretación temática. Una vez finalizada esta actividad, se elaboró una base de datos de almacenamiento de la información procesada,según formatos, procesos operativos y procedencia.

2.2.3 Procesamiento temático de la información

En esta etapa se realizó un análisis visual del área de trabajo para probar los alcances de la metodología y se procedió a comenzar la etapa del tratamiento digital inicial de las imágenes enfocada a aspectos de cobertura vegetal [1],[2],[3] a través de la ejecución de los dos principales procesos:

2.2.3.1 Interpretación visual de la cobertura, usos del suelo y de coladas de lodo y detritos

Como segunda etapa se realizó una interpretación visual de la cobertura y usos del suelo (especialmente urbanos) correspondientes a los años 1973, 1986, 1999 y 2008. Para ello se elaboró una leyenda preliminar basada en una escala cartográfica de trabajo consistente con el objetivo del proyecto (figura 3), enfocado a grandes regiones, por lo que se decidió trabajar en un nivel de reconocimiento (1:250.000).

Se comenzó esta etapa con una evaluación visual del patrón picto-morfológico que caracteriza cada tipo de cobertura y/ uso del suelo. Por ejemplo en áreas construidas, caracterizadas por los tonos claros de las proveniente de las construcciones, el patrón lineal dado por la delimitación de las calles y arterias principales, los canales de riego, la arboleda circundando las manzanas y las plazas simétricamente dispuestas a lo largo y ancho de las ciudades. Se delimitaron coberturas correspondiente a una superficie mínima de 0.25 cm^2, con especial énfasis en los usos urbanos. Esto se realizó con miras a identificar (y posteriormente analizar de manera temporal), el corrimiento de la frontera urbana y suburbana sobre áreas naturales tales como el monte

Cobertura/Uso	Tipo	Descripción	Color
Rural	Agrícola	Áreas cubiertas con un 75% o más de cultivos (anuales, permanentes, etc.)	
Mixta	Agrícola-Suburbana	Área predominantemente agrícola pero con una fuerte presencia (no uniforme) de construcciones con distintos usos (residenciales, equipamiento, infraestructura, etc.)	
Secano	Monte	Vegetación arbustiva	
Construcciones	Urbano	Áreas construidas consolidadas, densas	
	Suburbano	Áreas construidas no consolidadazas, baja a media densidad	
Cuerpos de Agua	Río	Cuerpo de agua natural	
	Dique	Cuerpo de agua confinado, artificial	
Eriales	Suelos salinos	Suelos con afloramientos de salitre en áreas no irrigadas	
	Rocoso	Suelos con afloramientos rocosos en áreas de precordillera	

Fig.3. Leyenda de cobertura y usos del suelo. Elaboración propia

En cuanto a las coberturas naturales, como el monte, se patronó con base a la ubicación dentro de la zona rural y/o secano y a su textura mediana y tonos medios a oscuros. Este patronamiento facilitó comenzar con la siguiente actividad que fue la digitalización sobre pantalla y permitió paralelamente, realizar una correcta delimitación de las categorías a interpretar (figura 4).

Fig.4. Patrón visual y caracterización radiométricas utilizada. Elaboración propia

En cuanto a la interpretación geomorfológica, se patronaron las coladas de lodo y detritus según las características visuales correspondientes a su litología, estructura y geomorfología (generalmente representados por suelo descubierto o con escasa cobertura vegetal, con pendientes moderadas y un patrón de drenaje divergente (figura 5).

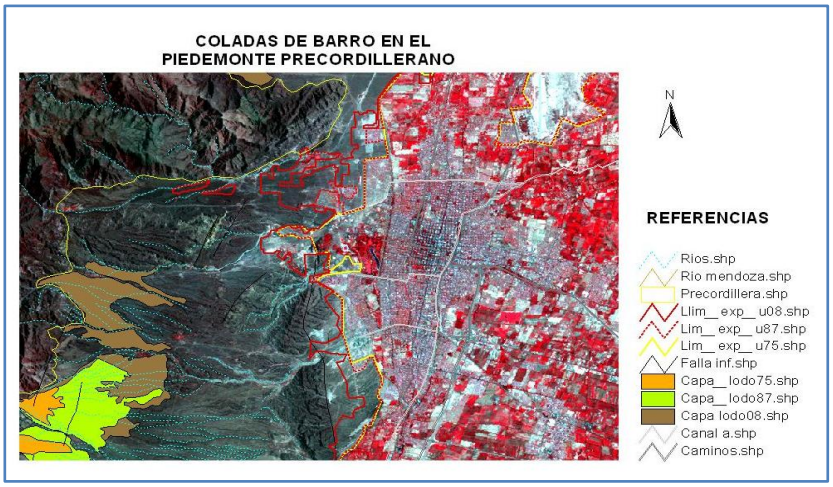


Fig. 5. Interpretación visual de flujo de lodo. Elaboración propia.

2.2.3.2. Análisis mutitemporal basado en los usos urbanos y coladas de lodo y detritos

El análisis multitemporal de imágenes de satélite, comúnmente denominado dinámica o detección de cambios [1], [4], [5], [6], [7], [8]. [9], permitió analizar los cambios producidos entre 4 fechas diferentes partir de la presencia de los usos del suelo, la cobertura natural y de la geomorfología (figura 6). Este proceso ha sido muy importante para evaluar donde y porque ocurrieron cambios significativos sobre áreas intervenidas por el hombre y en áreas propias de secano [10]. El análisis se apoyó en ArcView, determinando las áreas de cambio en la cobertura o usos del suelo presente en las fechas analizadas y calculando la superficie de cambio.

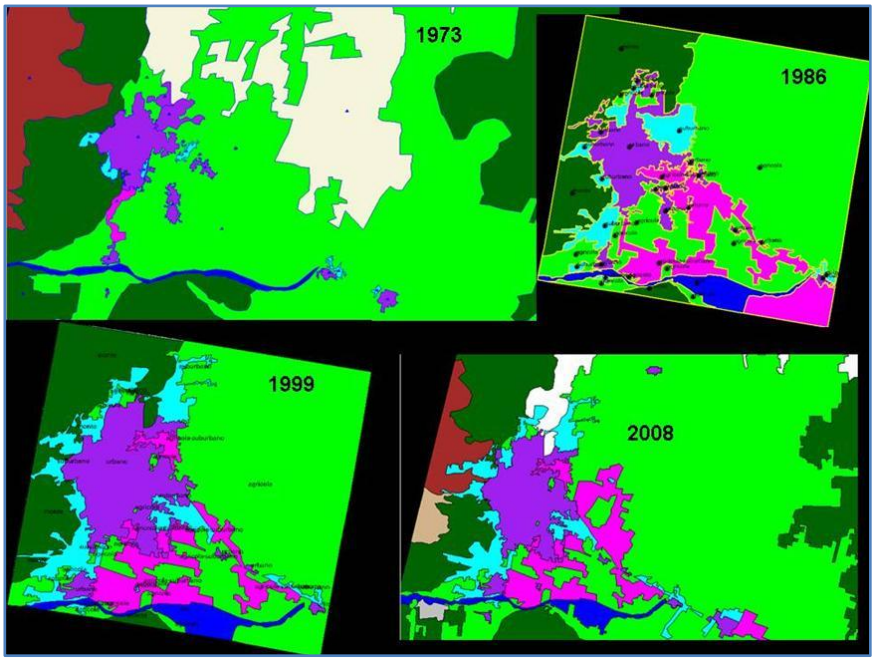


Fig. 6. Mapas de usos urbanos (años 1973, 1986, 1999 y 2008)- Elaboración propia

2 Resultados

Los resultados arrojaron una dinámica en cuanto a la superficie efectivamente ocupada entre los años 1973 y 2008, con el siguiente detalle: un incremento de la superficie destinada a los usos urbanos en 10035 ha (2.03 % del área estudiada); en usos suburbanos en 9771 ha. (1.98%), la aparición de un nuevo tipo de uso conformado por la presencia muy entremezclada de áreas agrícolas y asentamientos humanos, ocupando una superficie total de 25199 ha, (5.1%).

Paralelamente se observó una disminución marcada en las áreas de piedemonte (con cobertura arbustivas predominantes) de 9771ha. (20.28%), la cual fue ocupada con nuevas urbanizaciones dispersas, (particularmente en las zonas centro-oeste y suroeste de la región del Gran Mendoza) asi como en los suelos salinos, con una disminución de la superficie de 134751 ha (27.28%), la cual fue reemplazada por nuevas áreas agrícolas (principalmente con plantaciones de olivos, frutales y viñedos). Finalmente se observó la aparición de conos aluviales y detritos en zonas sumamente frágiles del piedemonte, como indicadores de un incremento en el régimen pluvial (figura 7).

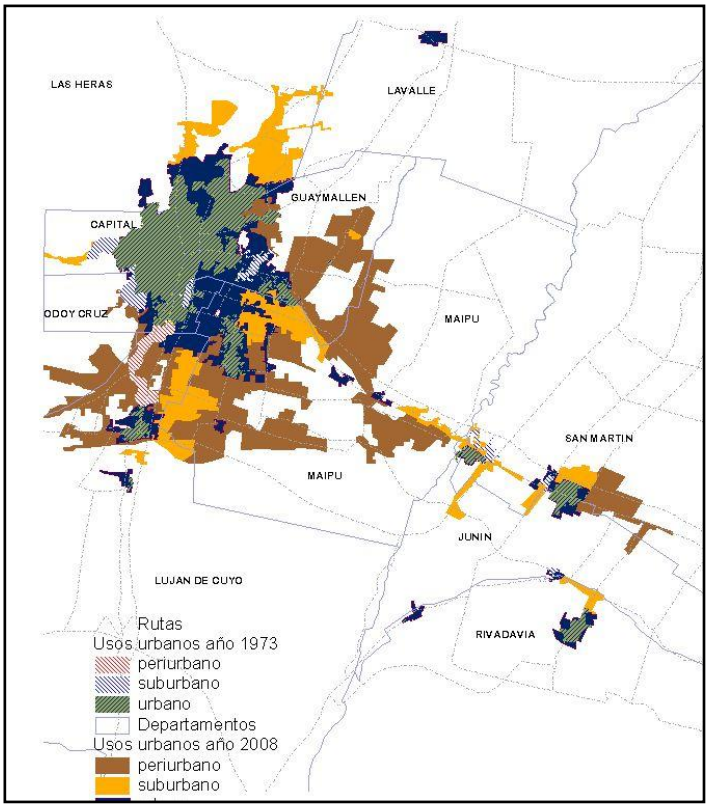


Fig.7. Dinámica de cambio en los usos urbanos (años 1973 y 2008). Elaboración propia.

3 Conclusiones

1. Por un lado la implementación de las técnicas de aplicación de productos derivados de sensores remotos permitieron correlacionar de manera efectiva entre las variables estudiadas.
2. Aunque se evidenció una fuerte expansión en los usos urbanos, también se observó, con gran preocupación, que las nuevas áreas de asentamientos urbanos están reemplazando ecosistemas frágiles como lo constituye el piedemonte mendocino y las zonas agrícolas tradicionales, de gran productividad edafológica y económica para el sector social que lo compone.
3. Acompañando a los resultados logrados, el proyecto continuará una segunda etapa donde se modelizará la distribución probabilística del monte frente a variables de cambio climático global para evaluar el impacto colateral que sufre este ecosistema frente a la fuerte intervención humana

4 Bibliografía

1. Lillesand, T.M. y Kieffer, R.W. Remote Sensing and image interpretation – fourth edition. New York. Wiley. (2006).
2. Jensen, J. R. Introductory Digital Image Processing. Prentice Hall. Engewood Cliffs, New Jersey- (2006)
3. Chuvieco, E. El ambiente desde el espacio. Fundamentos de teledetección. Ediciones RIAL, S.A. Madrid, España. 4ª. Edición.. (2006)
4. Im, j. and Jensen, J. R. Change Detection Using Correlation Analysis and Decision Tree Classification. Remote Sensing of Environment, 99:326-340. (2005)
5. Jensen, j. R., Cowen, d. J., Narumalani, s., Althausen, j. D., & Weatherbee, O. An evaluation of CoastWatch change detection protocol in South Carolina. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 59(6),1039– 1046.(1993)
6. Chuvieco, E. El factor temporal en teledetección: evolución fenomenológica y análisis e cambios. Madrid. Revista de Teledetección. Nº 10. Diciembre de 1998. En: http://telenet.uva.es/promotores/revista/revista_10/AET10_4.pdf. (1998)
7.Lunetta, R. S., & Elvidge, C. Remote sensing change detection: Environmental monitoring methods and applications. New York' Taylor.and Francis. 340 pp. (2000).
8. Ridd, M. K., & Liu, J. A comparison of four algorithms for change detection in an urban environment. Remote Sensing of Environment, 63, 95– 100.(1998)
9. Salvatierra, H. C. Análisis espacio-temporal y modelización predictiva de la cobertura vegetal natural en los ecosistemas del departamento de Malargüe (Mendoza, argentina), frente al cambio climático global. Ed. Fac. Filosofía y Letras. UNCuyo. En Prensa. (2013).
10. Salvatierra, H.C. Geotecnologías para la detección de cambios en la frontera agrícola, pecuaria y forestal en ámbitos con fragilidad socioeconómica En: CEPPARO, M. E. et Al. Rasgos de Marginalidad. Diferentes Enfoques y aportes para Abordar su problemática. Malargüe un ejemplo motivador. Ed. Facultad de Filosofía y Letras. Universidad Nacional de Cuyo. pp.137-153 .(2010).

ÁREA

VII EnIDI

ENERGÍA, AMBIENTE Y PETRÓLEO

RESÚMENES

Medición de Niveles de Campos Electromagnéticos en Líneas de Alta Tensión de 132k Kv en la Ciudad de Mendoza

Roberto Gómez Girini[2] , Ernesto Gandolfo Raso[1], Luis Rogelio Álvarez[2],
Graciela René López[2], Jorge Félix Fernández[2]
[1]Departamento de Ciencias Básicas, Facultad Regional Mendoza,
Universidad Tecnológica Nacional,
Rodriguez 273, 5500 Ciudad, Argentina
[2]Instituto Regional de Estudio Sobre Energía – IRESE, Facultad Regional Mendoza
Universidad Tecnológica Nacional, Rodriguez 273, 5500 Ciudad, Argentina
gomezgirini@speedy.com.ar , egandolfo@frm.utn.edu.ar ; energia.irese@frm.utn.edu.ar,
alvarez.irese@frm.utn.edu.ar , fernandez.irese@frm.utn.edu.ar

Resumen. La Argentina, en los últimos diez años, ha experimentado una demanda de energía eléctrica importante con un incremento sostenido sobre todo en la ciudad de Mendoza. Frente al marcado incremento de la potencia consumida, surge un gran interrogante de interés para la sociedad en su conjunto, como lo son los niveles de campo electromagnético generados por las redes de energía, que transportan y distribuyen la energía a los centros de consumo.
Los medios de información y el debate científico en curso han alimentado la preocupación por la posibilidad de que la exposición a campos electromagnéticos de baja frecuencia (50/60 Hz) pueda estar relacionada con un efecto biológico, como todo cambio mensurable de algún factor orgánico que puede o no relacionarse con la salud.
Este trabajo propone comparar los valores de campo electromagnético de 50 Hz registrados en la franja de servidumbre de una línea de alta tensión de 132 kV, medidos con los límites establecidos por la normativa nacional, según la Resolución N° 77/98 de la Secretaría de Energía para líneas de transporte de energía. Además, se comparan valores obtenidos mediante simulación computacional para completar el estudio.

Palabras clave. Línea de alta tensión, campo electromagnético, simulación computacional.

Estudio de la Influencia de la Erosión en Ríos Secos de la Provincia de Mendoza sobre la Infraestructura de Puentes y Alcantarillas – Desarrollo de Medidas de Mitigación. Segunda Etapa

Patricia Susana Infante[1] , Luis Enrique Guisasola[1], Luis María Magistocchi[1], Sara Rodriguez[1], Vícto Hugo Burgos[2], Javier Andrés Zamorano[1], Jennifer Lara Delgado[1], Rodrigo Alberto Hidalgo[2], Cristian Germán Giorgio[2]

[1] Instituto de Hidráulica, Facultad de Ingeniería, UNCuyo, Centro Universitario, Ciudad, Mendoza, Argentina
pinfante@fing.uncu.edu.ar, lguisasola@fing.uncu.edu.ar

[2] Departamento de Ingeniería Civil, Facultad Regional Mendoza, UTN, Rodriguez 273, Ciudad, Mendoza, Argentina
vhburgos@yahoo.com.ar, ing.hidalgo@live.com.ar

Resumen. El propósito de este estudio incluye el monitoreo de la acción erosiva en el Arroyo Chañares Errados, en su intercepción con la RN40. También incluye el estudio de la dinámica natural del comportamiento de los lechos móviles y la modificación de la misma debido a las explotaciones y extracciones de áridos cercanas. Y por último, proponer medidas de mitigación, y los planes de mantenimiento y monitoreo de las mismas, a fin de prevenir las consecuencias negativas devenidas de la alteración de las hipótesis de funcionamiento de las estructuras de las obras de arte y de la erosión regresiva; lo que también implica el diseño de medidas y recomendaciones para eventuales extracciones de áridos y materiales pétreos en los arroyos secos. La metodología utilizada incluye el estudio conceptual del problema, el estudio de modelos matemáticos aplicables y el desarrollo experimental en modelo a escala física en la Canaleta del Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería de la dinámica de la erosión con y sin obra de arte. El resultado obtenido es la descripción de la dinámica torrencial del comportamiento de los lechos móviles de los ríos secos pedemontanos y su interacción sobre estructuras físicas existentes.

Palabras Clave: erosión, infraestructura, crecidas aluvionales, medidas de mitigación, arroyos secos.

Evaluación de Distintos Fluidos Térmicos para Mejorar el Rendimiento de Cocinas Solares a Implementarse en la Escuela Albergue de La Jaula, San Carlos

Mariel Renna Jozami[a], Facundo Games[a] y M.C. Gardey Merino[a]

[a]CLIOPE, Facultad Regional Mendoza, Argentina
marielrenna@gmail.com
facundogames@gmail.com
mcgardey@frm.utn.edu.ar

Resumen. En la escuela albergue "Yapeyú" de La Jaula, San Carlos, se plantea la necesidad de contar con dispositivos que utilicen energías renovables e inagotables tales como paneles fotovoltaicos, aerogeneradores y cocinas solares, ya que no tiene acceso a los servicios de red. En el presente trabajo se considera la construcción de una cocina solar tipo caja que utiliza un fluido térmico como medio de almacenamiento de energía para su posterior aprovechamiento en horas nocturnas. El recipiente de cocción consta de dos ollas concéntricas entre medio de las cuales se encuentra dicho medio. Aquí se compararán dos tipos, PCM (Phase Change Material) y nanofluidos. Dentro de los primeros se estudiarán el ácido esteárico y el nitrato de magnesio hexahidratado, mientras que del segundo, nanoalúmina/agua. El objetivo es determinar cuál de ellos proporcionará un mejor rendimiento, que será medido en función del tiempo de conservación de la energía y la cantidad de la misma. Para esto se empleará una cocina solar ya construida en el grupo CLIOPE, en la cual se llevará a cabo la experimentación con un kilogramo de agua y la instrumentación adecuada.

Palabras Clave: cocina solar tipo caja; fluido térmico; ácido esteárico; nitrato de magnesio hexahidratado; nanoalúmina.

Identificación de Parámetros Geológicos para la Zonificación de Eventos Aluvionales en Mendoza

Tamara Arce [a], Estefanía Castañón [a], Leonardo Peñas [a], Héctor Cisneros [a, b, c], María N. Ahumada [a]

a Facultad de Ingeniería, Universidad Juan A. Maza, Mendoza, Argentina
cisneros@unsl.edu.ar

b Departamento de Geología, Universidad Nacional de San Luis, Argentina

c Departamento de Geografía, Universidad Nacional de Cuyo, Argentina

Resumen. El proyecto pretende efectuar un avance en la prevención de los efectos negativos que podría generar un proceso de flujo de alta densidad en el sector sur del gran Mendoza. Ésta se caracteriza por ser una zona de alto riesgo aluvional, con una alta concentración urbana y con la presencia de eventos destructivos pasados que marcaron su historia y cambiaron radicalmente su constitución y concepción urbanística y social, lo cual fundamenta la necesidad de identificar las áreas potencialmente de mayor riesgo y la de contar con una planificación para la prevención de los efectos de eventos aluvionales.

La vinculación entre el ordenamiento territorial y la planificación para la reducción del riesgo aluvional se realiza debido a que, si bien es cierto que los procesos hídricos destructivos acompañan al hombre desde sus albores, el advenimiento de la expansión urbana en todo el mundo con el incremento demográfico como también el éxodo del campo a las ciudades son elementos sociales que han incrementado las consecuencias de estos fenómenos. Para ello, se presentará cartografía SIG tendiente a la identificación, jerarquización y planificación medioambiental, y un plan de mitigación ante estos fenómenos, utilizando diferentes técnicas de clasificación y procesamiento digital de imágenes satelitales actuales.

Palabras Clave: Historia ambiental, historia climática, riesgos naturales, peligros geológicos, Mendoza, piedemonte, gestión ambiental

Estudios Preliminares de Factibilidad Técnica de la Biorremediación de Suelos Contaminados con Hidrocarburos Mediante la Aplicación de Hongo Basidiomiceto

Stela Maris da Silva[a], Gabriela Ohanian[a], Ignacio Costa[a], Daniela Fernandez[a], Cecilia Gallardo[a], Ailén Rojos Fernández[a]

[a] Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza, Calle Rodriguez 273, 5500, Mendoza, Argentina.
smdsil08@yahoo.com.ar

Resumen. El petróleo es una mezcla compleja de diferentes hidrocarburos alifáticos y aromáticos, algunos con propiedades cancerígenas y mutagénicas, altamente tóxicos para el ambiente. Los hidrocarburos de varios anillos aromáticos HAPs, son considerados Compuestos Orgánicos Persistentes (COPs), siendo difíciles de degradar y permaneciendo en el medio ambiente durante largos periodos de tiempo, sin alterar sus propiedades tóxicas. La comparación entre las varias metodologías de tratamiento de suelos contaminados con los productos de la industria del petróleo, indica que la biorremediación permanece como una técnica ambientalmente adecuada. El objetivo del estudio fue realizar ensayos de descontaminación de suelos con HAPs, aplicando el hongo basidiomiceto del género pleurotus, cepa PSC01, como alternativa de saneamiento biológico. Los ensayos realizados mostraron los siguientes porcentajes de degradación: fenantreno 98,3%, naftaleno 89,8%, criceno 72 % y pireno 47,4%, al largo de 1 año de estudio. Estos resultados permitieron la realización de un proyecto a escala piloto (operativa), así como el estudio de la factibilidad técnica de aplicar esta tecnología "in situ", junto con el diseño ingenieril del tratamiento, que actualmente se encuentra en la etapa final de los análisis de resultados obtenidos.

Palabras Clave: Hidrocarburos aromáticos policíclicos, biorremediación, hongo basidiomiceto.

Evaluación de Pasivos Ambientales en Suelos Afectados a Actividades Petroleras

Aldo Luis Trillini, Susana Llamas, Irma Teresa Mercante, Walter Cruz, María Belén Guevara, Clarisa Alejandrino,

[a] Centro de Estudios de Ingeniería de Residuos Sólidos (CEIRS), Instituto de Medio Ambiente. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo, Centro Universitario (M5502JMA), Ciudad de Mendoza, Argentina
atrillini@fing.uncu.edu.ar

Resumen. Entre los pasivos ambientales de la actividad petrolera se encuentran las viejas piletas de perforación situadas en antiguas locaciones. En su interior pueden contener lodos, petróleo en diferentes estados de degradación y otros elementos. Se propuso desarrollar un protocolo que permita una cuantificación o caracterización de dichos pasivos.
El objetivo del trabajo es establecer lineamientos sistemáticos para abordar la caracterización y evaluación de los pasivos mencionados, que permitan definir el tipo de intervención necesaria para su recuperación.
La metodología propuesta requirió un trabajo en etapas. Se inició con una investigación exploratoria, posteriormente se elaboró un modelo conceptual preliminar del sitio que consistió en la identificación de todas las muestras que exhibieron presencia de los contaminantes de interés, las rutas de transporte, las vías de exposición on site y off site e identificación de los posibles receptores. Finalmente se realizó una investigación detallada de cada sitio para determinar la naturaleza, concentración y extensión de la contaminación.
Se desarrolló un protocolo cuya aplicación sistemática en dos locaciones, permite realizar una caracterización completa y confiable de los pasivos de la actividad petrolera. Los resultados de la aplicación del protocolo se utilizaran para la implementación de medidas de intervención específicas en cada sitio.

Palabras Clave: Contaminación, suelo, hidrocarburos, caracterización, riesgo.

Evaluación Técnica de Sistemas Híbridos de Energía en Zona Aislada de la Red

Andrea Rivarola[a,b], Denis Caniglia[a], Mariela Lescano[a]

[a]CLIOPE "Energía, Medioambiente y Desarrollo Sustentable"
Facultad Regional Mendoza – Universidad Tecnológica Nacional
[b] INTI, Instituto Nacional de Tecnología Industrial - Mendoza
"Laboratorio de Energía Eólica"
andreari@frm.utn.edu.ar

Resumen. El proyecto consiste en la evaluación de sistemas híbridos de energía en una escuela albergue rural, ubicada en la zona de La Jaula, San Carlos, Mendoza. Actualmente, el sitio no cuenta con acceso a la red eléctrica convencional y se abastece de energía eléctrica durante 4 horas al día, mediante grupos electrógenos, además emplea un zepelín de gas y paneles fotovoltaicos.

El objetivo principal de este proyecto es la evaluación técnica de un sistema híbrido que resulte de la combinación: eólico- fotovoltaico- generador. Para el mismo es necesario contar con datos del recurso eólico, solar y la demanda energética del lugar. En cuanto al recurso eólico se ha instalado una torre de medición que proporcionará estos datos.

De la experiencia de proyectos similares, en Argentina y en el mundo, se concluye que HOMER, es el software libre y gratuito más utilizado para el DIMENSIONAMIENTO TEÓRICO EFICIENTE de un sistema híbrido, ofreciendo éste una amplia variedad de combinaciones posibles. Posteriormente se deben corroborar los datos con el software HYBRID2.

Este análisis permitirá contar con una evaluación técnica preliminar del funcionamiento de sistemas híbridos en La Jaula, tendiente a una optimización energética de los actuales y futuros recursos disponibles.

Palabras Clave: sistema híbrido, energías renovables, HOMER, HYBRID2.

Análisis de Sistemas de Cosecha y Concentración de Microalgas Destinadas a Biocombustibles

Marta Anahí Fonollá[a], Carolina Belén García[a,b], Jorge Barón[a], Stela Maris da Silva[a], Guillermo Gandía[a]

[a] Grupo a-Oil. Institutos Multidisciplinarios (IMD), Espacio de la Ciencia y la Tecnología (ECT), Universidad Nacional de Cuyo, Centro Universitario 5502, Tel: 0261-4135000, ext. 2100/2122. Mendoza, Argentina.
anahi.fonolla@yahoo.com; carobeleng@gmail.com; jbaron@fing.uncu.edu.ar; sdasilva@fca.uncu.edu.ar; guillermogandia@hotmail.com.

[b] CONICET.

Resumen. En la actualidad, la producción de combustibles de tercera generación es demasiado costosa. La generación de bioproductos a partir de sistemas de cultivos de microalgas es económicamente competitiva para aplicaciones de alto valor, tales como suplementos alimenticios. La clave de las tecnologías para la producción de biocombustibles a partir de microalgas incluye, no sólo la identificación y elección de las condiciones óptimas de cultivo para la obtención de elevadas productividades, sino también el desarrollo efectivo y eficiente de sistemas de cultivo, técnicas de cosecha-concentración de biomasa microalgal y metodologías de extracción de aceites destinados a biodiesel. El criterio utilizado para la selección y utilización de metodologías obedece directamente a objetivos particulares de cultivo (con enfoques tanto técnico-operativos como económicos) y a los recursos que se posean. El presente trabajo se enfoca en la comparación y puesta a punto de diferentes sistemas de *harvesting* (cosecha y concentración) de microalgas. Muchas técnicas se han propuesto a tal fin, tales como centrifugación, floculación, filtración, flotación, ultrasonido, ajuste del pH y electrólisis. El objetivo general es analizar la eficiencia de cada uno de los métodos, de forma individual o combinados, en términos de gasto energético y factores de reducción. Se prevé, mediante experimentaciones posteriores, diseñar un sistema de cosecha adecuado a las relaciones costo-beneficio y aplicable a escala industrial, a fin de reducir los costos de producción de biocombustibles a partir de microalgas.

Palabras Clave: microalgas, biocombustibles, harvesting.

Generación de Biogás Mediante Digestión Anaeróbica de Biomasa Microalgal

Carolina Belén García [a,d], María Elisa Indiveri [a,b], María Florencia Codina [a,d], Carina Maroto [b,c], Nehuén Angileri [c], Marta Anahí Fonollá [a], Susana Llamas [b], Jorge Barón [a], Stela Maris da Silva [a], Guillermo Gandía [a]

[a] Grupo a-Oil. Institutos Multidisciplinarios (IMD), Espacio de la Ciencia y la Tecnología (ECT), Universidad Nacional de Cuyo, Centro Universitario 5502, Tel: 0261-4135000, ext. 2100/2122. Mendoza, Argentina.

[b] Centro de Estudios de Ingeniería en residuos Sólidos – Instituto de Medio Ambiente – Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional de Cuyo – Centro Universitario, 5500, Mendoza, Argentina. elisaindiveri@gmail.com

[c] Instituto de Energía – Institutos Multisdisciplinarios, Espacio de la Ciencia y la Tecnología, Universidad Nacional de Cuyo - Centro Universitario, 5500, Mendoza, Argentina.

[d] CONICET. carobeleng@gmail.com

Resumen. El presente trabajo aborda el estudio de la factibilidad técnica-operativa de la producción de biogás mediante la digestión anaeróbica de biomasa microalgal. Se pretende generar un ciclo cerrado en la elaboración de biocombustibles (biodiesel a partir de microalgas) mediante la utilización y aprovechamiento energético integral de biomasa generada. Estos objetivos se enfocan en la necesidad de desarrollar mecanismos eficientes para la producción sustentable de biocombustibles que permitan, además, la mitigación de gases de efecto invernadero. En este sentido, la generación y aprovechamiento del biogás provee un medio biotecnológico ideal para la captura de dióxido de carbono a través del metabolismo fotosintético de las microalgas. Mediante la digestión en reactores anaeróbicos a pequeña escala (4L) en condiciones mesofílicas, se estudió la utilización de biomasa microalgal tanto fresca como seca, como así también pre y post extracción de lípidos. Además, se adicionó como cosustrato glicerina, proveniente de la elaboración de biodiesel, a fin de mejorar el desempeño de la reacción y darle un destino a un coproducto que, hasta el momento, es solo un residuo. Se llevó a cabo la valoración cuanti-cualitativa del biogás obtenido y estudios del grado de decontaminación que sufre la biomasa tratada, a fin de expresar el potencial energético de este sistema productivo. En base a los resultados obtenidos, pudo comprobarse la factibilidad de generación de biogás mediante la degradación anaeróbica de la biomasa microalgal. Se prevé realizar estudios con ajuste de parámetros a mayor escala en simultáneo a estudios de factibilidad económica.

Palabras Clave: digestión anaeróbica, biomasa microalgal, glicerina, biogás.

Generación Distribuida con Energía Fotovoltaica en el Área Metropolitana de Mendoza

Alejandro Pablo Arena[a], Germán Rodolfo Henderson[a], Leandro Panella[b], Raúl Cantaloube[a], Mario Martínez [d], Carlos Bello[b], Julián Enrique Catalá[a], Alberto Salassa[c],

[a] Grupo CLIOPE – Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Mendoza
aparena@frm.utn.edu.ar, gr.henderson@outlook.com, raulcantaloube@yahoo.com.ar, julcatala.15@gmail.com

[b] DIDEME – Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Mendoza
lean_panella@hotmail.com, cab@frm.utn.edu.ar

[c] Maestría en Desarrollo Sustentable del Hábitat Humano – Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Mendoza
salassaae@gmail.com,

[d] Departamento de Ingeniería Electromecánica – Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Mendoza
mario.martinez@impsa.com

Resumen. Una gran parte del consumo eléctrico mundial se encuentra en las áreas urbanas. La oferta de esta energía proviene fundamentalmente de fuentes fósiles, con los consiguientes inconvenientes relacionados con el agotamiento, y las externalidades negativas originadas. Las fuentes energéticas renovables ofrecen una alternativa interesante, preservando las fuentes agotables, y disminuyendo las emisiones durante la fase de uso. Sin embargo, su intermitencia y su baja densidad energética pone nuevos desafíos, y requiere de grandes superficies para poder satisfacer la demanda. La generación distribuida (GD) conectada a la red eléctrica soluciona en parte estos inconvenientes al aprovechar espacio ya utilizado por la ocupación de los edificios. De este modo la generación se realiza en el sitio del consumo, y se pueden comercializar los excesos y déficit de producción eléctrica a través de la red de distribución. Sin embargo, restan por resolver distintos aspectos técnicos y regulatorios, y se deben encontrar respuestas objetivas a los aspectos ambientales que se intentan resolver. En el presente proyecto se realiza un estudio integral que aborda las distintas aristas de la problemática planteada. El proyecto incluye la instalación de un sistema fotovoltaico para la GD con fines demostrativos y de investigación, integrado arquitectónicamente al edificio principal de la Facultad Regional Mendoza, buscando una doble función como elemento bloqueador de la radiación solar incidente durante los meses estivos en aulas orientadas al ecuador. Para su realización se han utilizado herramientas de cálculo de protecciones eléctricas y software de diseño para la instalación mecánica, con regulación del ángulo de inclinación según la estación. El proyecto incluye la medición de variables que permitan monitorear el desempeño del sistema, como la radiación solar incidente, tensión, corriente, energía, etc. Se espera de este modo poner a disposición un sistema que estimule la resolución de distintas barrearas que hoy se encuentran para la difusión de esta tecnología, y concientizar a toda la sociedad universitaria y visitantes de la FRM. Este proyecto se encuentra actualmente en su fase de instalación.

Palabras Clave: Energía eléctrica; Generación distribuida; Fotovoltaico, impacto ambiental.

Proyecto de Red de Agua Potable para Colonia Molina, Distrito Colonia Segovia, Guaymallén, Mendoza

Edgardo Ghellinaza [a] , Jeremías Rojo [b], Bruno Ferraris', Germán Simaris, Florencia Rodriguez, Pablo Humar, Manuel Canillas, Emiliano Giordano

[a] Jefe de Trabajos Práctios Cátedra Ingeniería Sanitaria, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo
Centro Universitario, Parque Gral. San Martín, Mendoza, Argentina
eghellinaza@aysam.com.ar, eghellinaza@fing.uncu.edu.ar

[b] CEIRS, Centro Universitario,Facultad de Ingeniería. Tel:+54 (261) 4135000 Int. 2142
CC 405, Mendoza Argentina
rojojeremías@gmail.com

Resumen. Desde hace años, la Secretaría de Desarrollo Institucional de la Universidad Nacional de Cuyo, con la ONG ENGIM asisten a la Asociación San Cayetano en emprendimientos productivos y sociales. Esta Asociación agrupa a vecinos de Colonia Molina, del distrito Colonia Segovia en Guaymallén, Mendoza.

En 2011 esa Secretaría lanzó la convocatoria a especialistas en ingeniería sanitaria de la Universidad que quisieran colaborar en la elaboración de un proyecto de abastecimiento de agua potable para esa localidad, ya que la misma, a pesar de estar a escasos kilómetros de la ciudad de Mendoza, no cuenta con agua potable. Emplea agua de pozos poco profundos contaminados con el Canal Pescara.

La cátedra de Ingeniería Sanitaria de la Facultad de Ingeniería, dependiente de la Universidad Nacional de Cuyo respondió esa solicitud, y entre agosto de 2011 y marzo de 2012, un grupo de alumnos bajo la supervisión docente de la cátedra elaboró un proyecto integral de abastecimiento de agua potable a la localidad.

Este proyecto tuvo una doble finalidad: cumplir con requerimientos académicos de la cátedra en la elaboración por los alumnos de un proyecto de red de agua potable, y un fin social, para cubrir necesidades básicas de una localidad con más de 3.000 habitantes, con escuelas, centros de salud y salones comunitarios.

El proyecto incluyó el diseño, cálculo, dibujo y elaboración de cómputos y presupuestos de un sistema completo que incluye reservas, desinfección, estación de bombeo y redes. Todo de acuerdo a requerimientos de entes internacionales (OMS), nacionales (ENOHSA) y provinciales (EPAS).

El resultado de este trabajo, sin antecedentes conocidos, tuvo importantes beneficios:

- Prestar un servicio a la comunidad, brindando un proyecto ejecutivo para licitar
- Cumplimiento de requisitos académicos de la cátedra, excediendo los contenidos mínimos.
- Satisfacción para los alumnos participantes de haber cumplido con un fin social.
- Certificación como antecedente laboral para los alumnos intervinientes.
- Puso de manifiesto la gran importancia de las prácticas de extensión social de la universidad, generando un enriquecimiento para la comunidad como para la universidad.

Palabras Clave: Acción social, extensión universitaria, agua potable.

Biorremediación de Efluentes Contaminados con Metales Pesados con la Aplicación del Hongo Basidiomiceto *Pleurotus sajor-caju*

Pabla Anabela Torres[a], Stela Maris da Silva[a], Ailén Rojos Fernández[a], Mauricio Sanchez Lorenzi[a]

[a] Grupo de Investigación de Saneamiento Ambiental (GISAM), Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza, Cnel. Rodriguez 273,
5500 Cdad. de Mendoza, Mendoza, Argentina
smdsil08@yahoo.com.ar, pabla.torres@frm.utn.edu.ar, mauriger@yahoo.com.ar, ailenrojos@gmail.com

Resumen. En este estudio se presenta una alternativa biotecnológica para remover metales pesados de efluentes contaminados con Cd^{+2}, Cr^{+3}, Ba^{+2}, Zn^{+2}, Ni^{+2}, Co^{+2}, Cu^{+2} y Cr^{+6}. Se está evaluando el potencial del hongo basidiomiceto *Pleurotus sajor-caju* (cepa PSC01) de remover los iones metálicos de las sales nitratos de cadmio, cromo (III) y bario en solución acuosa, con una concentración de 30 mg de ión en 100 ml de medio de cultivo. Cada muestra es esterilizada en autoclave durante 30 minutos a 1 atm de presión, previo a la inoculación del hongo, y mantenida a 28ºC en agitación orbital constante. La solución de la sal se agrega en el 7to día de desarrollo fúngico. Los parámetros evaluados son el pH del medio y la biomasa producida en ciclos diferenciados, con recolección de muestras (por cuadriplicado) cada 3 días, hasta alcanzar los 21 días de crecimiento. Los resultados parciales indicaron que el hongo es capaz de crecer en presencia de los iones Cd^{+2}, Cr^{+3} y Ba^{+2}. El descenso del pH entre 2 y 3 unidades, agravó las condiciones hostiles de crecimiento. No obstante, el hongo igualmente pudo desarrollarse, evidenciando su capacidad de adaptación a esta situación de estrés.

Palabras Clave: biorremediación, efluentes líquidos, metales pesados, hongo basidiomiceto, *Pleurotus sajor-caju*

ÁREA VII EnIDI

QUÍMICA Y BIOTECNOLOGÍA

TRABAJOS COMPLETOS

Aplicación del modelo de Touzeau como herramienta para el control y manejo de la "polilla de la vid" *Lobesia botrana* (Denis & Schiffmüller) en Mendoza

Stela Maris da Silva[a] , María Inés Burgardt[a], Gabriela Ohanian[a], Germán San Blas[b], Valeria Bergas[c], Matías Burán[a], Laura Musri[a]

[a] Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza, Calle Rodriguez 273, 5500, Mendoza, Argentina.
smdsil08@yahoo.com.ar

[b] Laboratorio de Entomología, IADIZA, CCT Mendoza CONICET, CC: 507, CP:5500, Mendoza, Argentina.
gsanblas@mendoza-conicet.gob.ar

[c] Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ciencias Agrarias

Resumen. En el presente estudio se analizó el comportamiento y la difusión local de la polilla del racimo de la vid, *Lobesia botrana*, Denis & Schiffmüller (Lepidoptera: Tortricidae) en una finca del Departamento de Maipú, en la Provincia de Mendoza, Argentina. El objetivo planteado fue desarrollar estrategias de control y manejo de la plaga para evitar la pérdida de productividad vitivinícola debida a la destrucción de las bayas de la vid por parte de la polilla. Se realizó, con tal fin, una comparación con el modelo de temperatura y tasa de desarrollo propuesto por Touzeau (Francia) para los eventos del ciclo biológico de la polilla, en relación con los datos obtenidos de observaciones en un cuartel del varietal Chardonnay. Se evidenció por este método que las integrales térmicas y las comparaciones con el modelo mencionado muestran diferencias lógicas atribuibles al paso del tiempo y a las distintas localizaciones geográficas. Fue posible, a través de la confección de curvas de vuelo, estimar las fechas probables y los tiempos de duración de cada evento del ciclo biológico del insecto y así estimar las fechas indicadas para aplicación de métodos de control de la polilla. Finalmente se concluyó que es importante obtener registros de datos durante varios años para conocer la modalidad de instalación del insecto en la región.

Palabras Clave: *Lobesia botrana*, modelo de Touzeau, integrales térmicas.

1 Introducción

La "polilla del racimo de la vid", *Lobesia botrana*, Denis & Schiffmüller (Lepidoptera: Tortricidae) es un lepidóptero que ataca la vid. Generalmente la primera generación de cada temporada ataca a los grupos de flores (inflorescencias), mientras que las posteriores generaciones – tres o más, según la zona-, provocan daños a los racimos en formación [1]

Esta plaga se instaló en Europa a finales del siglo XIX, aunque fue recién en el siglo XX que llegó a afectar a las principales zonas vitícolas de este continente. En la actualidad está bien establecido el ciclo de vida y su desarrollo para Europa, debido al tiempo de instalación de la misma en el continente y a los numerosos estudios

multidisciplinarios realizados por equipos de investigadores europeos. Así, para el continente europeo, es posible afirmar que la polilla está controlada y su presencia es constantemente monitoreada, permitiendo minimizar los efectos y las correspondientes pérdidas económicas que se produce por su presencia en la vid [2].

En la provincia de Mendoza, la polilla fue detectada en febrero del 2010, mediante la captura de machos en trampas cebadas con feromonas colocadas por el Servicio Nacional de Calidad Agroalimentaria (SENASA) [1]. Su rápida propagación a otras zonas de la provincia hizo que las autoridades locales declararan un área de cuarentena en los departamentos de Maipú, Luján de Cuyo y Guaymallén, sin embargo a lo largo de los meses se detectaron nuevos focos en San Martín, Rivadavia, Junín, La Paz, Tunuyán, San Rafael, Godoy Cruz, Las Heras, Santa Rosa, Lavalle y Tupungato [3].

Su desarrollo en regiones vitivinícolas como la Provincia de Mendoza, ocasiona una merma en la producción de vinos, debida a la destrucción de las bayas de la vid (granos). Tanto en uvas de mesa como de vinificación, la polilla genera heridas al fruto que favorecen la aparición de podredumbres causadas por diversos hongos, lo que transmite finalmente mal olor y sabor al vino.

Si bien es afortunado contar con la abundante información de las investigaciones europeas y las recientemente desarrolladas por las Universidades de Chile [4] y California [5], es fundamental que se estudie el desarrollo de la plaga en Mendoza para conocer el comportamiento y la difusión local de la especie y así diseñar estrategias de tratamiento y control que lleven, con el tiempo, a un escenario de convivencia con la polilla semejante al europeo.

Existe una relación directa entre los factores climáticos (temperatura, humedad relativa, dirección de los vientos, lluvias, fotoperiodo, insolación) y el ciclo de vida de los insectos. Sin embargo en el caso de la *Lobesia botrana*, al ser un organismo de "sangre fría", la temperatura se manifiesta como la variable de mayor influencia [6],[7].

Por estos motivos, se propone en el presente trabajo, el estudio y validación de modelos de correlación entre la temperatura y la tasa de desarrollo de la polilla, como un método práctico y relativamente sencillo que ya ha sido aplicado en Europa, Chile y Estados Unidos [8][6][5], para monitorear y predecir las fechas probables de la eclosión del insecto y primer vuelo, ofreciendo una alternativa de control temprano de la plaga.

El modelo de correlación propuesto será el de Touzeau [9], que entre los diferentes modelos conocidos [8], es uno de los más implementados. Dicho modelo se basó en el método de los Grados-día para predecir el ciclo biológico de *Lobesia botrana* en la región francesa de los Pirineos Medios, Francia. Ese modelo será aplicado para el estudio de correlación entre la temperatura y la tasa de desarrollo de la polilla en Mendoza, Argentina.

2 Metodología

2.1 Zona abarcada por el muestreo

El estudio se llevó a cabo en una finca ubicada en el departamento de Maipú en la Provincia de Mendoza, Argentina. La finca se ubica a 869 m de altura, en la posición geográfica de 33º00'54,85''S; 68º48'44,03''O. En dicha finca hay parcelas de diferentes variedades de vid, principalmente Chardonnay, Cabernet Sauvignon, Sauvignon Blanc y Malbec.

2.2 Monitoreo de insectos

Se realizó el seguimiento de la polilla durante dos campañas 2010-2011 y 2011-2012. Para realizar el monitoreo se utilizaron trampas (una por hectárea) de tipo Delta, con pisos engomados que atraen a los machos debido al uso de una feromona específica contenida en cápsulas. Dichas cápsulas fueron cambiadas cada 60 días.

Las trampas fueron colocadas en el mes de agosto y se registraron capturas sistemáticas desde comienzos de setiembre hasta marzo en cada campaña. Los insectos se contaron cada 72 horas.

2.3 Curvas de vuelo

Con los datos obtenidos se realizaron las denominadas curvas de vuelo. Dichas curvas son representaciones gráficas que registran en las ordenadas el número de polillas macho capturadas en las trampas y en las abscisas la fecha en la que se realizó la captura. Estas curvas muestran los ciclos que presenta la polilla durante un período de tiempo, que corresponde a una campaña completa (desde el primer vuelo hasta la cosecha de la vid).

2.4. Método de los grados-día

El método de los grados-día es el más empleado para estudiar la relación entre tasa de desarrollo de un insecto y la temperatura. Su fundamento está en la medición de la cantidad de energía calórica aportada diariamente (grados-día) cuando la temperatura media excede de un valor denominado "umbral mínimo de desarrollo" y que debe ser definido para cada especie. En este caso el modelo de Touzeau fija ese valor en 10ºC para la polilla del racimo de la vid.

La cantidad de grados día que es necesario acumular para la ocurrencia de un evento (eclosión de huevos, ciclo larvario, pupación, etc.) se denomina "Integral térmica" y se constituirá en la información necesaria para predecir en qué valor de acumulación térmica ocurre cada evento.

3 Resultados y discusión

El ciclo biológico de *Lobesia botrana* se describe desde el momento en que se detectan las primeras mariposas emergentes de pupas que permanecieron en diapausa durante el invierno. Cuando en las trampas cebadas con feromona se realizan capturas sostenidas, se considera que ha tenido inicio el primer vuelo. Dicho vuelo se estima que concluye al tender a cero dichos registros. Los posteriores registros de capturas deben seguir igual comportamiento, aunque el tiempo de duración de los mismos variará en relación al aumento de las temperaturas medias con el avance de la primavera y el verano.

El ciclo evolutivo de *Lobesia botrana* puede describirse mediante cuatro estados: el primero es el huevo, que generalmente es puesto en forma aislada; luego la oruga o larva, la que a su vez transita por cinco estadios larvarios para luego formar un capullo sedoso; la crisálida o pupa que sufrirá la metamorfosis; y finalmente la mariposa. Siendo *Lobesia botrana* una especie polivoltina (es decir que presenta más de un vuelo), este ciclo se repite dos, tres y hasta cuatro veces en un año, llevando en el último de ellos a la inducción de la diapausa. La diapausa se produce sobre la oruga cuando el fotoperíodo pasa a tener valores entre 8 y 12 horas [10].

Durante la campaña 2010-2011 en una parcela de dos hectáreas de una finca de Maipú, sembrada con la variedad Chardonnay se observaron tres vuelos bien marcados y un probable cuarto vuelo con el que se daría origen a las crisálidas invernantes (Fig. 1).

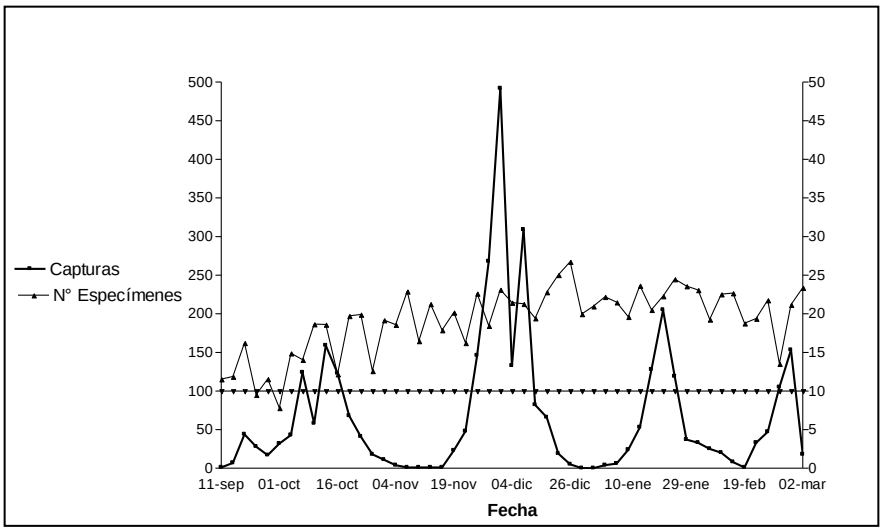
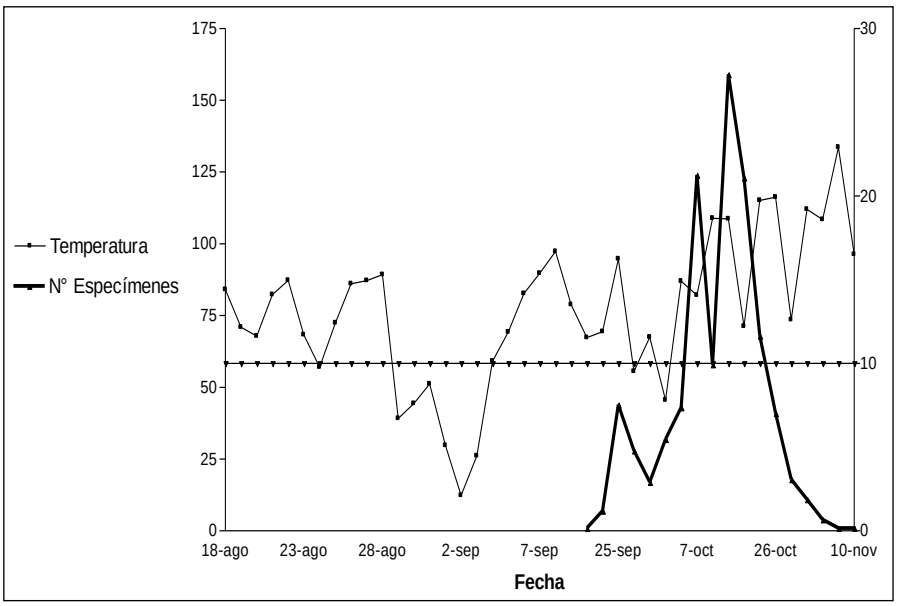


Fig. 1. Curva de vuelo y temperatura de la campaña 2010-2011 en Cuartel Chardonnay.

La primera generación es iniciada por las mariposas que emergen de la crisálida. Para que esto ocurra la literatura plantea que la temperatura media del final del invierno interviene en forma decisiva [10] y el evento tiene lugar cuando la misma es



superior a un umbral de 10ºC durante un período de 10 a 12 días [5]. Estas afirmaciones fueron verificadas para la Provincia de Mendoza por los datos registrados (Fig. 2).

Fig. 2. Temperaturas previas a las primeras capturas con valores superiores al umbral térmico de 10ºC

Posteriormente es posible analizar la variable temperatura en el desarrollo del ciclo biológico del insecto. La figura 3 muestra la evolución de la Integral Térmica acompañando el desarrollo de los vuelos observados.

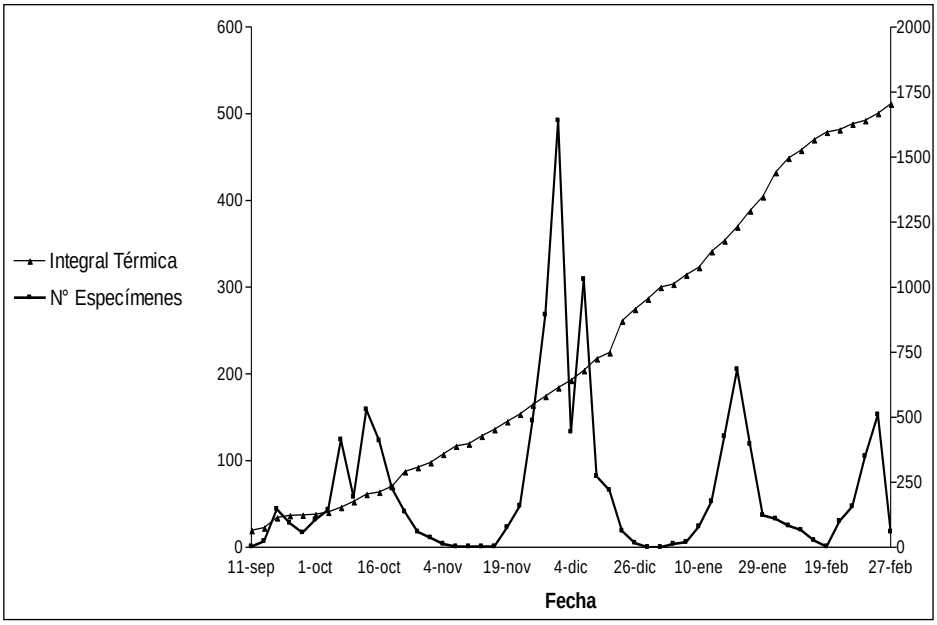


Fig. 3. Evolución de la Integral térmica acompañando los vuelos de la campaña 2010-2011 en el Cuartel Chardonnay.

A partir de los datos obtenidos en la Fig. 3 es posible hacer la comparación entre dichos datos (Mendoza, Argentina) y los señalados por el modelo de Touzeau (Europa) para los eventos ocurridos durante el ciclo biológico. La Tabla 1 representa la comparación entre los datos descritos/predicados por el modelo de Touzeau, para los diferentes momentos del ciclo biológico de la polilla de la vid, en relación a los datos obtenidos de las observaciones en el Cuartel de Chardonnay.

Tabla 1. Comparación de los diferentes tiempos de desarrollo entre el modelo propuesto por Touzeau y lo observado en el Cuartel Chardonnay (Argentina)

VUELO	DATOS	MODELO	OBSERVACIONES
PRIMER VUELO	**Duración**	41 a 56 días	55 días
	Emergencia	fin de Septiembre - principios Octubre	11 de Setiembre - 4 de Noviembre
	Temperatura Superior	10ºC de 10 a 12 días	--
	Esperanza de vida	1 a 3 semanas	--
	Pico máximo de capturas	125ºC-D	205ºC-D (13 de Octubre)
	Acoplamiento	1 a 6 días de la emergencia	--

	Puesta	1 a 3 días del acoplamiento	--
	Eclosión	7 a 10 días de la puesta, 65 a 75ºC-D	Alrededor del 4 de Octubre
	Desarrollo larvario	20 a 28 días, 170ºC-D	Alrededor del 29 de Octubre
	Pupación	12 a 14 días, 130ºC-D	Alrededor del 13 de Noviembre
SEGUNDO VUELO	**Duración**	hasta 49 días	40 días
	Emergencia	Principios de Diciembre	19 de Noviembre - 29 de Diciembre
	Pico máximo de capturas	500ºC-D	614ºC-D (1 de Diciembre)
	Eclosión	65-75ºC-D	Alrededor del 26 de Noviembre
	Desarrollo larvario	255ºC-D	Alrededor del 17 de Diciembre
	Pupación	130ºC-D	Alrededor del 29 de Diciembre
TERCER VUELO	**Duración**	hasta 47 días	--
	Emergencia	Principios de Febrero	3 de Enero - 19 de Febrero
	Pico máximo de capturas	950ºC-D	1232ºC-D (21 de Enero)
	Eclosión	65-75ºC-D	Alrededor del 11 de Enero
	Desarrollo larvario	255ºC-D	Alrededor del 29 de Enero
	Pupación	130ºC-D	Alrededor del 8 de Febrero
CUARTO VUELO	**Duración**	13 días	--
	Emergencia	fin de Febrero	20 de Febrero - 5 de Marzo
	Eclosión	65-75ºC-D	Alrededor del 28 de Febrero
	Desarrollo larvario	255ºC-D	Alrededor del 14 de Marzo
	Pupación	130ºC-D	La pupa pasa a invernar

El análisis de los dos primeros vuelos de la campaña 2010-2011 en el Cuartel Chardonnay (Fig. 4), permite observar que:

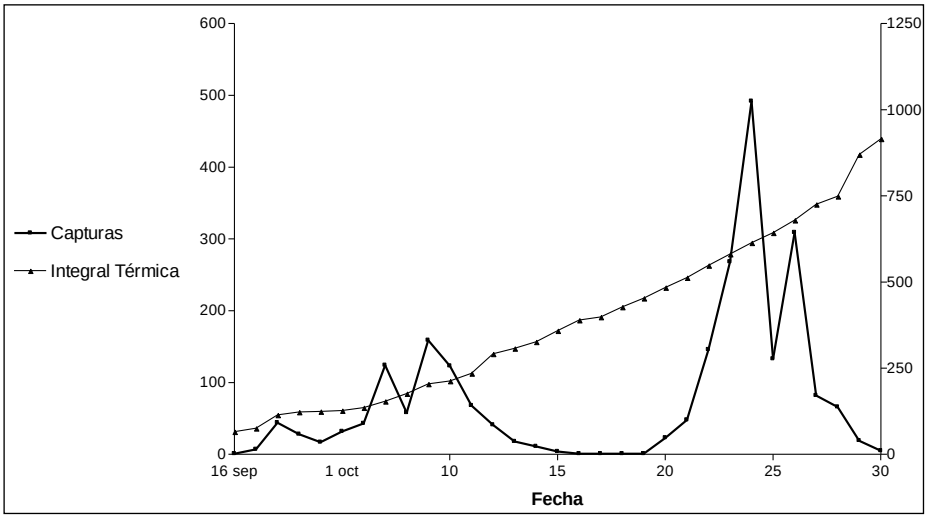


Fig. 4. Integral térmica y curva de los dos primeros vuelos de la temporada 2010-2011 en parcela Chardonnay

El pico de capturas para el primer vuelo se produce el 13/10/2010 con 159 mariposas capturadas en la trampa. Para ese día se registra una integral térmica de 205 ºC- D, lo que significa una diferencia de + 80ºC –D con el modelo de Touzeau.
Aplicando los tiempos que la bibliografía propone para que se cumplan las distintas etapas del ciclo biológico de *Lobesia botrana*, se pueden diseñar posibles situaciones al tomar los tiempos mínimos y máximos de ocurrencia de los distintos eventos:

Considerando los tiempos mínimos:

- Si se fija el comienzo de la emergencia el 11/09/2010 existe la posibilidad de que se produzcan acoplamientos ya al día siguiente: 12/09 (el modelo fija para este evento 1-6 días) y se podría suponer que hay probabilidad de puestas de huevos desde el 13/09 (el modelo plantea 1-3 días desde el acoplamiento para la producción de este evento). Como el modelo de Touzeau plantea la posibilidad de eclosiones de huevos entre 7-10 días después de la puesta, se puede inferir la posibilidad de presencia de larvas a partir del 20/09.

Considerando que el desarrollo larvario requiere entre 20-28 días, la pupación sería posible a partir del 10/10, con lo cual podría ocurrir la emergencia del segundo vuelo a partir del 22/10 ya que la crisálida cumple su evolución entre 12 a 14 días.

Considerando los tiempos máximos para los distintos eventos del ciclo biológico, a partir de la Emergencia de la polilla que ocurrió el 11/09, se prevé que ocurrieron los acoplamientos el 17/09, las puestas 20/09 y eclosiones 30/09. Posteriormente hubo nueva pupación el 28/10 y la emergencia del 2º vuelo, el 11/11. Para la previsión de

dichos tiempos, se realiza un único cálculo con valores intermedios: 3 días para el acoplamiento, 2 para la puesta, 8 para la emergencia, 24 para el ciclo larvario y 13 para la nueva emergencia. De esta forma comenzando el primer vuelo el 11/09 el segundo podría ocurrir a partir del 31/10.

Si los cálculos se realizan en base a los valores de aportes calóricos para los distintos eventos se plantea la puesta de huevos entre el 13/09 con una integral térmica de 69ºC-D y el 20/09 con integral de 93ºC D; la eclosión entre el día 20/09 con integral de 93ºC D y el 30/09 con integral de 127ºC D.

El modelo de Touzeau plantea como requerimiento energético entre 65 y 75 ºC D para completar el desarrollo de los huevos y que se produzcan eclosiones. Si se toma un valor medio de 70ºC D los huevos habrían recibido ese aporte calórico según el siguiente cálculo:

13/09: integral de 69ºC D + 70ºC D = 139ºC D este valor se logró alrededor del 5/10

20/09: integral de 93ºC D + 70ºC D = 163ºC D en la fecha aproximada del 8/10

Estos cálculos llevan a proponer que las orugas comenzaron a aparecer entre el 5 y 10 de octubre, y continuando con la aplicación del modelo se debe considerar el aporte calórico de 170ºC D para que ocurran las cinco etapas del desarrollo larvario:

5/10: integral de 139ºC D + 170ºC D = 309ºC D alrededor del 29/10

8/10: integral de 163ºC D + 170ºC D = 333ºC D alrededor del 2/11

Por esto entre el 29/10 y el 2/11 el gusano tejerá el capullo dentro del cual se transformará en crisálida. El cálculo de requerimiento calórico para la metamorfosis de la crisálida es de 130ºC D:

29/10: integral de 309ºC D +130ºC D = 439ºC D alrededor del 14/11

2/11: integral de 333ºC D +130ºC D = 463ºC D alrededor del 17/11

Se llega así a plantear que el inicio del segundo vuelo ocurrirá entre el 14 y 17 de noviembre. Por lo tanto, se observa que el cálculo en base a la integral térmica se ajusta mejor a lo detectado por medio de la captura de mariposas ocurrido el 19/11. Cuando se realizan los mismos cálculos para el segundo vuelo se encuentra gran proximidad con todos los cálculos realizados, pero en este caso resultan más cercanas a la realidad las previsiones en base a los tiempos asignados para la ocurrencia de los eventos ya que los cálculos en base a los aportes calóricos indicarían un comienzo anterior del Tercer vuelo (25/12) respecto a lo observado (3/01).

4 Conclusión

En relación a los datos obtenidos en las curvas de vuelos, se puede plantear que en las zonas estudiadas se evidencia la producción de un cuarto vuelo. Esta afirmación se apoya especialmente en los perfiles más claros de la campaña 2011-2012 de la cual se tienen datos durante todo el mes de enero y febrero. Aquí se pone de manifiesto la

importancia de obtener registros de temperaturas confiables, en lo que respecta a la estación meteorológica que los proporciona, y permanentes dado que ellos permiten ir logrando análisis más ajustados de la incidencia de la temperatura en los perfiles de comportamiento de la plaga que se van consiguiendo. También resulta notable la importancia de que los datos obtenidos de las trampas sean relevados en períodos cortos (72 horas) y también de forma sostenida.

En relación al modelo de Touzeau y los datos obtenidos para la región de Mendoza, se observa que las integrales térmicas y las comparaciones con otros estudios semejantes muestran diferencias lógicas atribuibles al paso del tiempo y a las localizaciones geográficas distintas (Europa y Argentina). En todo caso es evidente que todo modelo debe adaptarse a una zona para la cual no ha sido validado. También es oportuno remarcar la importancia de obtener registros de datos durante varios años para conocer la modalidad de instalación del insecto en la región.

Referencias

1. Gonzalez, M.: Lobesia botrana: Polilla de la uva. En: Revista Enología Nº 2, Año VII (2010)
2. Armendáriz, I., Pérez-Sanz,A., Capilla, C., Juárez, J. S., Miranda, L., Nicolás, J., Aparicio, E., Cinco años de seguimiento de la polilla del racimo de la vid (Lobesia botrana) en la D.O. Arribes (Castilla y León, España), Bol. San. Veg. Plagas, 35:193-204 (2009)
3. SENASA. 2012. Lobesia botrana. Boletín Nº1.
4. Sazo R. Luis, Desarrollo de modelos fenológicos para Lobesia botrana en Chile, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Laboratorio de Entomología Frutal y SAG, Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile www.sag.gob.cl (2011)
5. Monica L. Cooper, Lucia G. Varela, Rhonda J. Smith, University of California, Cooperative Extension, European Grapevine Moth: a New Pest of Grapes in California, UCCE NAPA Newsletter, August 2010 20-28 (2010)
6. Marco, V, Modelización de la tasa de desarrollo de insectos en función de la temperatura. Aplicación al Manejo Integrado de Plagas mediante el método de grados-día Bol. S.E.A., nº 28: 147-150 (2001)
7. Coscollá, R, Incidencia de los factores climatológicos en la evolución de plagas y enfermedades de las plantas Bol. Serv. Plagas, 6: 123-139, Silla ,Valencia (1980)
8. Armendáriz, I, Pérez-Sanz,A, Miranda, L, Predicción de la polilla del racimo de la vid (Lobesia botrana) en seis Denominaciones de Origen de Castilla y León, Bol. San. Veg. Plagas, 36: 11-22, (2010)
9. Touzeau,J, Modélisation de l´évolution de l´Eudémis de la Vigne pour la région Midi Pyrénées Boll.Zool. Agr. Bachic., Ser. II, 16: 26-28 (1981)
10. Torres-Vila, L.M., Un aniversario aciago: Dos siglos de historia como plaga de la polilla del racimo de la vid, Lobesia botrana Den. y Schiff., (2001) www.seea.es/conlupa/lbotrana/lbotrana.htm

Uso del Colorante Azul Brillante en Cerezas en Conserva

Mariela Maldonado[a, b], Marianela Zanon[c], Marcela Almanza[c], Mercedes Barroso[c], Gustavo Polenta[d] Gabriela Denoya [d] y Claudio Sanow [d]

[a] EEA Luján INTA Mendoza. San Martín 3853. Mayor Drumond, Mendoza. Tel. Fax: 0261 4963020. mmaldonado@mendoza.inta.gov.ar
[b]CONICET
[c] Facultad de Don Bosco de Enología y Ciencias de la Alimentación. Universidad Católica de Cuyo.
[d]. INTA Castelar. Instituto de Tecnología de Alimentos

Resumen. La eritrosina, es un colorante altamente tóxico, como así también los productos fotoquímicos y de degradación bioquímica. Causa varios tipos de alergia, actividad tiroidea, cancerígena, neurotóxica y daña el DNA. A pesar de ello, es usada frecuentemente en la elaboración de cerezas en conserva y permitida por el CAA y la FDA. Ha sido motivo de discusión en diversas ocasiones por su efecto nocivo en la salud. Por esto, es de suma importancia usar colorantes diferentes y menos tóxicos. Por ello se eligió elaborar cerezas en conserva con Azul Brillante, menos toxico que la eritrosina y de ida menos restringida. Se elaboraron las cerezas mediante el proceso de confitado lento, con impregnaciones de 25 a 55° Brix. Entre la tercera y cuarta impregnación se hizo la coloración con azul brillante. Luego se esterilizaron. Se hizo un ensayo de estabilidad de color a la luz solar y este permaneció estable, mientras que el testigo con eritrosina se degradó casi totalmente. Se midieron otras variables como: color, actividad acuosa (aw) y textura en el producto final, color (Espacio CIELAB), y Brix y temperatura durante el proceso y por último se hizo un análisis sensorial que dieron como resultado un producto totalmente aceptable, hasta preferible.

Palabras Clave: eritrosina, azul brillante, colorantes alimentarios, cerezas en conserva.

1 Introducción

El cerezo es un cultivo de gran importancia en muchos países, por ser cada día mayor la demanda en los mercados, no sólo para el consumo en fresco sino también para la industria conservera en Mendoza [1]. En Mendoza, la época de cosecha se extiende desde mediados de octubre hasta fin de enero, siendo Bing la variedad más temprana proveniente del Valle de Uco y que representa, además, el 70% de la producción mendocina. Un 55% del mercado va a consumo en fresco y un 45 % aproximadamente se debe conservar en anhídrido sulfuroso por su alta perecebilidad, siendo principalmente exportada. En general, se puede decir que del total de fruta destinada a mercado en fresco en la provincia el 59% se exporta, el 30% va al Mercado Central de Buenos Aires (MCBA) y el 11% se comercializa en otros destinos de la Argentina [1].

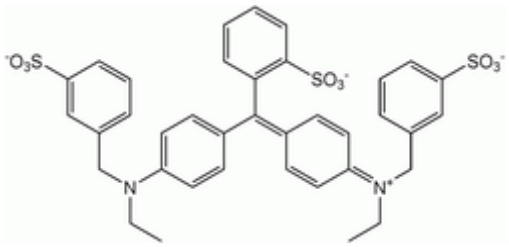
La eritrosina, es un colorante altamente tóxico, como así también los productos fotoquímicas y de degradación bioquímica. Causa varios tipos de alergia, actividad

tiroidea, cancerígena, neurotóxica y daña el DNA [2]. A pesar de ello, es usada frecuentemente en la elaboración de cerezas en conserva y permitida por el CAA y la FDA.

La presente investigación se basa en la elaboración de cerezas en conserva, pero con la variante y el objetivo de emplear un colorante distinto, menos tóxico, llamativo e innovador, que resulte atractivo a la vista del consumidor, garantizando la incorporación y la permanencia de un nuevo producto al mercado, con la inocuidad y la calidad que los consumidores actuales buscan y desean.

Hoy en día, el mercado ofrece una gran variedad de productos en la industria alimentaria, donde la demanda de alimentos innovadores, diferentes y atractivos sigue creciendo para satisfacer las necesidades y las tendencias que presentan la mayoría de los consumidores actuales que buscan que los productos sean saludables además de atractivos.

Tanto la elevada estabilidad como la escasa toxicidad del Azul brillante, lo hace un colorante más seguro y confiable para el consumo humano que la eritrosina, certificando no sólo la inocuidad del alimento que lo posee, sino también un aspecto visual. El color es uno de los factores clave a la hora de atraer al consumidor, ya que los colores crean expectativas acerca del sabor y de la calidad del alimento. Su fórmula es:



a-(4-(N-etil-3-sulfonatobencilamino)-fenil)-a-(4-Netil-3-sulfonatobencilamino)-ciclohexa-2,5-dienilideno)-tolueno-2-sulfonato disódico

2 Materiales y Métodos

Para realizar los ensayos se utilizaron cerezas de la variedad Bing, enteras, decoloradas, descarozadas, despalilladas, sulfitadas con 3500 ppm, y de calibre 2,2 cm. Se utilizó el colorante Azul Brillante E133 (0.023% y 0.056%), eritrosina (0,023%), soluciones al 2% de ácido cítrico y de bicarbonato de sodio (para la corrección del pH) y azúcar (sacarosa).

El candeado se hizo desde 25º a 55º Brix. Se coloreó entre la tercera y cuarta impregnación. Se envasó y esterilizó. Se midió según la A.O.A.C. (1995) [3]: densidad (por gravimetría y volumen), pH (AOAC 960.10), TºC, sólidos solubles con refractómetro Arcano modelo 575 (A.O.A.C. 969.38) de las soluciones y pulpa

durante el proceso, aw (AquaLab model series 4 TE), color (Kónica Minolta CR-400,) y textura (Stable Micro System TA.TXplus). Los datos se analizaron estadísticamente mediante StatGraphics Centurion XVI.I. Se realizó Test prueba de sensorial y nutricional de los mismos con consumidores no entrenados (Anzaldúa y Morales, [4]. Se realizaron tres ensayos: T1 o Testigo: cerezas coloreadas testigo de eritrosina, T2: cerezas coloreadas con Azul Brillante (azul claro), y T3: cerezas coloreadas con Azul Brillante (azul oscuro). Las tomas de muestras y las correspondientes determinaciones (ºBrix, temperatura) se realizaron a lo largo del ensayo y sobre el producto final se midió actividad acuosa, textura, humedad, y color. Una vez finalizados los ensayos y obtenidos los productos, se procedió a realizar su análisis sensorial [4], con el objetivo de determinar con base estadística, si los productos resultantes podrían ser aceptados desde el punto de vista del consumidor habitual. Considerando que las cerezas en almíbar se comercializan prácticamente bajo el color rojo proporcionado por la eritrosina, la valoración sensorial es de suma importancia, debido a que nos permite conocer la aceptación o el rechazo del alimento según las sensaciones experimentadas al observarlo e ingerirlo. Para el tratamiento estadístico posterior, se asignó a cada punto de la escala un valor numérico, según se detalla a continuación:

Descripción	Valor
Me disgusta mucho	-2
Me disgusta	-1
Ni me gusta ni me disgusta	0
Me gusta	1
Me gusta mucho	2

También se pidió a los jueces que emitieran cualquier tipo de comentario, opinión o sugerencia que creyeran conveniente.

3 Resultados

En la Figura 1 que se muestra a continuación se pueden observar los progresivos aumentos en el contenido de sólidos solubles (ºBrix) efectuados en cada impregnación del ensayo testigo, comenzando con una concentración de 22ºBrix, y finalizando con un producto estabilizado a 63ºBrix.

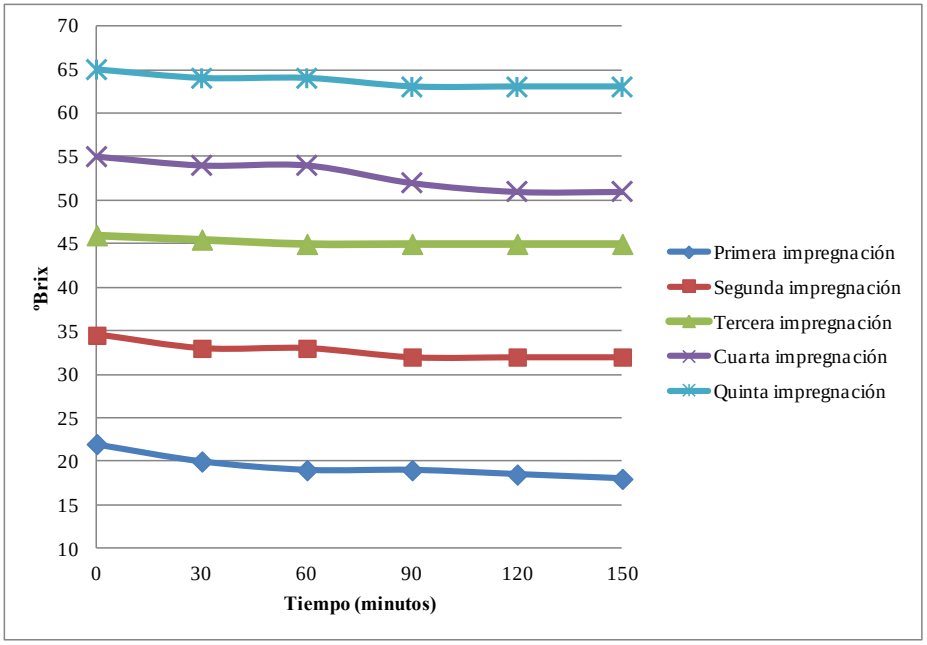


Fig. 1. Variación en el contenido de sólidos solubles en función del tiempo de cada impregnación. Ensayo testigo Sacarosa 100%.

En la Figura 2 se observan las variaciones en el contenido de sólidos solubles, y su aumento progresivo en cada impregnación del ensayo con Azul brillante claro, comenzando con un jarabe de 20ºBrix, y finalizando con un producto estabilizado a 65ºBrix. Los datos del tratamiento de Azul brillante oscuro o T3 son muy semejantes (datos no mostrados pero disponibles)

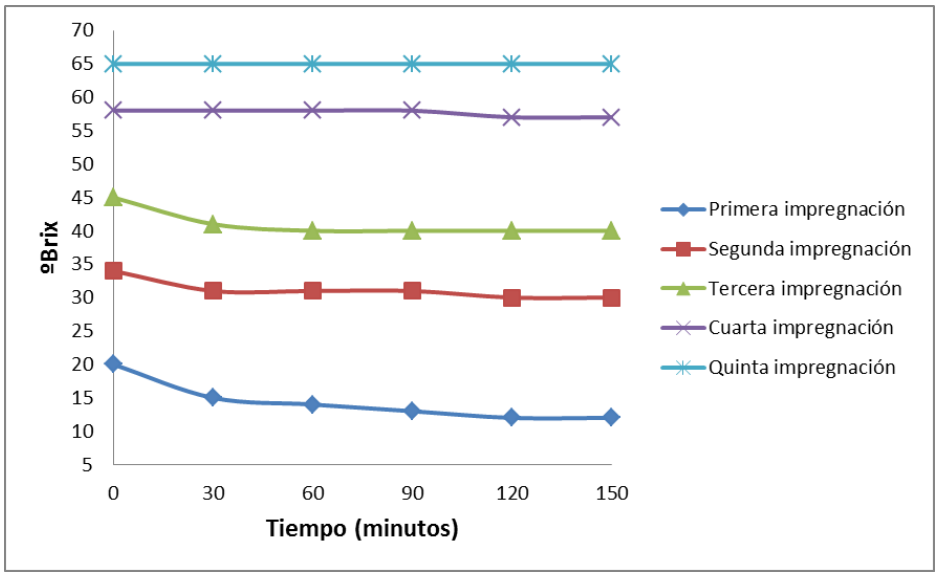


Fig. 2. Variación en el contenido de sólidos solubles en función del tiempo de cada impregnación. Ensayo azul brillante.

En ambas figuras la disminución de grados Brix durante los tiempos de medición, tiene un comportamiento casi lineal, muy posiblemente debido a la temperatura que influyó en la realización de los ensayos. Pero se puede apreciar que en las dos primeras impregnaciones y primeras horas la disminución de sólidos solubles es mayor, consistente con lo hallado por Ríos Pérez [5] y según lo que sostiene Ceballos Chan [6], que normalmente las velocidades de flujo de agua son altas durante las primeras 2 horas y la mayor cantidad de sólidos ganados ocurre dentro de los primeros 30 minutos de tratamiento y que a partir de ese punto los flujos se hacen muy lentos.

En la Figura 3 se puede observar la pérdida de humedad medida que representa la salida de agua que ocurre durante el tratamiento osmótico en paralelo con la entrada de sólidos solubles y la salida de sólidos de la matriz alimentaria. Según el análisis estadístico ANOVA, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los 3 tratamientos para un nivel del 95,0% de confianza.

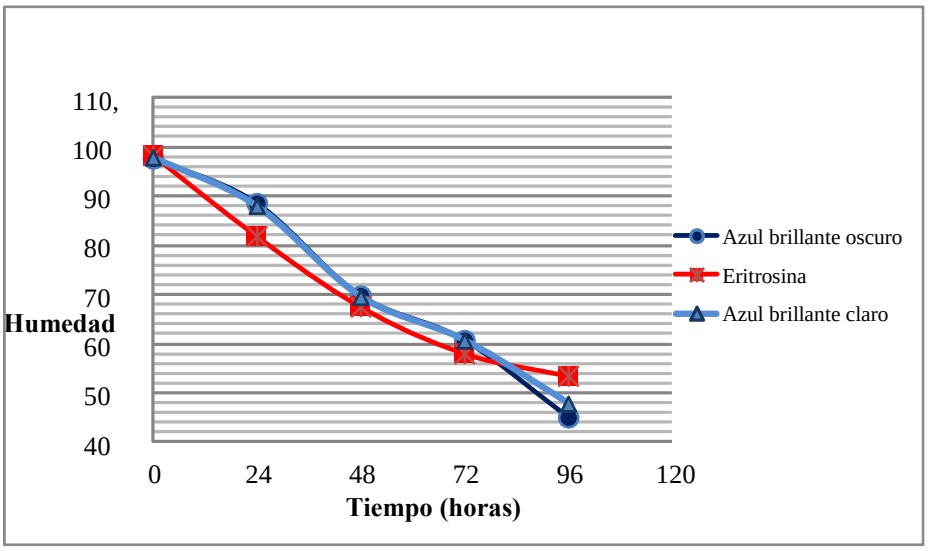


Fig. 3. Variación de la humedad de las cerezas en función del tiempo para los distintos ensayos

En la Figura 4 se puede observar la medición de actividad de agua en el producto final, que es mayor en el Testigo con Eritrosina que en los tratamientos T2 y T3 con azul brillante. Los datos muestran que la aw disminuyó en un 15% en los ensayos con azul brillante al cabo de las impregnaciones, sea cual sea la dosis del colorante empleada, mientras que en el ensayo testigo de eritrosina, la disminución de actividad acuosa fue menor (10%), presentando con esto menor estabilidad biológica del producto.

Éstos presentaron al análisis de Anova diferencia significativa para α (0,05), entre el testigo de Eritrosina y los tratamientos con Azul brillante (T2 azul claro y T3 azul oscuro) según lo demuestra la prueba de Múltiples rangos de Fischer. Esto podría estar relacionado con la estructura del colorante ya que si bien es altamente soluble (200 $kg \cdot m^{-3}$), a diferencia de la eritrosina cuya solubilidad es altamente dependiente del pH y tiene en su composición un grupo COO^- que podría facilitar puentes hidrógenos más que el azul brillante. En cuanto a la estructura del azul Brillante ésta no es hidrofílica y harían falta mayores estudios para ver como interacciona y se ubica dentro de la matriz de la cereza de tal manera de determinar si contribuye o no a modificar el agua de constitución del alimento, o el agua capilar y las interacciones con el agua libre o el agua fácilmente ligada, y que podría disminuir la disponibilidad de agua para los microorganismos, que es lo que mide la actividad acuosa. Por una parte, las interacciones entre las moléculas puede reducir el número efectivo de partículas en la solución, mientras que por otra, la disociación puede incrementar realmente dicho número [7]. Desde el punto de vista del crecimiento microbiano, la aw determina el límite mínimo de disponibilidad de agua para el crecimiento de los microorganismos. El valor de aw límite por debajo del cual un determinado microorganismo no puede crecer, considerando los demás factores que afectan el desarrollo en sus valores óptimos, se conoce como aw mínimo. También es sabido

que existe cierta adaptación de los microorganismos a bajas aw y que cuando la aw se reduce por el agregado de solutos, éstos pueden producir efectos específicos que modifican el efecto propio de la aw [8].

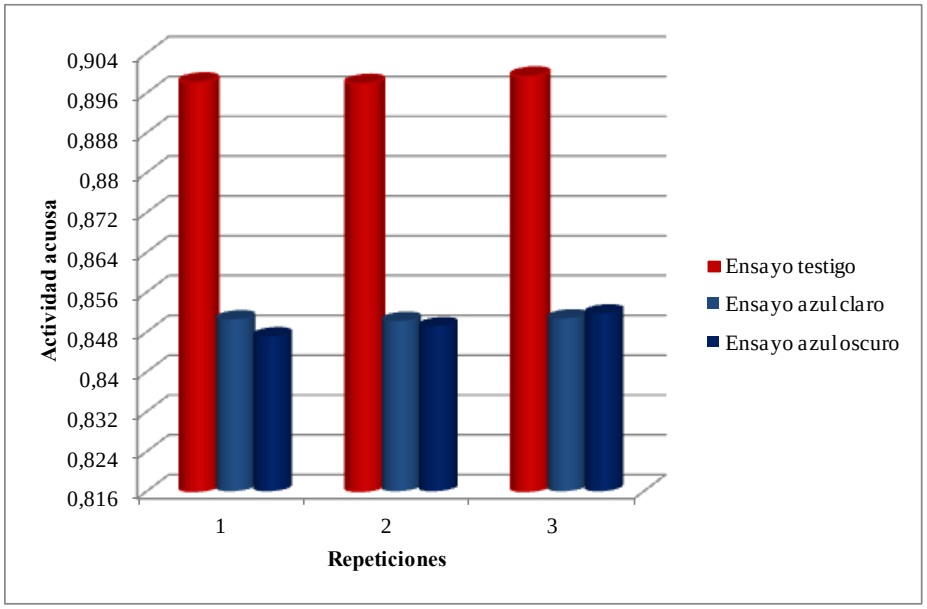


Fig. 4. Variación de la actividad de agua entre los tratamientos

En la Figura 5 se puede observar que, en promedio, la textura que presentan las cerezas rojas del ensayo testigo es muy similar a la textura de las cerezas azul claro, mientras que las cerezas color azul oscuro tienen un valor un poco inferior. Sin embargo, según el análisis de ANOVA para α (0,05), no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los 3 tratamientos con un nivel del 95,0% de confianza

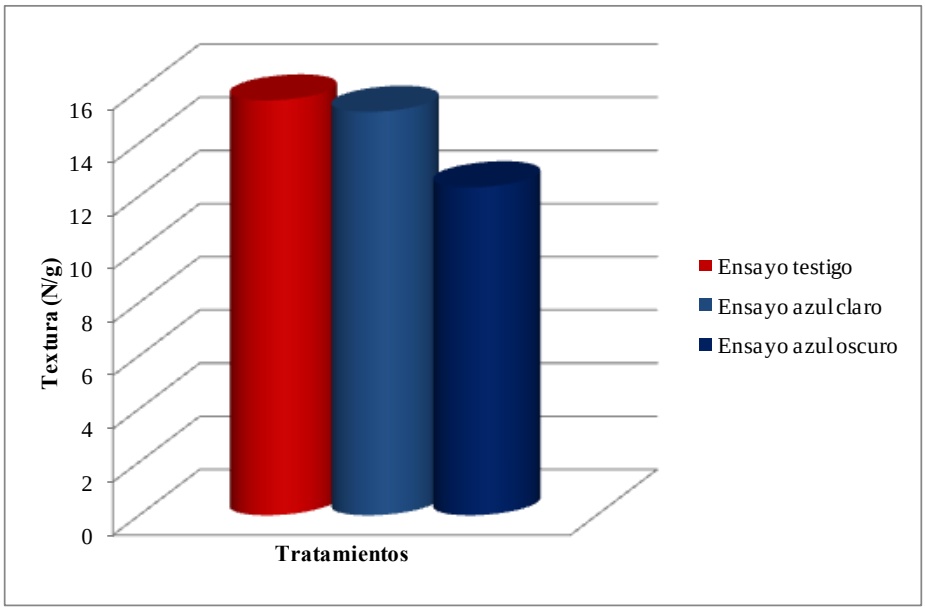


Fig. 5. Textura de los productos finales de los distintos tratamientos

El espacio de color L*a*b* (también llamado CIELAB) es actualmente uno de los espacios más populares para medir el color de los objetos y se utiliza ampliamente en casi todos los campos [9]. En este espacio, L* indica luminosidad y a* y b* son las coordenadas de cromaticidad. En la Tabla 1 se puede observar que las cerezas testigo o T1 coloreadas con eritrosina presentan la mayor Luminosidad, le siguen la T2 y luego la T3, correspondiendo a las coloreadas con azul brillante en concentraciones menores y mayores respectivamente. El análisis de Anova para α (0,05), mostró que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los 3 tratamientos con un nivel del 95,0% de confianza. Y cada tratamiento presenta diferencia significativa entre todos los tratamientos entre sí, frente al análisis de rangos Múltiples, prueba de Fischer (lo cual se demuestra con diferentes letras en la tabla).

Tabla 1. Parámetros de color: L* luminosidad, a* tendencia al rojo, b* tendencia al amarillo

Parámetros de color			
Tratamiento	L*	a*	b*
Eritrosina	$27,9^{a}$	$15,65^{aa}$	$4,04^{aaa}$
Azul claro	$26,22^{b}$	$-15,65^{bb}$	$-9,05^{bbb}$
Azul oscuro	$24,66^{c}$	$0,77^{cc}$	$-8,58^{ccc}$

Se puede observar que la tendencia al rojo o verde está dado por el parámetro +a* y -a* respectivamente. La Tabla 1 demostró que las cerezas testigo con eritrosina tuvieron una fuerte tendencia al rojo, mientras que las coloreadas con Azul Brillante presentaron una tendencia al verde siendo mayor en T2 (azul claro) y la T3 quedó con un valor casi neutro (cercano al 0) entre ambos colores prácticamente. Frente al análisis de Anova 0,05, existió una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los 3 tratamientos con un nivel del 95,0% de confianza. Y cada tratamiento presentó diferencia significativa entre todos los tratamientos entre sí, frente al análisis de rangos Múltiples, prueba de Fischer lo cual se muestra con diferentes letras en la tabla).

La tendencia al amarillo está dado por el parámetro +b* (dirección del amarillo) y -b* es la dirección del azul. Esto se verifica en la Tabla 1 donde el tratamiento testigo muestra una tendencia al amarillo y los otros dos tratamientos presentan una tendencia al azul (T2 yT3). También frente al análisis de Anova existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los 3 tratamientos con un nivel del 95,0% de confianza. Y cada tratamiento presenta diferencia significativa entre todos los tratamientos entre sí, frente al análisis de rangos Múltiples, prueba de Fischer. (Lo cual se muestra con diferentes letras en la tabla)

Según los resultados del grado de satisfacción que se muestran en la Tabla 2 el tratamiento T2 (azul claro) fue el que obtuvo mayor calificación (25), seguido por el tratamiento T3 (azul oscuro) con 25 puntos de calificación. El ensayo testigo con Eritrosina obtuvo puntaje negativo, con un valor de -19.

Tabla 2. Grado de satisfacción según test de escala hedónica

Tratamiento	Evaluadores	Suma	Promedio
T1 testigo de eritrosina	49	-19	-0,39
T2 azul Brillante (oscuro)	49	25	0,51
T2 azul Brillante (claro)	49	31	0,63

La Figura 6 (Histograma) muestra la distribución de frecuencias de preferencia para cada uno de los tratamientos. Sorpresiva pero satisfactoriamente, la preferencia fue hacia el tratamiento T3, es decir, hacia las cerezas azul claro, con una aceptación del 61%, luego le siguió el tratamiento T2 (cerezas azul oscuro) con una aceptación del 27%, y finalmente las cerezas testigo o T1 de cerezas coloreadas con eritrosina con una aceptación del 12%.

Entre los comentarios que realizaron los jueces durante las pruebas sensoriales, respecto de las cerezas teñidas con Azul brillante, se destacaron “Innovadoras, atractivas y llamativas”,” Es la de mejor color” “Atractivo aspecto visual” lo cual da pie a realizar una prueba sensorial mayor para validar su aceptación y la posibilidad de introducirlas en el mercado con la certeza de que el producto es más inocuo para la salud que el elaborado con eritrosina.

Estas diferencias en aceptación y la preferencia de los consumidores fueron corroboradas desde el punto de vista estadístico, donde se demostró la existencia de una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los tratamientos según el ANOVA con un nivel del 95,0% de confianza, específicamente entre el

tratamiento testigo T1 cerezas con eritrosina respecto del grupo que forman los dos tratamientos T2 y T3 coloreado con Azul brillante según el test de Fischer.

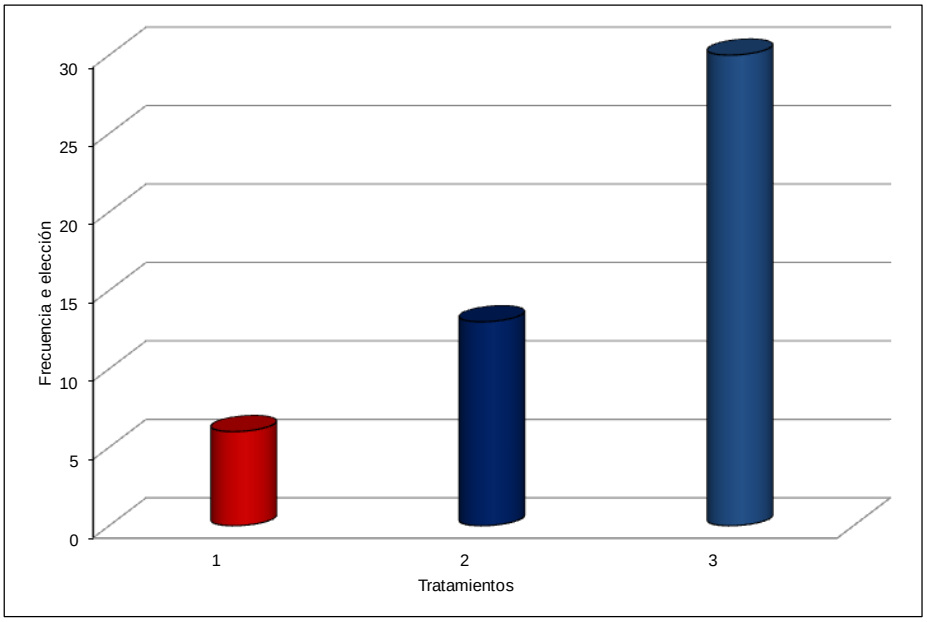


Fig. 6. Distribución de frecuencias de elección de los tratamientos.

En la figura 7 se muestran (de izquierda a derecha) las cerezas azul claro T2, azul oscuro T3 y las testigo rojas T1, que fueron mantenidas al abrigo de la luz, durante un período de 6 meses a través de una ventana de vidrio (3,5mm) .

Fig. 7. Estabilidad del color de las cerezas mantenidas en la oscuridad.

En la Figura 8 (de izquierda a derecha) se observan las cerezas azul claro (T2), azul oscuro (T3) y la testigo roja (1), expuesta a la luz durante un mismo periodo de 6 meses. Los parámetros del color se mantuvieron prácticamente inalterables en las cerezas coloreadas con azul. No así con la eritrosina (datos no mostrados)

Nota: la T3 por problemas de fotografía no se observa bien

Fig. 8. Estabilidad del color de las cerezas expuestas a la luz.

.4 Conclusiones

Los resultados demostraron que es posible elaborar con éxito cerezas en almíbar de coloración azul, mediante el empleo del colorante artificial Azul brillante FCF, donde la estabilidad del color de las cerezas a la luz se mantiene intacta, a diferencia de lo que ocurre con las cerezas rojas (colorante eritrosina), cuya decoloración es absoluta al cabo de un tiempo de exposición a la luz. Además, es importante destacar la escasa toxicidad (IDA: 12,5 mg/kg) que presenta el Azul brillante frente al resto de los colorantes sintéticos, y fundamentalmente frente a la eritrosina, que es el colorante rojo más empleado en la industria de los alimentos, y en la coloración de las cerezas comerciales, cuya IDA es de tan solo 0-0,1mg/kg.

Tanto la elevada estabilidad como la escasa toxicidad del Azul brillante, lo hace un colorante sintético más seguro y confiable para el consumo humano.

El análisis sensorial planteado permitió determinar la mejor formulación para la elaboración de una conserva de cereza con adición del colorante artificial Azul brillante, basándose en la percepción de un panel sensorial no entrenado, donde la preferencia fue claramente hacia las cerezas azules.

Si bien resulta difícil imponer un nuevo producto al mercado, los resultados que arrojó el análisis sensorial del presente trabajo fueron muy satisfactorios, con una aceptación y preferencia por las cerezas azules del 88% de los degustadores (el 12% restante del panel prefirió las cerezas rojas con eritrosina), lo cual incentiva a dar a conocer este llamativo e innovador producto al mercado.

Agradecimientos

CONICET
INTA
Facultad de Don Bosco de Enología y Ciencias de la Alimentación.
Este trabajo ha sido financiado parcialmente por el Proyecto de Investigación PNFRU 53491 INTA y forma parte de la Tesis de licenciatura de la Brom. Marianela Zanón.

Referencias

1. IDR. Cerezas 2012, pronóstico de cosecha, 2012. Recuperado el 4 de febrero del 2013, de http://www.idr.org.ar/wp-content/uploads/2012/11/Informe-PRONOSTICO-cereza-2012.pdf
2. Mittal, A.; Mittal, J.; Kurup, L. and Singh, A.K.: Process development for the renewal and recovery of hazardous dye erythrosine from wastewater by waste materials bottom ash and de-oiled soya as absorbent. Journal of Hazardous Materials, B138:95-105.; (2006)
3. A.O.A.C. Official Methods of Analysis of the Association of Official Agricultural Chemists. 100ª Edition. (1995)
4. Anzaldúa-Morales, A. La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica. España. 198 p. (1994).
5. Ríos Pérez, M.; Márquez Cardozo, C. Y Ciro Velásquez, H. Deshidratación osmótica de frutos de papaya hawaiana (Carica papaya l.) en cuatro agentes edulcorantes. Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín [en línea] 2005, vol. 58 [citado 2012-04-09]. Disponible en Internet: [http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=17991423 7012]. ISSN 0304-2847. (2005.)
6. Ceballos Chan, G.,. Estudios en papaya mínimamente procesada por deshidratación osmótica. Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Tecnología de Alimentos. Valencia. España. 196 p. (2005)
7. ICMSF (International Commission on Microbiological Specifications for Foods) Ecología Microbiana de los Alimentos. Volumen I y II. Factores que afectan la supervivencia de los microorganismos en los alimentos y Productos Alimenticios. Ed Acribia. Zaragosa. España. 989 p.(1980)
8. Mauri, L. Actividad de agua: una revisión. Techno Food. Año 1999, Nro. 10, p 4-15. (1999).
9. Konica Minolta. Kónica Minolta, 2003. Comunicación Precisa de los colores. En línea: http://www2. konicaminolta.eu /eu/Measuring/pcc/es/.html, (2003).

Elaboracion de Cerezas en Conserva con Uso del Jarabe de Glucosa Como Agente Osmodeshidratante

Mariela Maldonado[a, b], Marianela Zanon[c], Marcela Almanza[c], Mercedes Barroso[c], Gustavo Polenta[d] Gabriela Denoya [d] y Claudio Sanow [d]

[a] EEA Luján INTA Mendoza. San Martín 3853. Mayord Drummond Mendoza. Tel. Fax: 0261 4963020. mmaldonado@mendoza.inta.gov.ar
[b]CONICET
[c] Facultad de Don Bosco de enología y Ciencias de la Alimentación. Universidad Católica de Cuyo.
[d]. INTA Castelar. Instituto de Tecnología de Alimentos

Resumen: La glucosa líquida o jarabe de glucosa es un líquido viscoso derivado de la glucosa. Éste es un monosacárido o una forma de azúcar que se encuentra en las frutas y en la miel. La glucosa líquida es una mezcla de maltosa, dextrinas y dextrosa, soluble en glicerina y agua, también es ligeramente soluble en alcohol. Se obtiene por hidrólisis enzimática del almidón de maíz.Las mayores bondades que otorga el jarabe de glucosa a los productos en la industria alimentaria son: brillo, evita las cristalizaciones de algunos azúcares, humectación y como agente osmodeshidratante. A su vez industrialmente posee valores económicamente rentables respecto a los azucares convencionales Por ello éste trabajo tiene como objeto evaluar el uso de jarabe de glucosa como agente conservante y otorgador de luminosidad a las cerezas. Se elaboraron las cerezas mediante el proceso de confitado lento, con impregnaciones de 25 a 65 Brix. Entre la tercera y cuarta impregnación se hizo la coloración con eritrosina y amaranto. Luego se esterilizaron. Se midieron variables como: color, aw y textura en el producto final y ºBrix y temperatura durante el proceso. Se corroboró el aumento de la luminosidad en las formulaciones con jarabe de glucosa.

Palabras clave: glucosa, jarabe de glucosa, hidrolizados del almidón, cerezas en conserva

1. Introducción

La conservación de productos frutihortícolas ha sido desde tiempos milenarios un medio efectivo para el consumo de productos que no se encuentran presentes en todas las épocas del año. Desde la antigüedad y hasta hoy los agentes utilizados para la conservación de este tipo de alimentos son los azucares, conservantes químicos, la sal y ácidos orgánicos, además de su posterior tratamiento físico, en los casos que sean necesarios [1]. Algunos de estos agentes, como es el caso de la sacarosa y la sal, permiten la conservación en la fruta u hortaliza a través de la deshidratación osmótica[2]. Este proceso consiste en concentrar el producto mediante la inmersión del mismo en una solución hipertónica, hasta logra el equilibrio deseado que permita su conservación. En el fenómeno de deshidratación osmótica ocurre la difusión de sustancias por diferencia de concentración. [3]Es decir aumentar la presión osmótica del sistema de manera que los microorganismos no puedan desarrollarse o les sea más

difícil. Específicamente en el caso de las cerezas en conserva, el método tradicional de elaboración de las mismas consiste en la adición de edulcorantes naturales, generalmente sacarosa, en un líquido, según lo define el Código Alimentario Argentino. La sacarosa como materia prima fundamental de este proceso, se encuentra a valores onerosos; además de ello, y presenta carencia de algunas propiedades muy buscadas por la industria que sí tienen los jarabes de glucosa como es el brillo.

Teniendo en cuenta estos datos, el objetivo de esta investigación se basa en elaborar cerezas con jarabe de glucosa en distintas concentraciones y evaluar la aceptación del producto obtenido.

Por ello se demuestra que se puede reemplazar a la sacarosa por jarabe de glucosa, para la elaboración de las cerezas en conserva, esta sustitución se debe a que estos jarabes tienen la ventaja de ser económicamente más baratos ,otorgan características o cualidades al producto más ventajosas como por ejemplo brillo, otorgar mayor suavidad y cumplen ciertas funciones como por ejemplo, la función higroscópica, evitan la cristalización, pueden ser utilizados como estabilizantes y como lubricantes.

2. Materiales y Métodos

Para realizar los ensayos se utilizaron cerezas de la variedad Bing, enteras, decoloradas, descarozadas, despalilladas, sulfitadas con 3500 ppm, y de calibre 2,2 cm. Se utilizó jarabe de glucosa al 78% de Ingredion® Argentina S.A, el colorante eritrosina, soluciones al 2% de ácido cítrico y de bicarbonato de sodio (para la corrección del pH) y azúcar (sacarosa).

El candeado se hizo mediante el método lento o también llamado método Francés desde 25º a 55º Brix. Se coloreó entre la tercera y cuarta impregnación. Se envasó y esterilizó. Se midió según [4]: densidad (por gravimetría y volumen), pH (AOAC 960.10), TºC, sólidos solubles con refractómetro Arcano modelo 575 (A.O.A.C. 969.38) de las soluciones y pulpa durante el proceso, aw (AquaLab model series 4 TE), color (Kónica Minolta CR-400,) y textura (Stable Micro System TA.TXplus). En cada impregnación el jarabe se hervía se dejaba enfriar a 65 °Brix y se comenzaban las mediciones.

La pérdida de peso se midió por medio de la diferencia de pesos en balanza analítica de 15 cerezas colocadas en una malla de nylon sumergida dentro del sistema con las demás cerezas, las cuales se sacaban, escurrían durante 1min, se les sacaba el jarabe superficial con papel tisue y se volvían a pesar en igualdad de condiciones siempre.

Los datos se analizaron estadísticamente mediante StatGraphics Centurion XVI.I. Se realizó Test prueba de sensorial y nutricional de los mismos con consumidores no entrenados (Anzaldúa y Morales, [5] Para el tratamiento estadístico posterior, se asignó a cada punto de la escala un valor numérico, según se detalla a continuación:

DESCRIPCIÓN	VALOR
Me disgusta mucho	-2
Me disgusta	-1
Ni me gusta ni me	0
Me gusta	1
Me gusta mucho	2

También se pidió a los jueces que emitieran cualquier tipo de comentario, opinión o sugerencia que creyeran conveniente.

El desarrollo de los ensayos a escala semi industrial se basó en la metodología de impregnaciones lentas y se realizaron los siguientes tratamientos: testigo o T1 100% de sacarosa ,T2 se remplazo del 100% del azúcar de la formulación con un 25% de glucosa, T3 se remplazo del 100% del azúcar de la formulación con un l 50% de glucosa y T4 se remplazo del 100% del azúcar de la formulación con un 100% de glucosa, las diferencias se completaron con sacarosa. Las mediciones realizadas en todos los ensayos fueron, cada 24hs pérdida de peso, humedad, actividad de agua, color, textura, densidad, peso de las cerezas y peso del jarabe. Y en cada impregnación, durante 3 horas y cada media hora se tomó ºBrix, temperatura y pH.

3. Resultados

A continuación se muestran los resultados más relevante y representativos del trabajo.

Para el tratamiento testigo o T1 con sacarosa 100% se puede observar en la Fig. 1 pequeñas disminuciones de los ºBrix en los distintos tratamientos, este se debió a el intercambio osmótico entre el medio (jarabe) y los frutos, el cual estuvo condicionadado por la baja temperatura ambiente en que se realizaron los ensayos (temperatura de laboratorio 20-15°C por ser pleno invierno). A su vez también se observa que los valores de los ºBrix a medida que se fueron realizando las distintas impregnaciones fueron aumentando acorde a las reconstituciones de los jarabes.

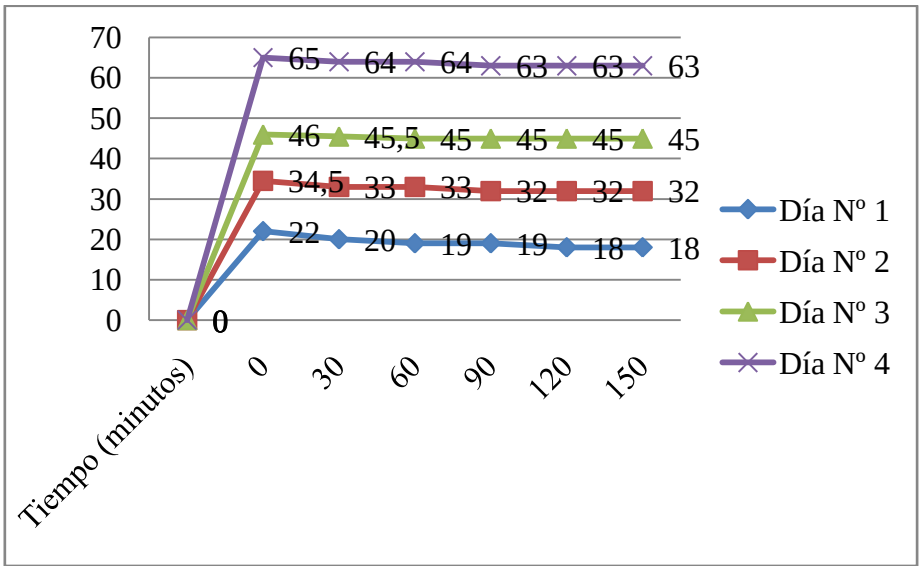


Fig. 1 Evolución de los ºBrix en función del tiempo para el Testigo o T1: sacarosa al 100%

En la fig. 2 se muestra que las mayores pérdidas de peso porcentuales fueron para las dos primeros impregnaciones, esto se debió muy posiblemente a que la mayor salida de agua y sólidos de los frutos se produjeron en las primeras horas del ensayo, en paralelo que se produjo la entrada de sólidos solubles de parte de la solución hipertónica, hasta alcanzar un equilibro osmótico en donde esa transferencia se vuelve mucho menor como se observa también en la figura 1.

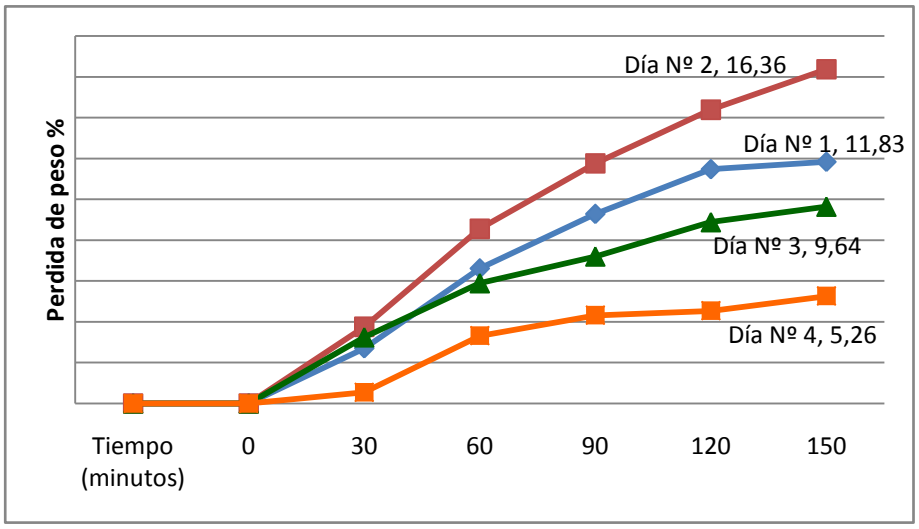


Fig. 2 Pérdida de peso porcentual para los distintos tratamientos T1:sacarosa al 100%

Para el tratamiento testigo o T1 con jarabe de glucosa al 25%

En la fig. 3 Se observan que las disminuciones de los grados ºBrix han sido diferentes (algo más acentuadas en los primeros tiempos) respecto de las del ensayo T1 o testigo (sacarosa), esto se debió muy posiblemente al comportamiento diferencial de la glucosa y la sacarosa juntas en un misma solución y conformando sistema químicamente con especies distintas en tamaño, capacidad de solvatación, formación de puentes hidrógenos, e interacciones moleculares diferenciales, como agentes deshidratantes. Todos estas son propiedades física-químicas diferenciales de las moléculas en solución y que se traslada a la matriz alimentaria y es posible que interaccionen diferente con la misma. Esto es consistente con lo que dice otros autores [6] pues de eso dependen los fenómenos como como la difusión, además de la capilaridad y éstos ocurren en el deshidratado osmótico, es de esperar que la misma se vea modificado o no de acuerdo estas mismas propiedades básicas. Según otros autores [7]En función de las propiedades físicas de la disolución osmótica se observará un comportamiento u otro, ya que la interacción de los solutos con el agua y la matriz sólida del alimento será distinta. Esta disolución osmótica en cuestión debe ser rica en solutos que depriman la actividad de agua de la fruta y que creen una diferencia de presión osmótica entre el producto a deshidratar y la disolución. Por otro lado, el tamaño de la molécula de soluto va a suponer una mayor o menor facilidad para atravesar la red tridimensional formada por los distintos constituyentes que conforman la estructura del alimento.

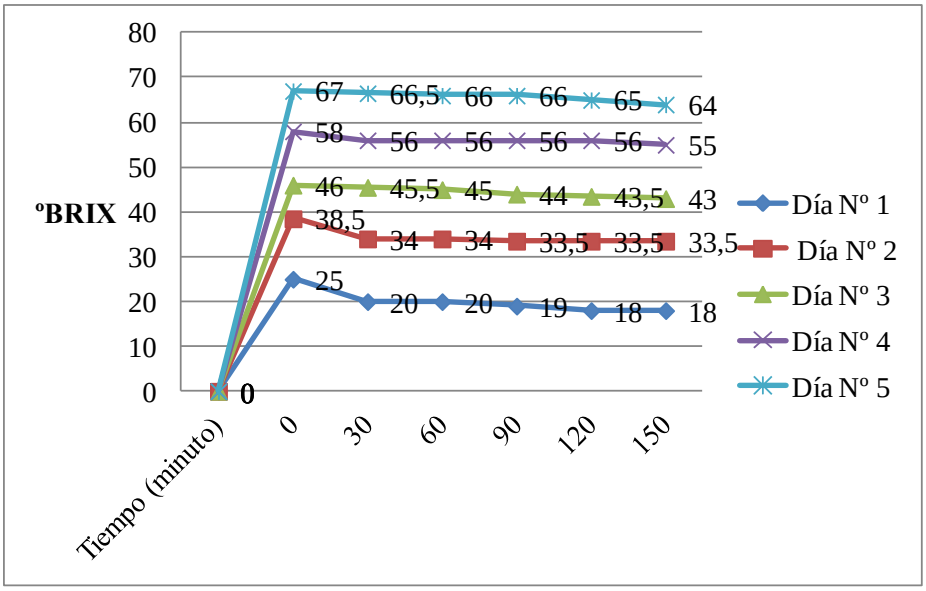


Fig. 3 Evolución de los ºBrix en función del tiempo para Tratamiento T2: glucosa al 25%

En la fig. 4 Se muestran las pérdidas de peso porcentual de los frutos para glucosa al 25%, claramente si hacemos una comparación con el ensayo testigo podemos ver que en las primeras dos impregnaciones para los dos distintos ensayos las pérdidas de peso porcentual fueron elevadas, pero al analizar la grafica también se ve que en cuarto día la pérdida de peso fue bastante significativa, esto se explica por la composición del medio en cuanto a la presencia de glucosa y sacarosa. Al parecer la glucosa, molécula más pequeña [8]podría difundir con mayor velocidad que la sacarosa y esto hace que el el flujo de agua hacia afuera con los sólidos que arrastra sea más acentuada.

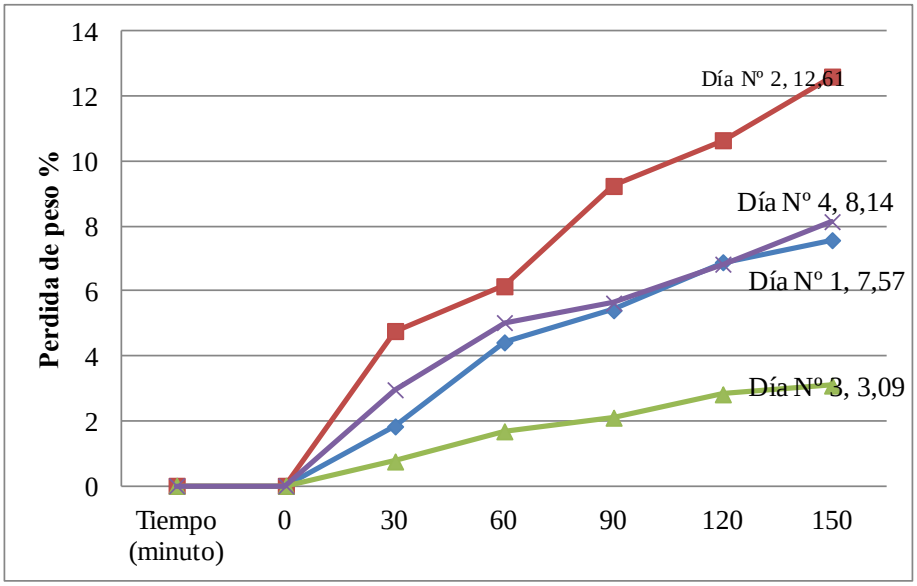


Fig. 4 Pérdida de peso porcentual para las distintas impregnaciones de T2: glucosa al 25%

Respecto de los parámetros de color analizados en el espacio de color L*a*b* (también llamado CIELAB) actualmente uno de los espacios más populares para medir el color de los objetos y se utiliza ampliamente en casi todos los campos [9]. En este espacio, L* indica luminosidad y a* y b* son las coordenadas de cromaticidad según el sistema de .En la Fig. 5 Se puede apreciar los resultados del los análisis de color hechos T2: glucosa al 25%, en los cuales, el parámetro tendencia al rojo (+a*), en donde esta aumenta al producirse la coloración de los frutos (luego de la tercera impregnación), posteriormente la Luminosidad (L*) que tiene un como respuesta al aumento de la cromaticidad, también representados por la tendencia al amarillo (b*) que se mantuvo prácticamente constante en todas las impregnaciones.

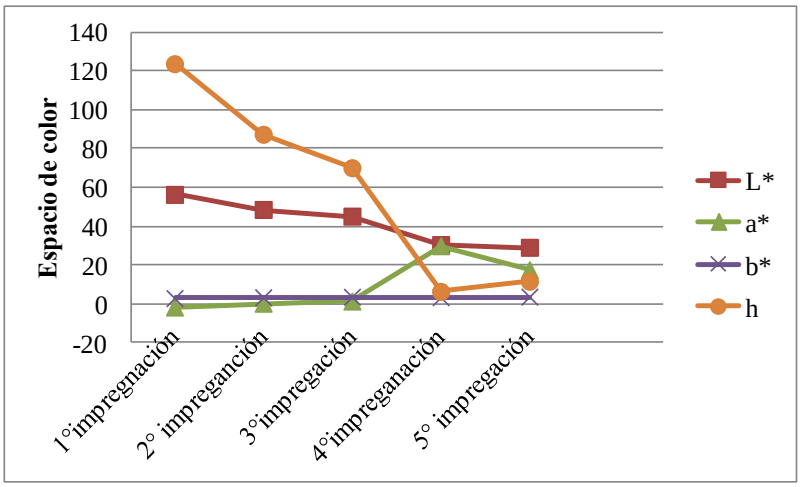


Fig. 5 Análisis de la variación del color en el T2: glucosa al 25%

Para el tratamiento testigo o T3. con jarabe glucosa al 50%

En la fig. 6 se puede observar que las disminuciones de los ºBrix en los distintos tratamientos fueron más acentuadas en relación al ensayo testigo probablemente por las diferencias de tamaños [8] molecular y los otros propiedades físico- químicas básicas que influyen en la osmodeshidratación [6] Cuando se usan solutos de bajo peso molecular sucede que las moléculas pueden ingresar más fácilmente al interior del tejido [9].

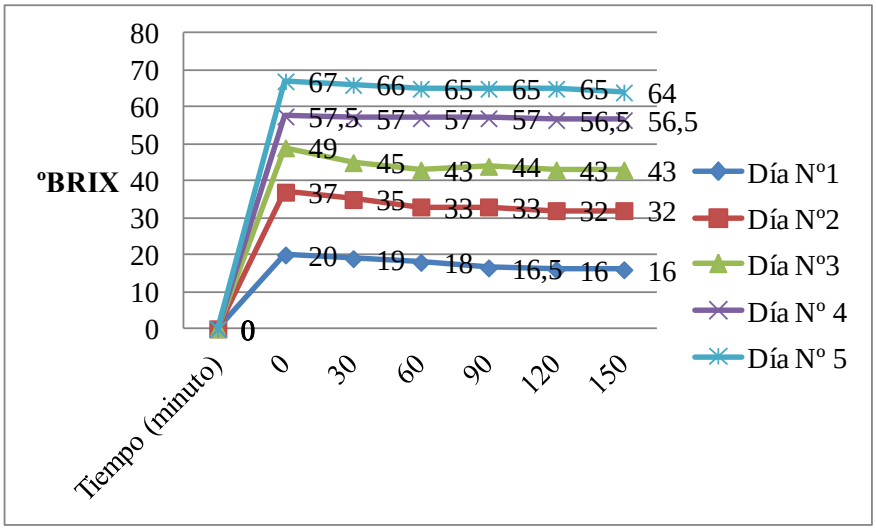


Fig. 6 Evolución de los ºBrix en función del tiempo para el Tratamiento T3: glucosa al 50%

La fig. 7 nos muestra una similitud al ensayo con glucosa al 25% en cuanto las pérdidas de peso en los dos primeros días y el cuarto día también puede verificarse lo mismo que en el ensayo T2. Respecto del testigo Sin embargo también puede observarse que a mediad que el sistema se va saturando la inclinación de las curvas de pérdida de peso va disminuyendo.

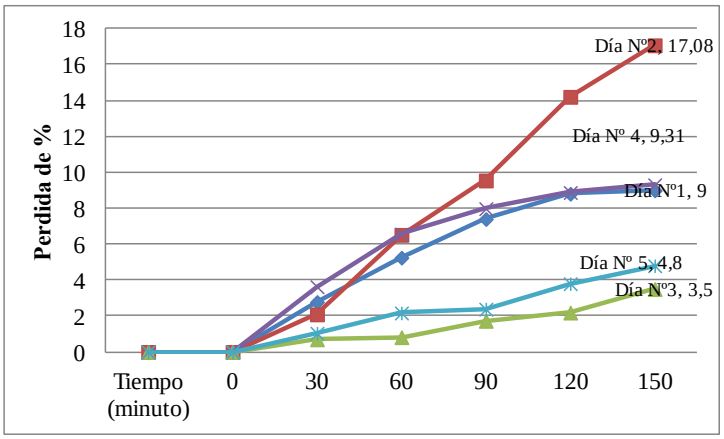


Fig. 7 Pérdida de peso porcentual para las impregnaciones para el Tratamiento T3: glucosa al 50%

En la Fig. 8 se puede observar las distintas variaciones de color en las cerezas, como en el en caso de cereza con jarabe de glucosa al 25%, los resultados son muy similares, es decir los parámetros de Tendencia al rojo (a*), Tendencia al amarillo (b*) y Luminosidad (L*), nos demuestran que varían en torno a la coloración realizada luego de la tercera impregnación, excepto para la tendencia al amarillo (b*), que se mantiene constante.

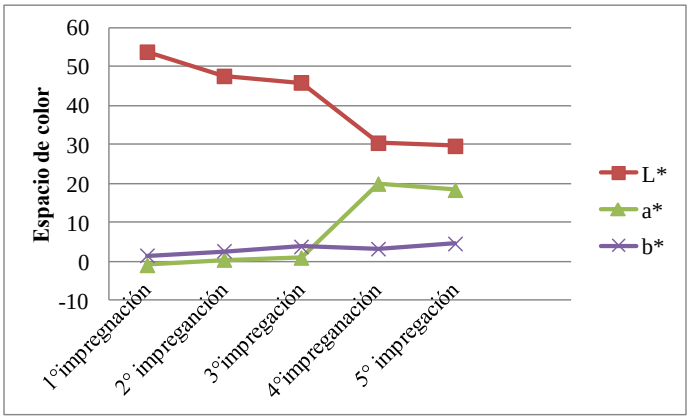


Fig. 8 Análisis de la variación del color en el T3: con glucosa al 50%

Para el tratamiento testigo o T4. con jarabe glucosa al 100%

La Fig. 9 muestra cuáles fueron las disminuciones de los ºBrix en los distintos tratamientos, se puede observar en forma muy clara que estas caídas de valores son mucho más pronunciadas que en los casos anteriores, eso es muy posiblemente a que, el medio al estar únicamente conformado por glucosa y esta ser una molécula mucho más pequeña que la sacarosa, tal como se discutió anteriormente produce la entrada de las mismas al fruto de manera más rápida que el azúcar y así desalojó el agua y sólidos del mismo, le siguió en pérdida de peso el testigo por ser la sacarosa más higroscópica y mas deshidratante que la glucosa y por último los tratamientos T3 yT2 formado por sistemas compuestos de moléculas diferenciales en sus propiedades físico químicas ya anteriormente discutidas. Aunque a simple vista se produjo en los frutos fruto un arrugamiento más pronunciado a simple vista en los tratamientos con glucosa , sobre todo en el T3, T4.

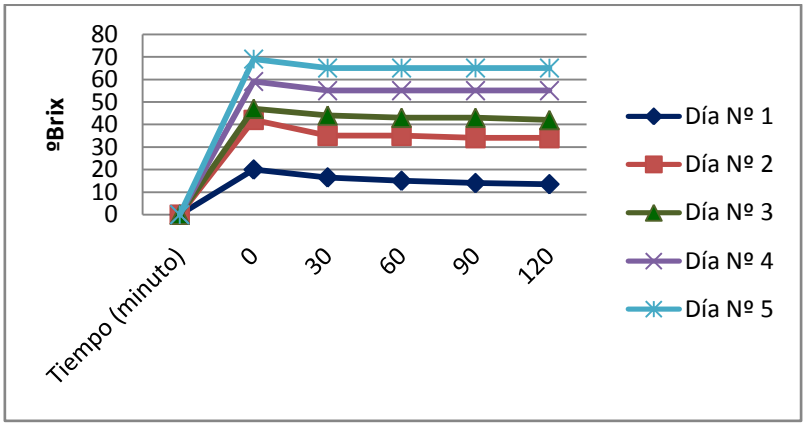


Fig. 9 Evolución de los grados ºBrix en función del tiempo para el Tratamiento T4: glucosa al 100%

En la Fig. 10 se reporta cuáles fueron las caídas de peso porcentuales en los distintos tratamientos para glucosa al 100% y deducimos que en los primero dos días las pérdidas fueron muy significativas, esto claramente se produce por ser únicamente glucosa la que ejerce poder deshidratante en los frutos, para el resto de los días el sistema se comienza a saturar y las transferencias se vuelven mucho menores tal como ya se ha discutido, que la velocidades de pérdida de agua como de peso disminuyen en cantidad y velocidad cuando el sistema más se acerca al equilibrio. Por ello, usualmente, la deshidratación osmótica no es aconsejable para obtener unas reducciones del contenido en agua superiores al 50% a causa de la pequeña velocidad de los fenómenos de transferencia, a estos niveles de concentración [7]

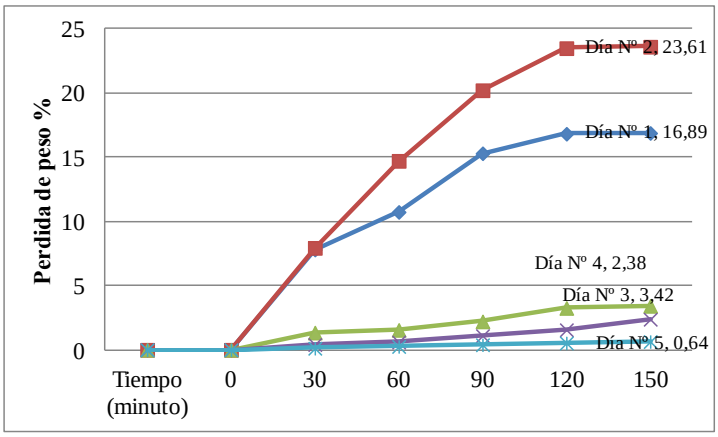


Fig. 10 Pérdida de peso porcentual para las distintas impregnaciones para el Tratamiento T3:glucosa al 100%

En la Fig. 11 claramente lo que se ha estado observando como en el resto de los ensayos elaborados con glucosa, se ven reflejados también en glucosa al 100%, es decir los parámetros de medición de color mencionados, se comportan muy similarmente, haciendo excepción un pequeña excepción para la Tendencia al rojo (a*) que se ven por debajo de los valores de los tratamientos T2 con glucosa al 25% y T3 50%.esto podría explicarse que el aumento de concentración del jarabe de glucosa aumenta mucho más la Luminosidad respecto de los parámetros de cromaticidad. En efecto fueron las más brillantes de los tratamientos comparados.

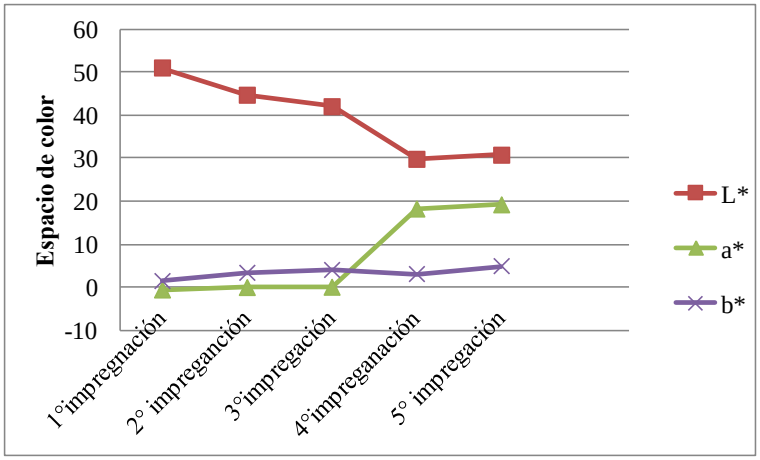


Fig. 11 Análisis de la variación del color para el Tratamiento T4: glucosa al 100%

En la figura 12 se puede observar que a medida que fueron realizándose las distintas impregnaciones en los distintos ensayos, los valores de Textura fueron aumentando para todos los casos, pero se puede ver reflejado que el ensayo T1 o testigo (sacarosa100%) obtuvo los valores de firmeza más bajos y en contraposición a esta se encontró el T4: glucosa al 100% con los valores más altos. Siendo T2 y t3 de textura menores a estos. Esto podría explicarse desde el punto de vista de la heterogeneidad de las moléculas que en concentraciones altas podrían comenzar a cristalizar dentro de la fruta o acomodarse de tal manera que produzcan mayor resistencia a la presión, pero por otro lado también, debido a la alta plasmolización de la células que produce el jarabe de glucosa respecto de la solución o jarabe logrado con la sacarosa o sus combinaciones (T3 y T2)

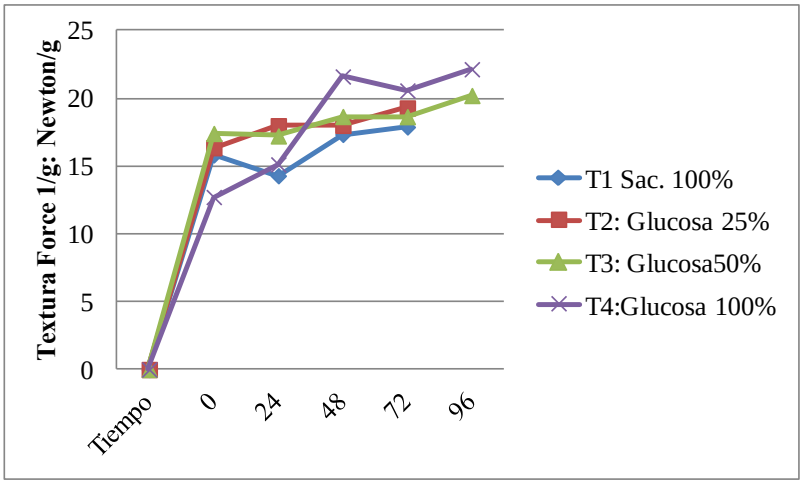


Fig. 12 Análisis de las distintas texturas en los distintos tratamientos

Para el análisis sensorial, en la fig. 13 los resultados obtenidos demuestran que la preferencia de los productos se volcó, hacia la muestra Testigo o T1: sacarosa al 100%, posiblemente por el acostumbramiento del jurado al sabor más habitual con una aceptación del 43%, luego le siguió el tratamiento T2:glucosa al 25%, con un 27% de aceptación; El T3: glucosa al 50%, fue de un 22% y por último el T4 con jarabe de glucosa al 100% con un 8%.de preferencia. Par un α (0,05), existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 4 tratamientos y según el variables con un nivel del 95,0% de confianza. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher estableció que existe diferencia significativa en entre el T2 (glucosa 25 % respecto de los otros tratamientos (T1, T3 y T4). Esto puede dar una idea de que el tratamiento T1con Glucosa fue elegido por ser diferente respecto de los otros.

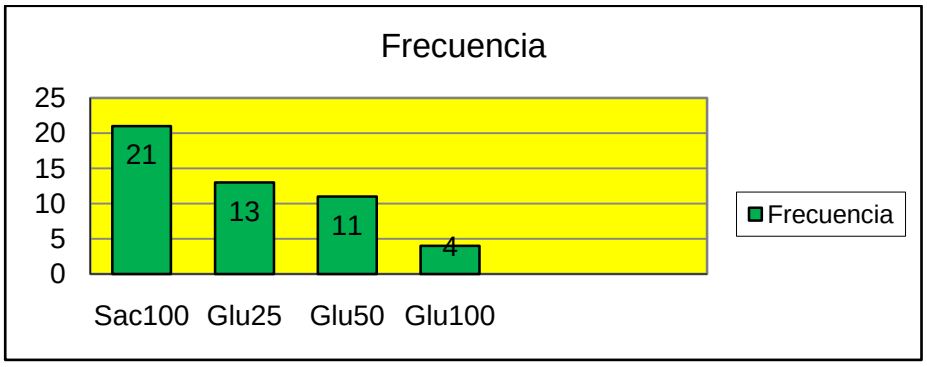


Fig. 13 Distribución de frecuencias de elección de los tratamientos

4. Conclusiones

Los resultados demostraron que se puede elaborar cerezas en conserva con uso de jarabe de glucosa como agente osmodeshidratante. A su vez la glucosa como agente osmótico tiene un poder de deshidratación menor que la sacarosa, pero al ser la molécula de menor tamaño que el azúcar, posee una difusividad mayor en los tejidos de los frutos, es decir esto provoca una salida de agua mayor y una disminución de los sólidos solubles del medio y le aporta a la fruta una mayor firmeza final. En todos los tratamientos con jarabe de glucosa esta aporta más brillo. Sensorialmente otorga mayor brillo y firmeza a los productos estudiados, lo que se vio reflejado en los comentarios del análisis sensorial. Y por ultimo es económicamente más rentable, porque el precio actual por Kg de glucosa es de $ 3,50 utilizándola al 100%, pero se destaca que la mayor apreciación sensorial fue para glucosa al 25%, tal como se usa en la industria, la proporción de glucosa que se le agrega no llega al 50 % ya que no siempre la formulación más económica brinda, las características más buscadas en el alimento. No obstante la utilización de este jarabe natural provee las suficientes propiedades funcionales como para ser elegido y participar de la formulación de las cerezas en conserva.

Agradecimientos

CONICET
INTA
Facultad de Don Bosco de Enología y Ciencias de la Alimentación.
Este trabajo ha sido financiado parcialmente por el Proyecto de Investigación PNFRU 53491 INTA y forma parte de la Tesis de licenciatura de la Brom. Mercedes Barroso.

Referencias

1. Multon, J. *Aditivos y auxiliares de fabricación en las industrias agroalimentarias*. España: (1988)
2. Barbosa Canovas, Gustavo V. *Deshidratación de alimentos*. España. (2000)

3. Crank, John. *The Mathematics of Diffusion*. Inglaterra, London Uk: University Oxford. (1956)
4. A.O.A.C. 1995. Official Methods of Analysis of the Association of Official Agricultural Chemists. 100ª Edition
5. Anzaldúa-Morales, A. 1994. La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica. España. 198 p.
6. Ceballos Chan, G., 2005. Estudios en papaya mínimamente procesada por deshidratación osmótica. Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Tecnología de Alimentos. Valencia. España. 196 p.
7. Díaz Mora, M. 2003. Evaluación preliminar de la vida de anaquel de papaya tratada osmóticamente con películas de quitosano. Tesis Licenciatura. Ingeniería de Alimentos. Departamento de Ingeniería Química y Alimentos, Escuela de Ingeniería, Universidad de las Américas Puebla. Enero. Derechos Reservados © 2003.
8. Chenlo, F., Moreira, R., Fernández-Herrero, C., & Vázquez, G. (2006a).Mass transfer during osmotic dehydration of chestnut using sodium. chloride solutions. Journal of Food Engineering, 74, 253–262.
9. Chenlo, F., Moreira, R., Fernández-Herrero, C., & Vázquez, G. (2006b).Experimental results and modelling of the osmotic dehydration kinetics of chestnut with glucose solutions. Journal of Food Engineering, 74, 324–334.
10. Roge B. and Mathlouthi, M . 2010. Effect of conformation and water interactions of sucrose, maltitol, mannitol and xylitol on their metastable zone width and ease of nucleation Food Chemistry 122: 443–446
11. Maldonado M.B: TesisDoctoral.El Fenómeno de Difusión de Sodio Durante el Desamarizado de Aceitunas Verdes de Mesa. Doctorado en Ciencias Biológicas, orientación Biología Celular y Molecular Biblioteca del Programa de Posgrado en Biología. (Probiol). Universidad Nacional de Cuyo (2004)

Obtención de Co_3O_4 Nano-estructurado Mediante Síntesis por Combustión Utilizando Diferentes Combustibles

Mariana Rodriguez [a], Leonardo D. Tornello Nasisi [a], Alfredo Estrella[a], Jesús N. Urrutia Aguilera [a], M. Emilia Fernandez de Rapp [b], María Celeste Gardey Merino [a1], Gustavo E. Lascalea [c] y Patricia Vázquez [d]

a Grupo CLIOPE, Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Mendoza, Rodríguez 273, Mendoza-5500.
mariana_ro24@hotmail.com, leotn2@yahoo.com.ar, alfredoestrella_37@hotmail.com, jesus.urrutia@live.com, mcgardey23@hotmail.com

[b] Centro de Investigaciones en Sólidos (CINSO) CITEDEF – CONICET, J.B. de La Salle 4397, Villa Martelli, Prov. de Buenos Aires (B1603ALO), mrapp@citedef.gob.ar

[c] Laboratorio de Investigaciones y Servicios Ambientales Mendoza (LISAMEN) - CCT CONICET– Mendoza, Av.Ruíz Leal s/n. Parque General San Martín, Mendoza-5500.
glascalea@lab.cricyt.edu.ar

[d] Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencias Aplicadas "Dr. Jorge J. Ronco" (CINDECA) CCT CONICET – La Plata, Universidad Nacional de La Plata, Calle 47 N° 257 La Plata-1900, Buenos Aires. vazquez@quimica.unlp.edu.ar

Resumen. Se obtuvieron polvos nano-estructurados de Co_3O_4 utilizando diferentes combustibles como Asp, Tris, Edta y Lis, donde se estudiaron dos tipos de rutas: estequiométrica o con exceso de combustible. Para un mismo compuesto orgánico, se observa que con las rutas con exceso de combustible el tamaño de cristalita es mayor que el obtenido mediante el enfoque estequiométrico. El menor tamaño promedio de cristalita observado fue para la ruta estequiométrica utilizando lisina como combustible (19nm), mientras que el mayor corresponde a la muestra de Co_3O_4-EC-Edta de 47 nm. Se puede concluir, entonces, que el tamaño promedio de cristalita y el área específica de los pigmentos varían ambos tanto con el tipo, como con la cantidad de combustible usado.

Palabras Clave: Co_3O_4, síntesis por combustión, polvos nano-estructurados, ácido aspártico.

1 Introducción

Los óxidos de los metales de transición (Co, Mn, Fe, Cr), entre ellos el Co_3O_4, presentan una alta absorción en el espectro solar debido a que existen numerosas transiciones electrónicas permitidas entre sus orbitales *d* parcialmente ocupados [1]. Los pigmentos de cobalto presentan una gran importancia debido a su espectacular variedad de colores, que habilita a una alta capacidad para colorear y una notable

estabilidad térmica aún en condiciones reductoras [2]. Es por esto que se utilizan como pigmentos absorbedores en pinturas absorbentes para colectores solares, entre otras aplicaciones. Varios investigadores han preparado nanopartículas de Co_3O_4 por distintos métodos como: precipitación [3], sol-gel [4], spray-pirólisis [5], síntesis hidrotermal [6], y otros procesos novedosos como: por reflujo [7], mecanoquímicos [8], asistidos por ultrasonido [9], sobre bioplantillas [10] y hasta por deposición química en fase vapor (CVD) [11]; utilizando complejos orgánicos [82] y mediante síntesis por gelificación-combustión [13, 14].

En particular, en las síntesis por gelificación-combustión de Co_3O_4, se han estudiado aspectos como: la influencia de la relación combustible-oxidante sobre las propiedades de los polvos obtenidos en síntesis por combustión de Co_3O_4 basadas en urea, lográndose parametrizar el proceso para obtener el menor tamaño de partícula, que resultó de 6nm calculado mediante la ecuación de Scherrer [13]; y la influencia del tipo de combustible y la relación combustible-oxidante de partículas de Co_3O_4 obtenidas mediante síntesis por gelificación-combustión utilizando urea o glicina como combustibles. Donde el menor tamaño promedio de cristalita fue de 23nm y la mayor área específica fue de $36m^2/g$ utilizando glicina como combustible.

Entonces, en este trabajo se propone la obtención de polvos de Co_3O_4 para ser utilizado como pigmentos absorbedores de pinturas selectivas mediante el uso combustibles novedosos como Ácido aspártico (Asp), Lisina (Lis), tri-hidroximetil-aminometano (Tris) y el ácido etilendiaminotetraacético (Edta) mediante síntesis por gelificación-combustión empleando rutas estequiométricas o con exceso de combustible. Una vez obtenidos los polvos se caracterizaron mediante difracción de rayos X (DRX), microscopía electrónica de barrido (SEM) y de transmisión (TEM), espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR), por técnicas termogravimétricas (TGA-DSC) y mediante BET para conocer las propiedades texturales. El objetivo es determinar la influencia del combustible y el tipo de ruta utilizada en las propiedades finales de los polvos obtenidos como su estructura cristalina, tamaño promedio de cristalita y, tamaño y forma de partículas y determinar el material que presenta mejores propiedades para su aplicación en pinturas absorbentes solares.

2 Parte Experimental

Todos los reactivos utilizados fueron de grado pro-análisis.

2.1 Rutas estequiométricas

Los pigmentos de Co_3O_4 se obtuvieron a partir de $Co(NO_3)_2.6H_2O$ y el combustible electo en cada caso. La solución precursora se preparó a partir de 5g de la sal, la cantidad estequiométrica de combustible y agua destilada. La misma solución con un valor de pH que depende del combustible utilizado, se colocó a concentrar sobre una placa calefactora aprox. a 250°C. La cantidad de combustible utilizado, el pH de la

solución precursora y el final de la combustión para cada combustible se indican en la Tabla 1. Una vez obtenidas las cenizas se colocaron por una hora en una estufa a 200°C aprox. para que se complete la reacción y, finalmente, en un horno al aire a 500°C durante 2h para su posterior calcinación, cuyo objetivo es eliminar los residuos carbonosos y obtener la fase cristalina deseada, Co_3O_4.

Tabla 1. Detalles de las reacciones estequiométricas.

Combustible	**Cantidad de combustible utilizada [g]**	**pH de la solución precursora**	**Combustión**	**Denominación de los pigmentos**
Asp	1.37	3	Con chispa y llama	Co_3O_4-ES-Asp
Edta	1.13	2	Sin chispa y llama	Co_3O_4-ES-Lis
Lis	0.83	3	Con chispa y sin llama	Co_3O_4-ES-Edta
Tris	0.89	7	Sin chispa y con llama	Co_3O_4-ES-Tris

Las reacciones estequiométricas a partir de las cuales se determinaron las cantidades de los reactivos fueron las siguientes:

Para las síntesis empleando Asp:

$$10\ Co(NO_3)_2.6H_2O + 6\ C_4H_7NO_4 \rightarrow 5\ Co_2O_3 + 24\ CO_2 + 81\ H_2O + 13\ N_2 \quad \textbf{(1)}$$

Para las síntesis empleando Edta:

$$40\ Co(NO_3)_2.6H_2O + 9\ C_{10}H_{16}N_2O_8 \rightarrow 20\ Co_2O_3 + 90\ CO_2 + 312\ H_2O + 49\ N_2 \quad \textbf{(2)}$$

Para las síntesis empleando Lis:

$$34\ Co(NO_3)_2.6H_2O + 9\ C_6H_{14}N_2O_2 \rightarrow 17\ Co_2O_3 + 54\ CO_2 + 267\ H_2O + 43\ N_2 \quad \textbf{(3)}$$

Para las síntesis empleando Tris:

$$14\ Co(NO_3)_2.6H_2O + 6\ NH_2C(CH_2OH)_3 \rightarrow 7\ Co_2O_3 + 24\ CO_2 + 117\ H_2O + 17\ N_2 \quad \textbf{(4)}$$

2.2 Ruta con exceso de combustible

Para la obtención de Co_3O_4 se utilizaron, como reactivos, nitrato de cobalto hexahidratado $Co(NO_3)_2.6H_2O$ y el combustible de elección para cada caso. Se preparó una primera solución a partir de 5g de nitrato de cobalto, 10mL de ácido nítrico concentrado (NHO_3), y cantidad suficiente de agua destilada para alcanzar 100mL. Esta solución se concentró por evaporación sobre una platina calefactora

para reducir la cantidad de nitratos hasta un pequeño volumen, luego se volvió a completar hasta los 100mL con agua destilada y se preparó una segunda solución formada por el combustible disuelto en agua destilada. La cantidad de combustible utilizada fue calculada a partir de la relación moles de combustible/mol de Co, correspondiente al compuesto usado se muestra en la Tabla 2 y a modo de comparación se muestran las relaciones para las síntesis estequiométricas.

Tabla 2 Relación mol de combustible/mol de Co

Combustible	**Relación mol de combustible/mol de Co**	
	Rutas con exceso de combustible	**Rutas estequiométrica**
Asp	3	0.6
Lis	1.32	0.22
Edta	1.12	0.26
Tris	2.14	0.43

Para el progreso de la síntesis en curso, se mezcló la primera y segunda solución obteniéndose otra solución cuyo pH dependió de la cantidad de combustible programada. Los valores de pH de cada experiencia (denotados como pH inicial) se informan en la Tabla 3.

Tabla 3. Datos del proceso de síntesis con exceso de combustible para cada combustible.

Combustible	**Cantidad de combustible utilizada [g]**	**pH inicial**	**pH final**	**Denominación de los pigmentos**
Asp	6.86	1	7	Co_3O_4-EC-Asp
Lis	4.15	2	8	Co_3O_4-EC-Lis
Edta	5.65	1	8	Co_3O_4-EC-Edta
Tris	4.46	1	8	Co_3O_4-EDTA-Tris

Finalmente, se agregó, gota a gota y agitando, una solución de hidróxido de amonio (NH_4OH) diluido (1+1) (ya que esta especie no introduce cationes fijos al sistema), para elevar el pH hasta el valor más alto posible sin que se observe ningún precipitado (este valor depende del combustible y está indicado en la Tabla 3 como pH final). Consolidado el pH final, se concentró por calefacción aprox. a 250°C. En todos los casos, los cationes se mantuvieron solubilizados como complejos de coordinación, evidentemente termoestables, ya que al concentrar calentando, el medio se mantuvo homogéneo hasta gelificar. Posteriormente, se obtuvo en cada caso un gel fundido que, progresivamente, formó una espuma y luego entró en ignición. Al apagarse espontáneamente la combustión, que para todos los combustibles utilizados ocurrió con chispas y llama, se obtuvieron cenizas remanentes como producto a

procesar térmicamente, por calcinación. Una vez obtenidas las cenizas se colocaron durante 1h en una estufa a 200°C aprox. para que se complete la reacción y, finalmente, en un horno al aire a 500°C durante 2h, para su posterior calcinación, cuyo objetivo es eliminar los residuos carbonosos y obtener la fase cristalina deseada, del Co_3O_4.

La cantidad de reactivos para las reacciones con exceso de combustible se determinó empleando el criterio del balance de la valencia oxidativa tomándose como referencia una ruta de nitratos-glicina para obtener ZrO_2-15%molarCeO_2, en el que se obtuvo, a través de un estudio monoparamétrico, la relación combustible/metal óptima buscando maximizar el área específica de los polvos obtenidos, parametrizando el contenido de glicina en la solución precursora [15,16].

2.3 Caracterización de los materiales

Las fases presentes en los polvos calcinados se identificaron mediante difracción de rayos X (DRX) utilizando un Difractómetro Philips PW 3710 operado con radiación Cu-Kα. La morfología superficial de las muestras fue obtenida mediante microscopía de barrido con un microscopio Philips 505. Además, la forma y el tamaño promedio aproximado de las partículas fue observado mediante microscopía de transmisión con un microscopio JEOL 100 CX II operado con un voltaje de aceleración de 100kV y magnificaciones en el rango de 100000x - 200000x. Por otro lado mediante espectroscopía de infrarrojo con transformada de Fourier (FT-IR) se obtuvieron los patrones de absorción utilizando un equipo Bruker IFS 66. Finalmente se realizó un análisis termogravimétrico (TGA) con un detector SHIMADZU tipo TGA-51 a una velocidad de 20ºC/min entre temperatura ambiente y 600ºC en una celda de platino, en aire; mientras que la calorimetría diferencial de barrido (DSC) se llevó a cabo con un detector SHIMADZU tipo DSC-50 a una velocidad de barrido de 20ºC/min, registrando entre temperatura ambiente y 600ºC en una celda de aluminio, en aire. Finalmente se determinaron las propiedades texturales de los materiales obtenidos mediante la técnica BET con un equipo Micromeritics Accusorb 2100.

3 Resultados

En la Tabla 4 se informan los valores de las propiedades texturales para los pigmentos obtenidos mediante rutas estequiométrica y con exceso de combustible. Cabe mencionar que los resultados obtenidos a partir de esta técnica son los primeros y únicos que se realizaron para estos óxidos por lo que deben considerarse como preliminares, detectando la necesidad de modificar algunos parámetros experimentales para mediciones futuras.

El mayor valor de área específica fue observado en la muestra Co_3O_4-EC-Edta y fue de 29m^2/g, mientras que el menor fue de 4m^2/g para la muestra Co_3O_4-EC-Asp. En síntesis por gelificación-combustión de Co_3O_4 utilizando glicina como combustible se obtuvieron valores similares, en un rango de 5 a 36m^2/g [14], mientras que, por métodos hidrotermales, se alcanzaron áreas de 73m^2/g [17] y por

precipitación de 78m^2/g [18], es evidente que mediante síntesis por combustión las áreas específicas alcanzadas son menores en comparación con las resultantes de otros métodos ya informados en literatura.

Tabla 4. Resultados de las propiedades texturales de las muestras obtenidas mediante rutas estequiométricas y con exceso de combustible.

Pigmento	**Área Específica BET** **[m^2/g]**	**Volumen de Poro** **[cm^3/g]**	**Diámetro de Poro BET** **[nm]**	**Diámetro de Poro BJH** **[nm]**
Co_3O_4-ES-Asp	20	0.03	6	16
Co_3O_4-EC-Asp	4	-	3	61
Co_3O_4-ES-Lis	13	0.02	6	25
Co_3O_4-EC-Lis	8	0.02	8	8
Co_3O_4-ES-Edta	23	0.05	8	16
Co_3O_4-EC-Edta	29	0.13	18	25
Co_3O_4-ES-Tris	14	0.02	7	24
Co_3O_4-EC-Tris	9	-	4	17

Se observa, para un combustible dado, que las muestras obtenidas mediante rutas estequiométricas tienen una mayor área específica que aquellas obtenidas mediante un exceso de combustible. Esto sucede para las muestras obtenidas con Asp, Lis y Tris. Considerando las muestras obtenidas con Edta, se observa la mayor área para la obtenida mediante la ruta con exceso de combustible que para la estequiométrica.

Otra forma de conocer los aspectos superficiales de los polvos es mediante el conocimiento de la topografía de las partículas, realizadas mediante técnicas de microscopía como SEM. Las micrografías SEM de las muestras obtenidas mediante las rutas estequiométricas y con exceso de combustible, se pueden observar desde las Figuras 1 a la 8.

Con respecto a la morfología superficial, para todas las muestras obtenidas se puede ver en las micrografías SEM una aglomeración de partículas en todos los casos y, en particular para las rutas estequiométricas se observa una estructura menos compacta que para las rutas con exceso de combustible

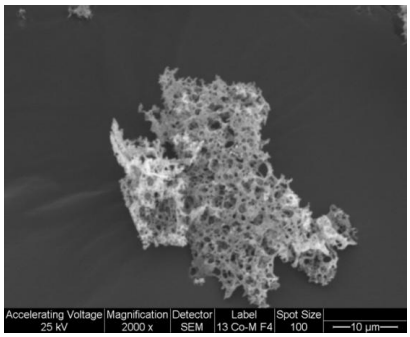


Fig. 1. Micrografía SEM de la muestra Co_3O_4-ES-Asp.

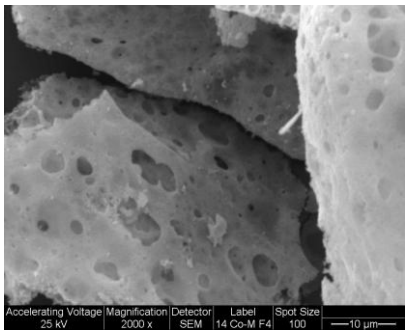


Fig. 2. Micrografía SEM de la muestra Co_3O_4-ES-Lis.

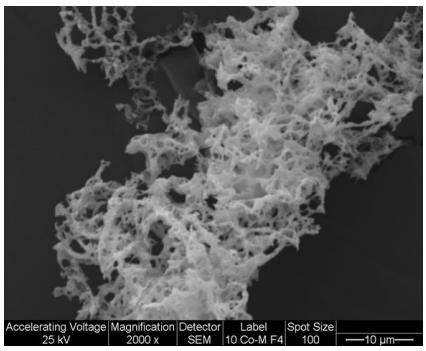


Fig. 3. Micrografía SEM de la muestra Co_3O_4-ES-Edta.

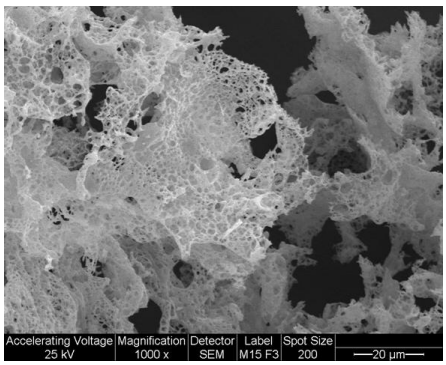


Fig. 4. Micrografía SEM de la muestra Co_3O_4-ES-Tris.

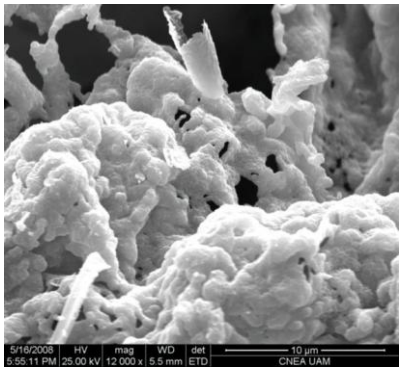


Fig. 5. Micrografía SEM de la muestra Co_3O_4-EC-Asp.

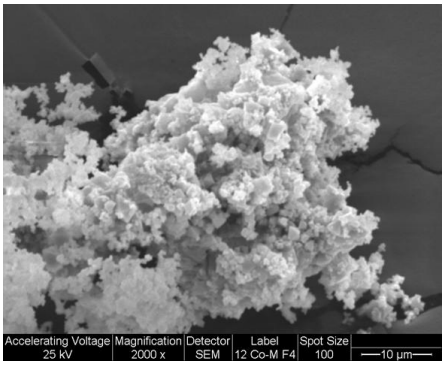


Fig. 6. Micrografía SEM de la muestra Co_3O_4-EC-Lis.

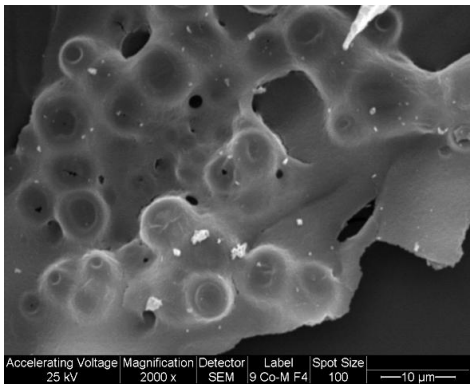


Fig. 7. Micrografía SEM de la muestra Co_3O_4-EC-Edta.

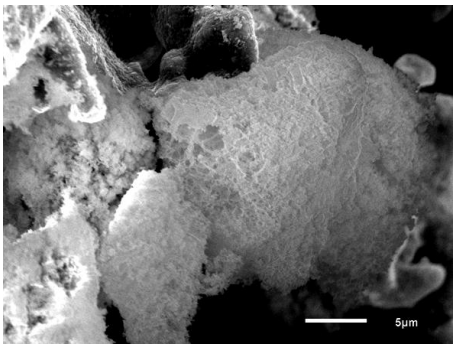


Fig. 8. Micrografía SEM de la muestra Co_3O_4-EC-Tris.

Terminando con el estudio superficial de los pigmentos se estudiarán propiedades más relacionadas con el material másico, como el tipo de enlace presente en los pigmentos, mediante FT-IR. Con este motivo se repitió varias veces la síntesis para obtener la muestra Co_3O_4-EC-Lis, de las cuales se obtuvo el espectro FT-IR de cada una. Como resultado, se obtuvo para todas las repeticiones el mismo espectro, que se muestra en la Figura 9. En él se observan dos bandas diferentes a (ν_1) 622 y (ν_2) 727cm^{-1} que estarían originadas por las vibraciones causadas por la extensión de las uniones metal-oxígeno, lo que es coherente y confirma la obtención de un Co_3O_4 con estructura de tipo espinela [7]. La banda ν_1 es característica de la vibración del Co^{+3} en el sitio octaédrico y la ν_2 se atribuye a la vibración del Co(II) en sitios tetraédricos en la red de la espinela. Las bandas más anchas a 3600, 2405 y 1590cm^{-1} son debidas a la vibración relacionada con la extensión del enlace O-H a través de las uniones H correspondientes al agua. Las bandas correspondientes al óxido de cobalto ν_1 y ν_2, son observadas a 586 y 671cm^{-1}, en Co_3O_4 sintetizado mediante microondas [19].

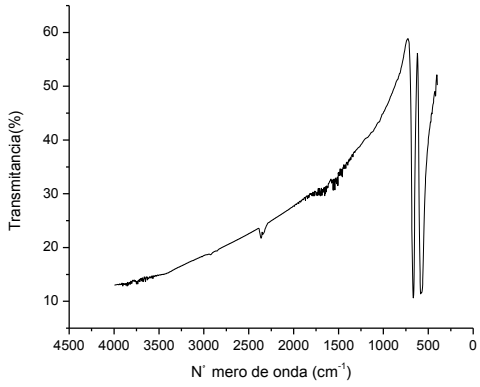


Fig 9. Espectro FT-IR de la muestra de Co_3O_4-EC-Lis.

Se realizaron también análisis térmicos, como TGA y DSC sobre los óxidos de cobalto. Como ejemplo, se realizaron sobre las cenizas de la muestra Co_3O_4-EC-Asp, cuyos resultados se muestran en la Figura 10.

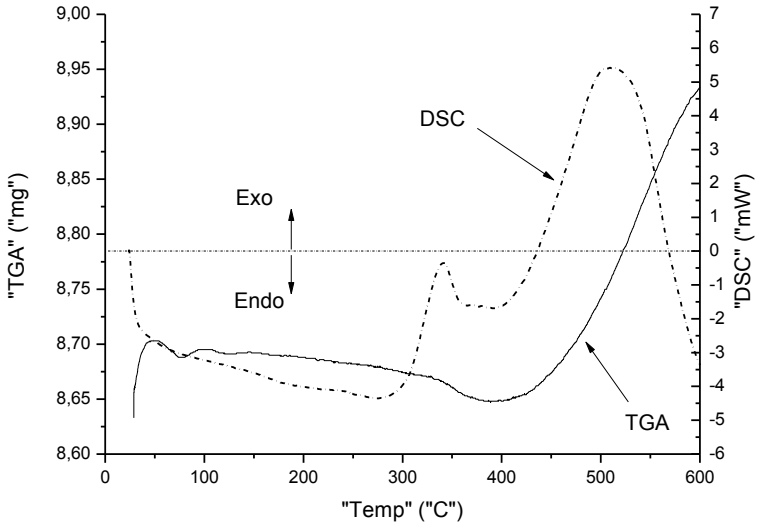


Fig. 10. Análisis térmico de la muestra Co_3O_4-EC-Asp**.**

Aquí, se observa a partir de los 500°C un aumento de 20mg en una muestra total de aprox. 1g considerado un aumento considerablemente pequeño y, a la misma temperatura, se observa una transformación exotérmica que liberó unos 9mW de calor. Es posible que ambos cambios estén asociados a un cambio de fase desde la fase CoO a la fase Co_3O_4, de acuerdo con las fases encontradas por Toniolo y col. [14] en las cenizas, luego de una síntesis por combustión de óxidos de cobalto. Tales fases que podrían ser Co, CoO o Co_3O_4 o una combinación de acuerdo con el tipo de combustible y con las relaciones combustible-oxidante empleadas. El aumento de temperatura suele tener asociado un aumento en el tamaño de partícula.

En forma aproximada, se determinó el tamaño promedio de partícula mediante simple observación por TEM, además de su forma. En las Figuras 11 a 18 se muestran las micrografías TEM obtenidas de los pigmentos de Co_3O_4.

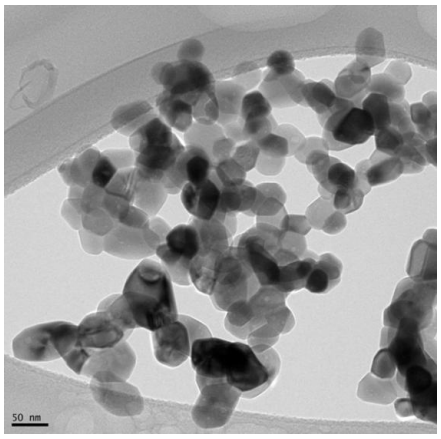


Fig. 11. Micrografía TEM de la muestra Co_3O_4-ES-Asp.

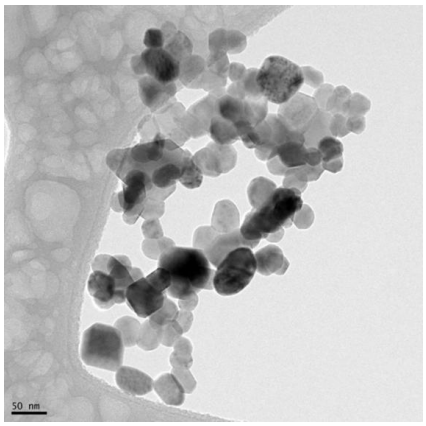


Fig. 12. Micrografía TEM de la muestra Co_3O_4-ES-Lis.

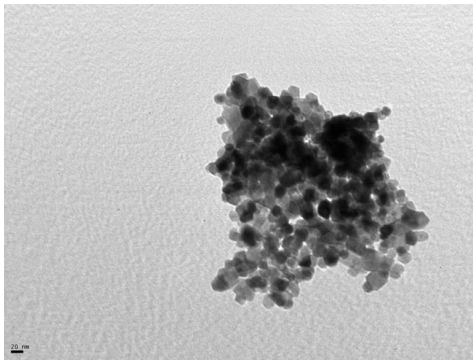


Fig. 13. Micrografía TEM de la muestra Co_3O_4-ES-Edta.

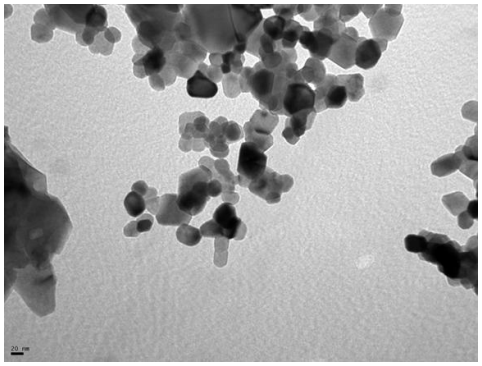


Fig. 14. Micrografía TEM de la muestra Co_3O_4-ES-Tris.

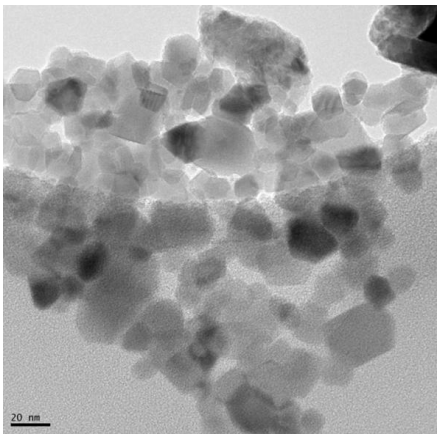


Fig. 15. Micrografía TEM de la muestra Co_3O_4-EC-Asp.

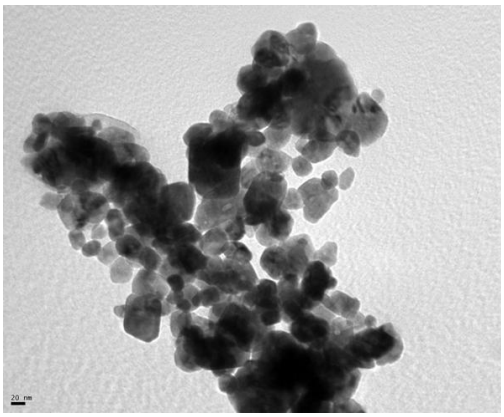


Fig. 16. Micrografía TEM de la muestra Co_3O_4-EC-Lis.

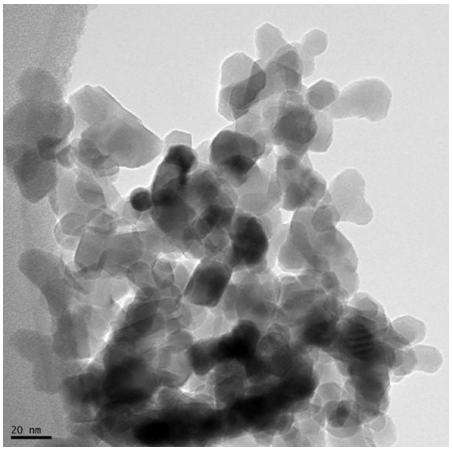


Fig. 17. Micrografía TEM de la muestra Co_3O_4-EC-Edta.

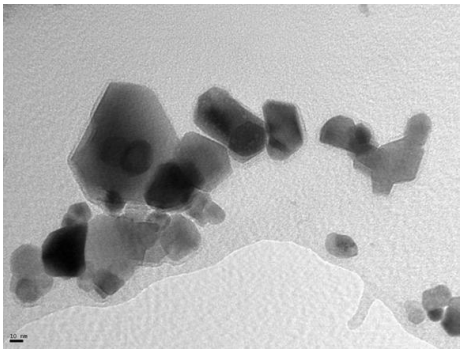


Fig.18. Micrografía TEM de la muestra Co_3O_4-EC-Tris.

En las micrografías TEM se observa un tamaño promedio de partícula entre 50 y 100nm y una forma poliédrica, en particular se observan algunas de forma octaédrica. En todos los pigmentos obtenidos luego de la calcinación se obtuvo la estructura cristalina de espinela, cúbica centrada en las caras, correspondiente al Co_3O_4 según la base de datos ICSD N° 36256. En las Figuras 19 y 20 se muestran los difractogramas correspondientes a las muestras obtenidas mediante las rutas con exceso de combustible y, estequiométricas respectivamente.

Mediante DRX, también, se determinaron los tamaños de cristalita promedio de cada una de las muestras, teniendo en cuenta los siguientes picos del Co_3O_4: a los 31°, 37°, 38° y 45°. Los tamaños promedios obtenidos mediante la ecuación de Scherrer se muestran en la Tabla 5.El menor valor promedio de cristalita de 19nm corresponde

a los pigmentos Co_3O_4-ES-Lis y el mayor corresponde a la muestra de Co_3O_4-EC-Edta con 47 nm. Con los resultados de la Tabla 5 se evidencia que los tamaños de cristalita correspondientes a los pigmentos de las rutas estequiométrica son menores a los obtenidos con exceso de combustible para un mismo combustible.

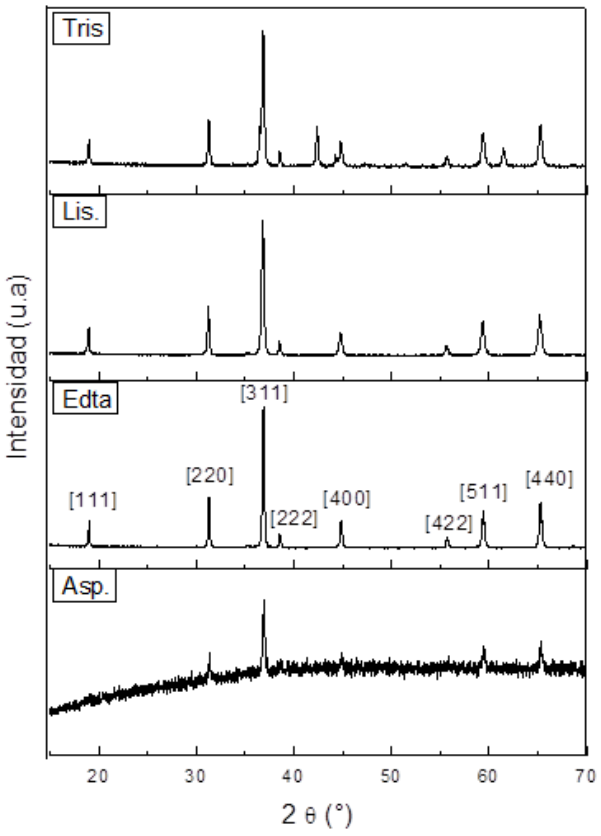


Fig.19. Difractogramas de los pigmentos de Co_3O_4 obtenidos mediante las rutas con exceso de combustible.

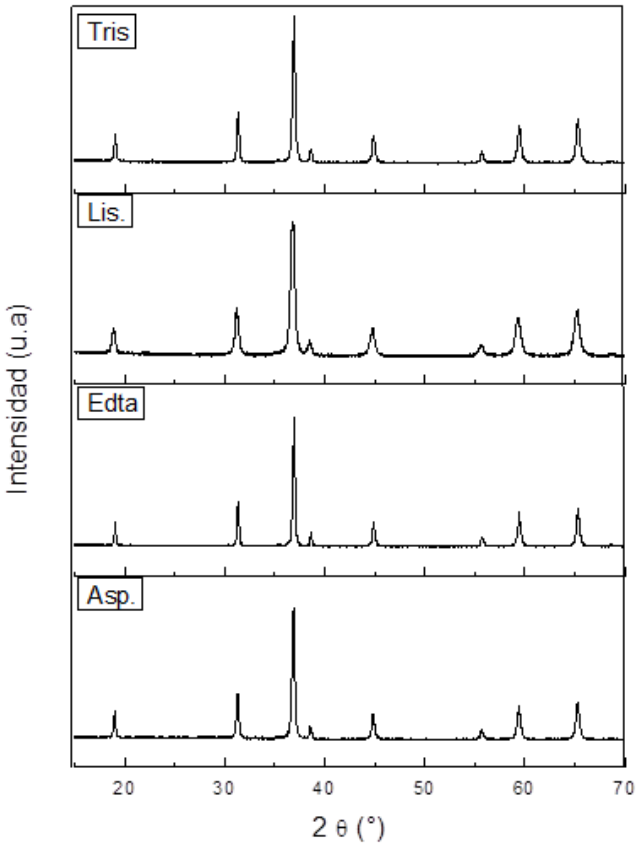


Fig. 20. Difractogramas de los pigmentos de Co_3O_4 obtenidos mediante las rutas estequiométricas.

Tabla 5. Tamaño promedio de cristalita de las rutas estequiométricas y con exceso de combustible.

Pigmento	**Área Específica BET** **[m^2/g]**	**Tamaño de cristalita** **[nm]**
Co_3O_4-ES-Asp	20	29
Co_3O_4-EC-Asp	4	41
Co_3O_4-ES-Lis	13	19
Co_3O_4-EC-Lis	8	38
Co_3O_4-ES-Edta	23	43
Co_3O_4-EC-Edta	29	47
Co_3O_4-ES-Tris	14	33
Co_3O_4-EC-Tris	9	34

4. Conclusiones

Se presentaron y analizaron los resultados obtenidos de una variedad de síntesis por combustión de Co_3O_4 utilizando diferentes combustibles como Asp, Tris, Edta y Lis, donde se estudiaron dos tipos de rutas: estequiométrica o con exceso de combustible. Las síntesis comprenden dos pasos: la concentración, gelificación e ignición de la solución precursora hasta obtener las cenizas y luego la calcinación de las cenizas para eliminar los residuos carbonosos y obtener la fase deseada. En todos los pigmentos obtenidos luego de la calcinación se obtuvo la estructura cristalina de la espinela cúbica centrada en las caras, correspondiente al Co_3O_4. El menor tamaño promedio de cristalita observado fue para la ruta estequiométrica utilizando lisina como combustible (19nm), mientras que el mayor corresponde a la muestra de Co_3O_4-EC-Edta de 47 nm. Para un mismo compuesto orgánico, se observa que con las rutas con exceso de combustible el tamaño de cristalita es mayor que el obtenido mediante el enfoque estequiométrico. Se puede concluir, entonces, que el tamaño promedio de cristalita y el área específica de los pigmentos varían ambos tanto con el tipo, como con la cantidad de combustible usado. Con respecto a la morfología superficial, para todas las muestras se observa una aglomeración de partículas en todos los casos y un

tamaño promedio de partícula entre 50 y 100nm y una forma poliédrica, en particular, se observan algunas de forma octaédrica.

Referencias

1. Vince, J, Šurca Vuk, A, Opara Krašovec U, Orel, B, Köhl, M and Heck, M: Solar absorber coatings based on CoCuMnOx spinels prepared via the sol–gel process: structural and optical properties. Sol Energ Mat Sol C. 79, 313 a 330 (2003)
2. Mimani T, and Ghosh, S: Combustion synthesis of cobalt pigments: blue and pink. Curr Sci India. 78, 892 a 896 (2000)
3. Pal, J and Chauhan, P: Study of physical properties of cobalt oxide (Co_3O_4) nanocrystals. Mater Charact. 61, 575 a 579 (2010)
4. Luisetto I, Pepe, F and E. Bemporad: Preparation and characterization of nano cobalt oxide. J. Nanopart. Res. 10, 59 a 67 (2008)
5. Avila, A, Barrera, E, Huerta, L and Muhl, S: Cobalt oxide films for solar selective surfaces, obtained by spray-pyrolysis. Sol Energ Mat Sol C. 82, 269 a 278 (2004)
6. Gui, Z, Zhu, J and Hu, Y: A simple preparative method for porous hollow-ware stacked cobalt oxides and their catalytic properties. Mater Chem Phys. 124, 243 a 247 (2012)
7. Ozkaya, T, Baykal, A, Toprak, M, S, Koseoğlu, Y and Durmuş, Z: Reflux synthesis of Co_3O_4 nanoparticles and its magnetic characterization. J Magn Magn Mater. 321, 2145 a 2149. (2009)
8. Yang H, Yuehua H, Xiangchao Z, Guanzhou Q: Mechanochemical synthesis of cobalt oxide nanoparticles. Mater Lett. 58, 387 a 389 (2004)
9. Askarinejad, A, and Morsali, A: Direct ultrasonic-assisted synthesis of sphere-like nanocrystals of spinel Co_3O_4 and Mn_3O_4. Ultrason Sonochem. 16, 124 a131 (2009)
10. Yang L, Guan, W, Bai, B, Xu, Q and Xiang, Y: Synthesis of yeast-assisted Co_3O_4 hollow microspheres - A novel biotemplating technique. J Alloy Compd. 504, L10 - L13 (2010)
11. Barreca, D, Bekermann, DE, Comini, E, Devi, A, Fischer, RA, Gasparotto, A, Gavagnin, M, Maccato, C, Sada, C, Sberveglieri, G, and Tondello, E: Plasma enhanced-CVD of undoped and fluorine-doped Co_3O_4 nanosystems for novel gas sensors. Sensor Actuat B-Chem. 160, 79 a 86 (2011)
12. Thangavelu, K, Parameswari , K, Kuppusamy, K and Haldorai, Y: A simple and facile method to synthesize Co_3O_4 nanoparticles from metal benzoate dihydrazinate complex as a precursor. Mater Lett. 65, 1482 a 1484 (2011)
13. Venkateswara Rao, K, and Sunandana, C: Co_3O_4 nanoparticles by chemical combustion: Effect of fuel to oxidizer ratio on structure, microstructure and EPR. Solid State Commun. 148, 32 a 37 (2008)
14. Toniolo, J, Takimi, A, and Bergmann, C: Nanostructured cobalt oxides (Co_3O_4 and CoO) and metallic Co powders synthesized by the solution combustion method. Mater Res Bull. 45, 672 a 676 (2010)
15. Jain, SR, Adiga, KC and Pai Verneker, VR: A new approach to termochemical calculations of condensed fuel-oxidizer mixtures. Combust Flame. 40, 71 a 79 (1981)
16. Lascalea, GE: Obtención y propiedades de polvos nanocristalinos y materiales cerámicos de grano submicrométrico basados en circonia. Tesis para optar al título de Doctor en Ciencia y Tecnología, Mención Materiales (2004). Instituto Sabato/Universidad Nacional de San Martín, Buenos Aires, Argentina.
17. Zheng, J, Liu, J, Lv, D, Kuang, Q, Jiang, Z, Xie, Z, Huang, R and Zheng, L: A Facile synthesis of flower-like Co_3O_4 porous spheres for the lithium-ion battery electrode. Journal of Solid State Chemistry. 183, 600a 605 (2012)
18. Barrera, E, Huerta, S. Muhl, S and Avila, A: Synthesis of black cobalt and tin oxide films by the sol–gel process: surface and optical properties. Sol Energ Mat Sol C. 88, 179 a 186 (2005)
19. Al-Tuwirqi, R, Al-Ghamdi, AA, Aal, NA, Umar, A, and Mahmoud, W E: Facile synthesis and optical properties of Co_3O_4 nanostructures by the microwave route. Superlattice Microst. 49, 416 a 421 (2011)

Comparación de Pre-tratamientos Sobre Bagazo de Caña de Azúcar

Mármol De Los Santos, Agustín Emilio[a], Zenobi, Alejandro Enrique[b]

[a] Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Mendoza, Mendoza, República Argentina - Universidad de Antioquia, Medellín, República de Colombia - amarmol@frm.utn.edu.ar

[b] Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Mendoza, Mendoza, República Argentina - Universidad de Antioquia, Medellín, República de Colombia - zenobi.alejandro@gmail.com

Resumen. La escasez de combustibles, la problemática de la contaminación y el desaprovechamiento de recursos naturales, nos impulsó a investigar sobre el mejoramiento de pre tratamientos en materiales lignocelulíticos, como el bagazo de caña. El mejoramiento del pre-tratamiento, produce una mayor liberación de azucares fermentables expresados en alcohol etílico. Se evaluaron diferentes métodos para determinar el más eficiente y limpio. De los tres métodos, el más eficiente fue el pre-tratamiento alcalino, seguido por la explosión de vapor y por último el pre-tratamiento biológico; el más limpio fue el pre-tratamiento biológico y la explosión de vapor, por último el pre-tratamiento alcalino. Se concluyó que el equilibrio fue la explosión de vapor.

Palabras Claves: Pre-tratamiento. Bagazo de caña. Lentinus tigrinus. Explosión de vapor. Extrusión. Álcali. Lignocelulósicos.

1. Introducción

Debido a los bajos rendimientos y al uso de sustancias contaminantes en los pre-tratamientos del bagazo de caña, se trabajó con dos métodos alternativos, el primero, físico-químico, con explosión de vapor seguida de extrusión y el segundo, un pre-tratamiento biológico con el hongo ***"Lentinus tigrinus"***. Como referencia, se utilizó una tesis doctoral de Mariana Peñuela Vásquez[1]. El objetivo fue recuperar de forma efectiva los azucares contenidos en las fibras, buscando el pre-tratamiento más efectivo y con mínima generación de residuos contaminantes.

2. Materiales y métodos

Se seleccionó una muestra aleatoria de bagazo de caña azucarera, de un ingenio.

Inmediatamente se llevó a un molino de martillos donde se redujo de tamaño a fibras de similar longitud. Luego se tamizaron en un tamiz N°6, manualmente. Posteriormente se secaron en un túnel de secado, y se almacenaron en bolsas herméticamente cerradas. Se tomaron diferentes fracciones al azar del bagazo y se realizaron 3 pre-tratamientos, el primero biológico con el hongo ***"Lentinus tigrinus"***, que se incubo a 30°C, durante 25 días. El segundo pre-tratamiento fue con explosión de vapor a 160°C y 60 psi de presión, durante 5, 10 y 15 minutos respectivamente, y con posterior extrusión. El tercer pre-tratamiento fue con álcali, utilizando Hidróxido de sodio al 1%, en relación 1:15 a 121°C y 1 atm de presión.

2.1. Caracterización del sustrato de "bagazo de caña" pre-tratado

Se aplico el método propuesto por NREL TP-510-42618[2]. Se peso en un vidrio reloj 1 g de biomasa y se llevo a la balanza de humedad. De ese lote se pesaron 300 mg de biomasa liofilizada en la balanza analítica y se colocaron en un tubo de vidrio (12 ml), previamente identificados. Se agregaron 3 ml de H_2SO_4 (72%), Se taparon, se agitaron y colocaron en baño maría a 30º C durante 1 h.

Luego se retiraron los tubos y se homogeneizaron en agita-tubos. Se paso el contenido total de los tubos a enlermeyers (previamente identificados) utilizando 84 ml de agua destilada.

Se taparon los erlenmeyers con tapón de jebe y recubiertos de papel aluminio con cinta. Se pesaron las muestras.

Se llevaron al autoclave los erlenmeyers a 121° C durante 1h.

Se pesaron nuevamente los erlenmeyers después del auto clavado.

Se pesaron los crisoles con las membranas en la balanza analítica.

Se preparó el sistema de filtración a vacío (kitasato 100 ml). Se coloca la bomba de vacío. Luego se coloca el crisol en la parte superior del kitasato uniéndolos con cinta adhesiva para que no existan fugas de aire ni pérdida de presión de aspiración. Se produce vacío y se verifica que la membrana cubre totalmente el fondo del crisol.

Se recogen 3 muestras de 10 ml y guardan en un Falcon (congelador), descartando el resto en un recipiente para hidrólisis acida.

Se adicionan 60 ml de agua destilada, previamente calentados a 40° C, al crisol y se sigue filtrando, tratando de que todo el sólido quede retenido en la membrana.

Se lleva el crisol con la membrana y el sólido a la estufa durante 3h a 105° C. Luego se retiran y se dejan enfriar en el desecador y se pesan.

Se neutralizar las muestras de 10 ml con Na(OH) 4M, corroborando con el pehachimetro. Se anotan la cantidad de Hidróxido utilizado para conocer la dilución y realizar la corrección en el cálculo de azucares reductores.

Se llevan a la mufla utilizando la siguiente rampa de temperaturas.

Comenzar llevando la temperatura a 105°C.

Mantener la temperatura a 105°C durante 12 minutos.

Llevar a 205°C aumentando 10°C/minuto.

Mantener la temperatura a 205°C durante 30 minutos.

Llevar a 575°C aumentando 20°C/minuto.

Mantener la temperatura a 575°C durante 180 minutos.

Descender a 105°C.

Retirarlos y dejar enfriar en el desecador.
Se pesan las muestras de cenizas y calcular el % de cenizas y lignina.

2.1.1 Los cálculos

Calculo del peso seco (ODW) de la muestra de extractos libres, utilizando el promedio total de contenido de sólidos según lo determinado por el LAP "Método Estándar para la Determinación del total de Sólidos en biomasa".

$$ODWm = \frac{PESO\ Muestra \times \%\ Solidos\ totales}{100}$$

Calcular y registrar el porcentaje en peso de residuos insolubles en acido (AIR) y de lignina insoluble en ácido (AIL).

$$\%\ AIR = \frac{PESO\ AIR + \ crisol - PESO\ crisol}{ODW\ muestra} \times 100$$

$$\%\ AIL = \frac{(Peso\ air\_cri - Peso\ cri) - \ (Peso\ cen\_cri - Peso\ cri) - Peso\ p}{ODW\ muestra} \times 100$$

Donde:
Peso de la proteína = Cantidad de proteína presente en el residuo insoluble en ácido, como determinado en LAP "Determinación del contenido de proteínas en la biomasa". Esta medición solamente es necesaria para la biomasa que contiene altas cantidades de proteína.

Calculo de la cantidad de lignina soluble en ácido (ASL).

$$\%\ ASL = \frac{UV\ abs\ \times Volumen\ filtrado \times Dilucion}{\varepsilon \times ODW\ muestra} \times 100$$

Donde:
UV.abs = promedio de la absorbancia de UV-Vis para la muestra a 320 nm (240nm).
Volumen de hidrólisis de licor = Volumen de filtrado, 87 ml.

$$Dilucion = \frac{Volumen\ muestra\ + Volumen\ solvente\ diluido}{Volumen\ muestra}$$

ε = Capacidad de absorción de la biomasa en la longitud de onda específica (ver tabla).

Constantes de absortividad para la medición de lignina solubles en ácido para tipos de biomasa seleccionada.

Biomasa tipo	Lambda max (Nm)	Capacidad de absorción en el λ max (L/g cm)	Recomendado long. de onda (Nm)	Capacidad de absorción en el recomendado long. de onda (L/g cm)
Pino Radiata-NIST SRM 8493	198	25	240	12
El bagazo-NIST SRM 8491	198	40	240	25
El rastrojo de maíz-NREL materia prima suministrada	198	55	320	30
Populus deltiodes de NIST SRM 8492	197	60	240	25

Tabla N°1: Constantes de absortividad para diferentes biomasas.

Nota: Los valores máximos de Lambda a menudo contienen picos de interferencia de productos de degradación de carbohidratos. Los valores recomendados de longitud de onda se han elegido para minimizar los efectos interferencias.

Calculo de la cantidad total de lignina sobre una base libre de extractos.

$$(\%\ Lignina\ ext.libre) = \%\ AIL + \%\ ASL$$

Para calcular la diferencia porcentual relativa (DPR) entre dos muestras, utilice el siguiente cálculo.

$$RPD = \left[\frac{(\mathrm{X1} - \mathrm{X2})}{\mathrm{Xmean}}\right] \times 100$$

Donde:
X_1 y X_2 = valores medidos.
X_{mean} = la media de X_1 y X_2.

Para calcular la raíz cuadrada media de la desviación (desviación RMS) o estándar de la desviación (st dev) de las muestras, usar los siguientes cálculos.

En primer lugar encontrar la raíz cuadrada media (RMS), de la muestra utilizando.

$$RMS = Xm = mean = \sqrt{\left(\frac{\sum_1^n x}{n}\right)^2}$$

A continuación, busque la raíz cuadrada media desviación, o la desviación estándar, utilizando.

$$RMS\ deviación\ =\ \sigma\ =\ STDEV\ =\ \sqrt{\left(\frac{\sum_1^n (x1 - xm)^2}{n}\right)^2}$$

Donde:
Xm = la raíz cuadrada media de todos los valores de x en el conjunto.
n = número de muestras en conjunto.
Xi = un valor medido a partir del conjunto.

2.2. Glucosa

La concentración de glucosa en la muestra se midió mediante un kit enzimático comercial (GOD-PAP/Trinder; Spinreact); la enzima glucosa oxidasa que contiene, reacciona con la glucosa y permite su cuantificación mediante medida espectrofotométrica.

2.2.1 Procedimiento

Se atempera el reactivo a temperatura ambiente.

Se pipetean en cubetas, según el cuadro inferior, realizando 3 replicas por cada muestra.

	Blanco	Patrón	Muestra
Patrón (S)	---	10 µl	---
Muestra	---	---	10 µl
Reactivo (A)	1,0 ml	1,0 ml	1,0 ml

Tabla N°2: Cantidades de muestra y reactivos para la determinación de glucosa en una muestra.

Agitar bien e incubar los tubos durante 10 minutos a temperatura ambiente o durante 5 minutos a 37 °C.

Se lee la absorbancia (A) del patrón y de la muestra a 500 ŋm frente al blanco. El color es estable durante 2 horas.

2.2.2 Cálculos

La concentración de glucosa en la muestra se calcula a partir de la siguiente ecuación general.

$$\frac{A\ Muestra}{A\ Patrón}\ x\ C\ Patrón = C\ Muestra$$

Si se utiliza para calibrar el patrón de glucosa suministrada.

A Muestra	X=100 mg/dl Glucosa
A Patrón	X=5,55 mmol/L glucosa

$$\%\ Celulosa = \frac{Conc.Glucosa \times Volumen\ filtrado \times Dilucion}{Muestra} \times 100$$

2.3. Azucares reductores totales (art)

La concentración de azucares reductores totales se realizó mediante el método DNS, que consiste en adicionar cantidades iguales de muestra (en dilución correspondiente) y de reactivo DNS, que son homogeneizados en agitador y llevados a baño de agua hirviendo durante 5 minutos. Posteriormente se enfría rápidamente en agua y se lee la densidad óptica a 540 ŋm (Miller, 1959).

Se colocar DNS, en igual cantidad de volumen (Agua más Glucosa), se debe manipular el DNS con guantes y barbijo ya que es cancerígeno.

Se tapan los tubos de ensayo con vinipel y se agitan con vortex o a mano.

Se lleva la rendija con los tubos de ensayo a baño maría 5’ exactos y luego se los coloca en agua fría durante 5’ o más para impedir que siga reaccionando.

Luego se retiran de la cubeta y se seca.

Se lleva al espectrofotómetro y se realizan las medidas para efectuar la curva.

Se introducen las soluciones en las cubetas del espectrofotómetro, colocando los dos blancos y las soluciones. Se debe colocar más de 1 ml de la solución para que la lectura sea correcta.

Se leen las lecturas de absorción y realizar la curva, según.

$$Con.total\ de\ az.red.: (A \times M + Y)\frac{g}{l} \times D = \frac{g}{l}$$

3. Pre-tratamientos y resultados

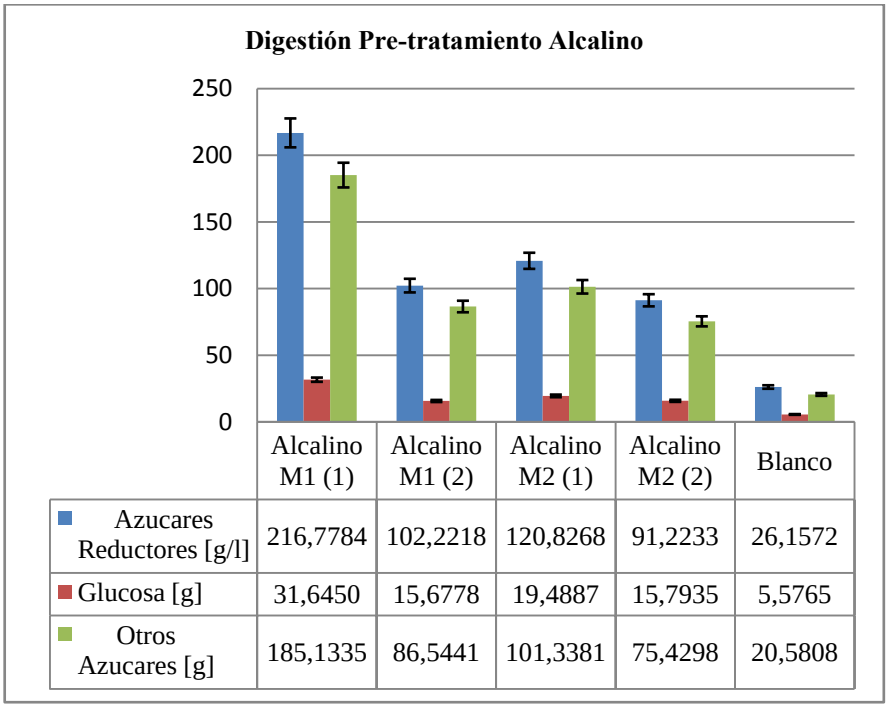
3.1 Alcalino

Se introdujeron 20 g. de bagazo en un Erlenmeyer, junto con una solución de Na(OH) al 1% en relación 1:15 y se llevo al autoclave a 121°C y 1 atm. de presión durante 30 minutos.

Luego se filtran obteniendo 2 fracciones, una solida y una liquida.

La fracción liquida se sometió a caracterización por el método NREL TP-510-42618[2], para determinación de azucares reductores, glucosa y lignina.

A la fracción solida se le realiza una fermentación tipo SSF, para determinar la cantidad de etanol producido.



	Alcalino M1 (1)	Alcalino M1 (2)	Alcalino M2 (1)	Alcalino M2 (2)	Blanco
Azucares Reductores [g/l]	216,7784	102,2218	120,8268	91,2233	26,1572
Glucosa [g]	31,6450	15,6778	19,4887	15,7935	5,5765
Otros Azucares [g]	185,1335	86,5441	101,3381	75,4298	20,5808

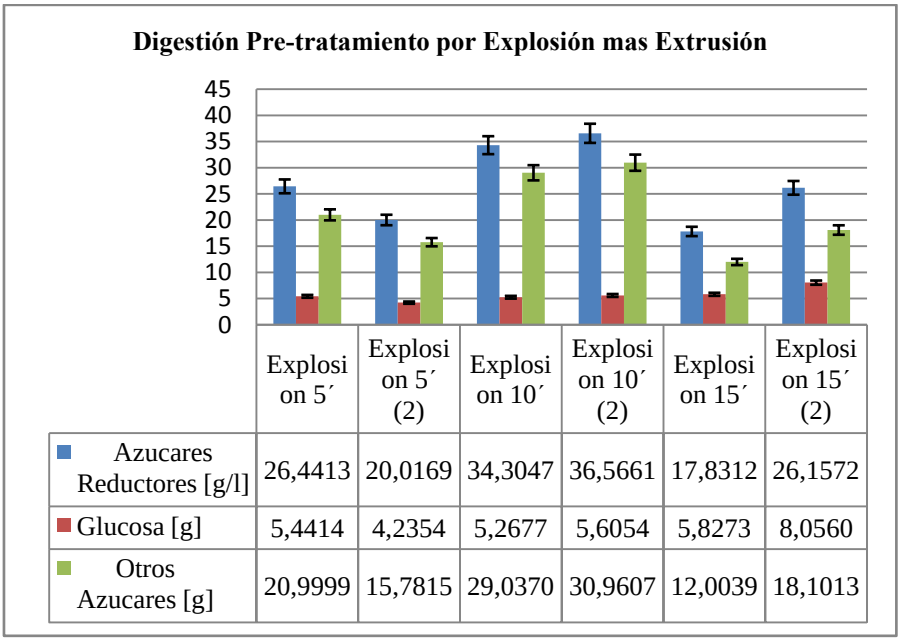
Gráfico N°1: Análisis de la digestión resultante del pre-tratamiento alcalino.

3.2 Explosión de vapor seguido de extrusión

Se lleno un pequeño calderin con 3 litros de agua y se calentó con una resistencia hasta 160°C y 60 psi de presión, luego se abrieron las válvulas de expansión para

llenar un recipiente con el vapor producido para luego abrir la válvula de expansión en forma violenta; tomando como variable el tiempo de exposición del vapor con el bagazo, siendo los mismos de 5, 10 y 15 minutos. Luego a las 3 explosiones se les realizo una extrusión para reducir su tamaño.

A las fracciones solidas resultantes se les realizaron digestiones con enzima "***acelerrase"*** para conocer el experimento que mayor liberación de azucares produce. Luego se le realizo una fermentación tipo SSF, para determinar la cantidad de etanol producido.



	Explosion 5´	Explosion 5´ (2)	Explosion 10´	Explosion 10´ (2)	Explosion 15´	Explosion 15´ (2)
Azucares Reductores [g/l]	26,4413	20,0169	34,3047	36,5661	17,8312	26,1572
Glucosa [g]	5,4414	4,2354	5,2677	5,6054	5,8273	8,0560
Otros Azucares [g]	20,9999	15,7815	29,0370	30,9607	12,0039	18,1013

Gráfico N°2: Análisis de la digestión resultante del pre-tratamiento con explosión de vapor seguida de extrusión.

3.3 Biológico

Se tomaron diferentes muestras de 2g. de bagazo de caña y se introdujeron en erlenmeyers inoculándose con hongo ***"Lentinus tigrinus"***, posteriormente se incubo a 30°C, en estufa durante 25 días. Se tomaron muestras a 7, 13, 16, 19, 22 y 25 días.

Se seleccionaron las muestras que se iban a analizar y se le agregaron 30 ml de agua destilada y se llevaron a SHEAKER, durante 1 hora a 30°C.

Posteriormente se filtraron obteniéndose 2 fracciones, una solida y una liquida.

La fracción liquida se sometió a caracterización por el método NREL TP-510-

42618[2], para determinación de azucares reductores, glucosa y lignina.

A la fracción solida se le realiza una fermentación tipo SSF, para determinar la cantidad de etanol producido.

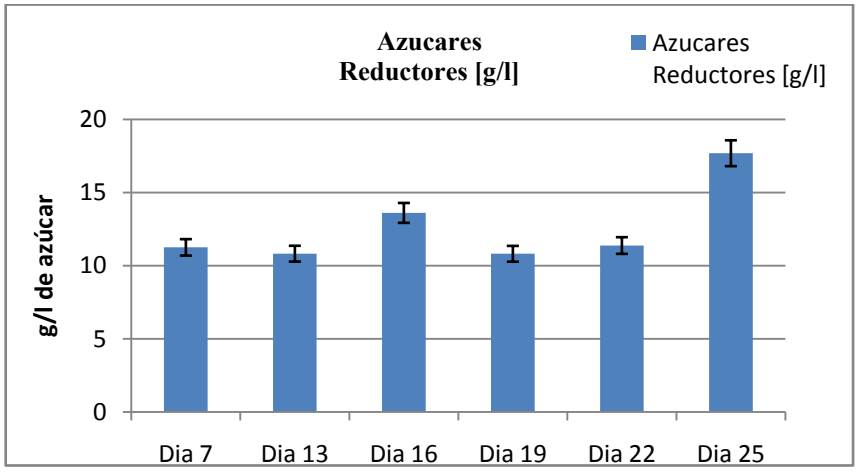


Gráfico N°3: Cantidad de azucares reductores producidos por el Hongo "***Lentinus Tigrinus"*** en el transcurso de los días.

3.3.1 Digestión de los sólidos

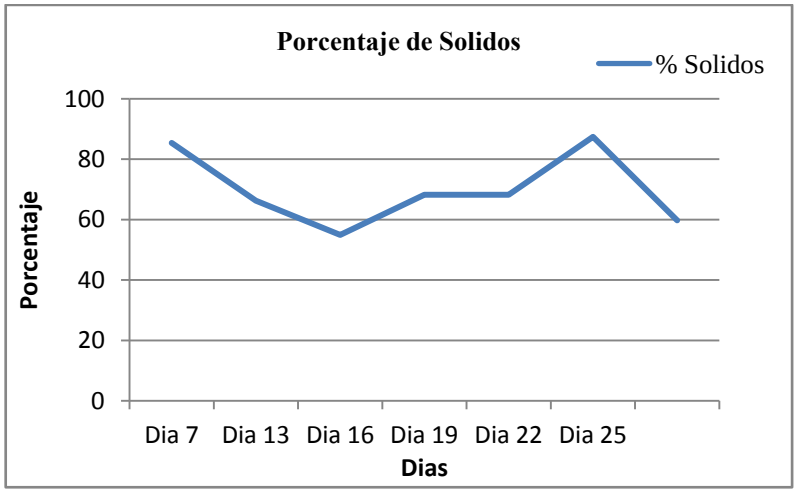


Gráfico N°4: Porcentaje de Sólidos luego del pre-tratamiento biológico.

3.3.2 Medición de actividad enzimática

3.3.2.1 Lacasa con ABTS

Se toman 500 µl de solución de ABTS, 450 µl de acetato de sodio y 50 µl de muestra. Se colocan en celdas de cuarzo y se mide contra un blanco a 436 ŋm durante 1 min. utilizando un factor de conversión de 862,6.

3.3.2.2 Lignino-peroxidasa

Se toman 200 µl de solución de Alcohol veratrilico, 200 µl de citrato, 500 µl de muestra, iniciando la reacción con 100 µl de peróxido de hidrogeno. Se colocan en celdas de cuarzo y se mide contra un blanco a 310 ŋm durante 1 min. utilizando un factor de conversión de 214,054.

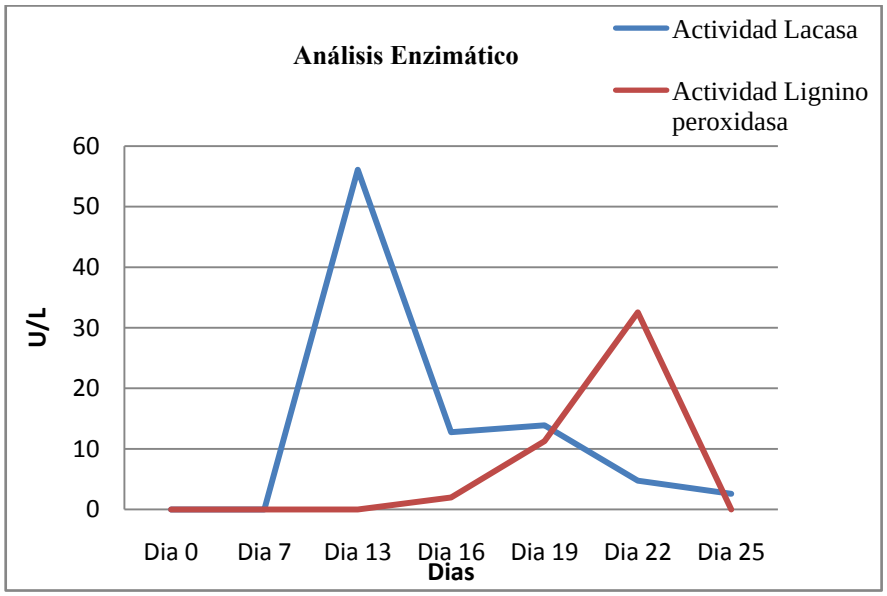


Gráfico N°5: Análisis enzimático a través de los Días.

4. Conclusiones

Se concluye que el pre-tratamiento que produce mayor cantidad de azucares reductores, es el alcalino, pero a su vez es el que produce mayor cantidad de residuos peligrosos.

El pre-tratamiento biológico es el menos contaminante, y a su vez el que menos azucares y etanol produce. Con el inconveniente de que es un proceso lento y muy difícil de mantener aislado a nivel industrial.

El pre-tratamiento con explosión de vapor seguido de extrusión, es un equilibrio entre los dos anteriores, no produce residuos. Se sugiere investigar en la disminución del consumo de energía para este pre-tratamiento.

5. Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a los departamentos de Ingeniería Química de la Universidad de Antioquia (Colombia) y de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza (Argentina).

A los ingenieros, responsables del Grupo de Bioprocesos, de la Universidad de Antioquia, Doctora en Ingeniería Química Mariana Peñuela Vásquez, Ingeniera Natalia Andrea Gómez Vanegas, Ingeniera Juliana Osorio e Ingeniero Esteban Sánchez.

A los directores de la carrera de Ingeniería Química de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Mendoza, Ingeniera Graciela Affranchino e Ingeniera Viviana Brusadín.

6. Referencias

1. Peñuela Vásquez, Mariana: Tesis doctoral Desenvolvimento de processo de hidrolise enzimática e fermentação simultâneas para a produção de etanol a partir de bagaço de cana-de-açúcar (2007).

2. Laboratorio Nacional de Energías Renovables, http://www.nrel.gov/biomass/pdfs/42618.pdf

Tratamiento de Residuos de Tóner con Hongos Basidiomicetos

Cecilia Ailén Gallardo[a] , Matías Burán[a], Marta Nahir Dariuch[a] , Ailen Ariadna Rojos Fernández[a], Mauricio German Sanchez Lorenzi[a], Evelyn Segura[a], Stela Maris da Silva[a], Adrian Ignacio Pereira[a]

a Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza, Calle Rodriguez 273, 5500, Mendoza, Argentina.
ceciliagallardof@gmail.com, matiasburan@hotmail.com, mndaruich@gmail.com, ailenrojos@gmail.com, mgsanchezlorenzi@gmail.com, evesegura_17@hotmail.com, smdsil08@yahoo.com.ar,

Resumen. La evaluación de distintos parámetros de la actividad biológica del hongo basidiomiceto *Pleurotus sajor caju* en medio liquido con tóner, evidenció la capacidad que la cepa empleada tiene de degradar el contaminante. Se realizaron analizaron la biomasa en peso seco, la capacidad de decoloración por observación visual y la actividad de las enzimas lacasa (Lac) y manganeso peroxidasa (MnP) como indicativo de la actividad metabólica del hongo. El pico de secreción de Lac registrado alcanzó las 1070 U/ml en el día 10 de cultivo y resultó ser proporcional al crecimiento expresado en peso seco. Los análisis de actividad de MnP no demostraron relación directa entre la secreción de la enzima y el peso de biomasa seca. La actividad máxima de MnP registrada fue de 2,10 U/ml, siendo este valor, superior al obtenido para los controles. La capacidad de decoloración del microorganismo y su resistencia al medio con el tóner, fue demostrada mediante la decoloración del efluente con tinta y la actividad enzimática del hongo.

Palabras Clave: tóner, hongo basidiomiceto, *Pleurotus sajor-caju*, enzimas, lacasa, manganeso peroxidasa.

1. Introducción

El tóner o tinta seca, es un fino polvo negro que se utiliza para impresiones, adhiriéndose al papel por atracción electrostática. Su composición varía con el fabricante, pero se puede estimar en un 40-50% en peso de copolímeros de estireno y acrilato, 40-50% [1] de óxido de hierro y en muy baja concentración, metales como Pb, Cr, Zn, Cd y Cu [2].

Si bien este producto presenta una baja toxicidad aguda, es muy propenso a formar polvos en suspensión y en ello, precisamente, consiste el problema de su disposición final. Este fenómeno provocado por un tamaño de partícula de 8 a 40 micrones, puede provocar daño pulmonar por prolongada exposición o mezclas explosivas con el aire.

La legislación argentina, por medio de la ley Nacional 24.051[3], prohíbe cualquier disposición final en la cual no se produzca algún cambio de índole física o química en la que se reduzca la peligrosidad de esta sustancia; y existen leyes similares en otros países. Por lo tanto, el tóner se recicla en gran proporción, y el residuo restante se incinera o, en menor medida, se purifica para procesos de vitrofusión.

Pleurotus sajor caju es un hongo basidiomiceto del género Pleurotaceae cuyo contenido en proteínas le otorga un alto valor nutricional [4]. Mediante la producción de enzimas, mayormente lacasa (EC 1.10.3.2) y manganeso peroxidasa (EC 1.11.1.13) [5], este hongo de pudrición blanca tiene la capacidad de desarrollarse utilizando [6]. La naturaleza no específica de estas enzimas las habilita para transformar una amplia variedad de contaminantes ambientales persistentes como las tintas [7].

La mayor actividad degenerativa se atribuye a la lacasa [8], esta enzima pertenece al grupo de oxidasas de polifenol que contiene átomos de cobre en su centro catalítico, llamadas usualmente oxidasas multicobre. Actúan catalizando la reducción de oxígeno a agua mediante la oxidación de algún sustrato, típicamente *p*-dihidroxifenol o algún otro compuesto fenólico [9].

En este trabajo se propone el saneamiento de los residuos de tóner utilizándolos como fuente de carbono para la alimentación del hongo *Pleurotus sajor caju*. Los hongos se cultivaron en medio líquido y luego se expusieron al tóner. Los parámetros evaluados fueron biomasa seca, lacasa, manganeso peroxidasa y cambio de color del efluente tratado. Los métodos utilizados se describirán en la siguiente sección.

2. Materiales y Métodos

2.1 Muestra contaminada

El tóner se recibió en forma de cartuchos plásticos contaminados con residuos del contaminante. Las muestras fueron provistas por el Centro de copiado CETEM, el cual está ubicado en la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza.

2.2 Micoorganismo y preparación del inóculo

El agente biológico con que se trabaja es un hongo basidiomiceto *Pleurotus sajor caju* del género Pleurotus, cepa PSC01. El inóculo se preparó cultivando 1 cm^3 de hongo en cultivo semisólido de mantenimiento en 20 erlenmeyers de 250 mL con 100 mL del medio de cultivo diluido a 10% de acuerdo con lo propuesto por Mandels & Reese [10].

El medio se esterilizó en autoclave, durante 15 minutos a 1 atm, y luego de inocularse se dispuso erlenmeyers de 250 ml con 100 ml de medio de cultivo en una mesa agitadora a 20 ± 3°C durante 7 días, con el agregado del tóner en el 7° día de cultivo. En el 10° día de desarrollo (tercer día después de agregado el tóner) se realizó en cuatro de los de los recipientes un control de lacasas y manganeso peroxidasas.

Fig. 1. Medios líquidos inoculados 7 días del desarrollo fúngico.

2.3 Medio de cultivo

El séptimo día a partir del inóculo se retiraron cuatro erlenmeyers a los que se les realizó el análisis de biomasa, lacasa y manganeso peroxidasa.
Luego se procedió al agregado de un trozo de 1g de cartucho plástico conteniendo una delgada capa de tóner en su superficie (0,01 g de tinta y otros componentes) y se reservó un control por cuadruplicado libre de tóner para cada día de análisis de enzimas.
El cultivo continuó con agitación continua de acuerdo a las condiciones previamente descriptas y los días 10 y 14 se realizó por cuadruplicado la toma de muestras para análisis de biomasa, lacasa y manganeso peroxidasa.

2.4 Análisis de biomasa

El análisis de biomasa seca se realizó como medida representativa del crecimiento del hongo. Para este ensayo se pesaron e identificaron papeles de filtro Whatmman n° 1. Inicialmente se realizó el filtrado del contenido de cada erlenmeyer y luego de obtener una muestra del efluente clarificado se lavó la biomasa retenida con abundante agua destilada.

La masa fúngica obtenida de la segunda filtración se colocó en una estufa a 60°C, por 48hs, hasta obtener un peso constante. El peso de la biomasa seca se calculó por diferencia del peso total y el peso propio del filtro.

Fig. 2. Muestra del hongo en presencia del tóner después de 10 días de desarrollo.

2.5 Análisis enzimático

Se cuantificó la secreción de las enzimas de lacasa y manganeso peroxidasa por el hongo, tomándolas como parámetro de acción del hongo sobre los componentes tóxicos presentes en el tóner y considerándolas como responsables principal por la acción degradadora de dichos compuestos presentes en el medio con tóner.

Se extrajeron 3 muestras de 10 ml de los efluentes obtenidos en la primera filtración de cada erlenmeyer de cultivo. El sobrenadante de cada alícuota fue separado por centrifugación en tubos de ensayo de 10 ml durante 90 minutos a 2500 rpm. Cada una de estas alícuotas se analizó dentro de los 5 días de producido el muestreo, y el tiempo que permaneció sin ser analizada se almacenó a 4°C.

La actividad de lacasa se determinó monitoreando la absorbancia a 420 nm de la oxidación de 2,2-azino-bis-[3-ethyltiazoline-6-sulfonate] (ABTS) 5 mM en un medio estabilizado por tampón de acetato de sodio 0,2 M (pH 5). La solución se torna de un color verde cuya intensidad varía dependiendo de la concentración enzima.

La determinación de manganeso peroxidasas [11] se realizó mediante la oxidación de rojo de fenol 0,1%. La mezcla reaccionante contenía 0,5 mL del fluido extracelular con un reactivo compuesto de: rojo de fenol 0,1%, lactato de sodio 250 mM, albúmina bobina 0,5%, sulfato de manganeso (II) 2 mM y agua oxigenada 2 mM. Luego de un breve calentamiento y una rápida neutralización con hidróxido de sodio 2 M, se midió la absorbancia de la solución fucsia a 610 nm.

Para ambos ensayos, el análisis de absorbancia se realizó en cubetas plásticas descartables de 5 mL a 20 ± 1°C.

2.6 Análisis visual de cambio de color del efluente tratado

Mediante una inspección visual en base a muestras fotográficas se puede aprecia el cambio de color del efluente contaminado de negro oscuro hacia gris. Este parámetro indica que la concentración de tóner en el medio está disminuyendo, y por lo tanto es un criterio para verificar el propósito del ensayo.

2.7 Análisis estadístico

El análisis estadístico de los resultado de los ensayos de biomasa, lacasa y manganeso peroxidasa fueron sometidos al test de Tukey, disponible en el software PrismGraph Pad 3.

3. Resultados y Discusión

3.1 Crecimiento del hongo

P. sajor caju creció en el medio expuesto al tóner formando esferas de trama consistente, de difícil disgregación y de densidad superior a la del medio.

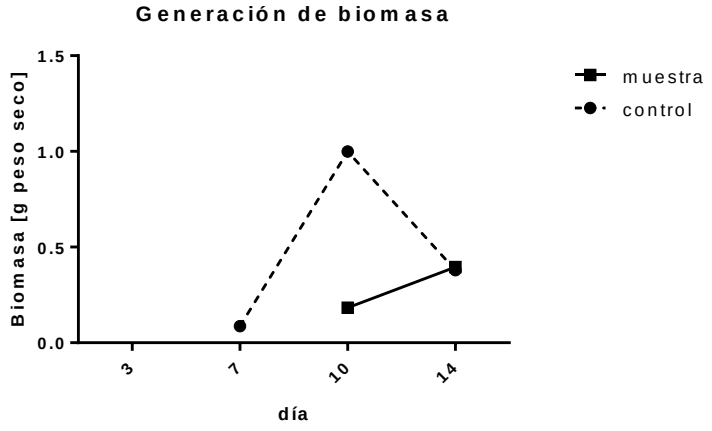


Fig. 3. Biomasa de PSC01 al largo de 14 días de desarrollo del cultivo.

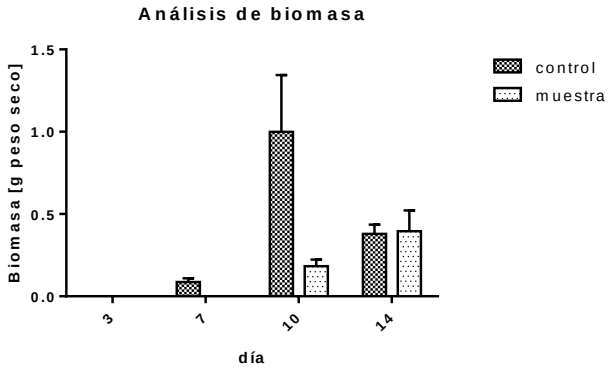


Fig. 3. Biomasa de PSC01 al largo de 14 días de desarrollo del cultivo.

La biomasa en los medios de control (no expuestos al tóner) tiene su pico de producción en el día 10, mientras que, para los medios expuestos al contaminante, la producción alcanza su máximo en el día 14 o superior. Esta condición podría indicar que el contaminante retrasa el crecimiento del microorganismo pero no resulta letal en las condiciones ensayadas.

3.2 Actividad de lacasa

La cuantificación de la actividad de lacasa indica la respuesta del hongo frente al medio nutritivo. En la figura 4, puede apreciarse que la generación de esta enzima tiene una distribución similar a la generación de biomasa.

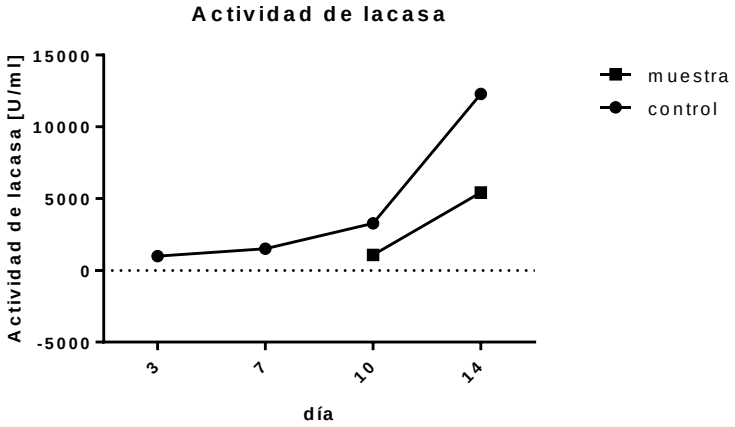


Fig. 4. Secreción de lacasa al largo de los 14 días de desarrollo de los ensayos.

En comparación con los trabaos realizados por Abo-State & Khatab (2011) [12] y por Mouso y Diorio (2007) [13], el pico de producción de lacasa se produce en una etapa más temprana del desarrollo del microorganismo, siendo alrededor de la tercer semana de cultivo para los primeros, y en la segunda semana para este análisis. Cabe aclarar que los datos de actividades de lacasa están representados a partir de los 10 días para las muestras debido a que los residuos de tóner fueron agregados habiendo ocurrido el desarrollo previo del hongo sin el contaminante, durante los 7 días iniciales.

3.3 Actividad de manganeso peroxidasa

Los resultados de la producción de manganeso perxidasas observados en la figura 5 son notoriamente distintos a los obtenidos en los otros ensayos. Mientras que para la biomasa y la lacasa el pico máximo de producción se encuentra en el control para el día 10, en el caso de esta enzima, la producción alcanza su máximo valor en el día 14 con 5427.

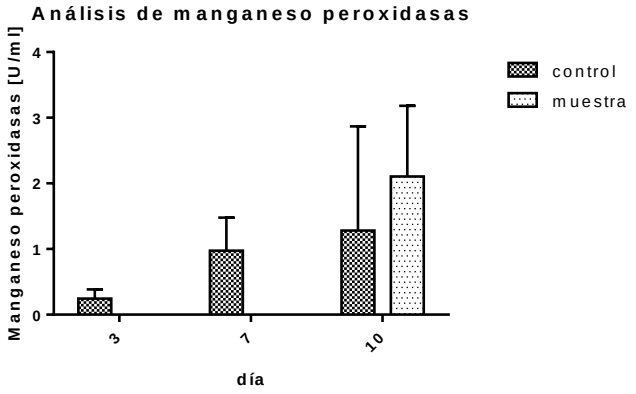


Fig. 5. Actividad de MnP durante 10 días de desarrollo de los ensayos.

El hongo basidiomiceto *Stereum hirsutum* ha demostrado tener una distribución similar de enzimas en presencia de colorantes como el índigo carmín y el verde de malaquita [13].

3.4 Decoloración del efluente tratado

Como se observa en las figuras 6 y 7, el contaminante se adhiere al hongo, dejando el efluente notoriamente clarificado.

Fig. 6. Medio de cultivo inoculado con hongo basidiomiceto de 7 días de edad, expuesto al tóner.

Fig. 7. Medio de cultivo inoculado con hongo basidiomiceto de 10 días de desarrollo.

La figura 6 representa el efluente en el momento en que es agregado el tóner (7° día) y la figura 7 representa el efluente 3 días después del agregado del tóner al medio. La solución presentada en la Fig. 7, corresponde a 3 días de tratamiento, y en dicha solución se puede observarse la despigmentación producida en el clarificado, donde se desarrolló el hongo.

4. Conclusiones

Con relación a los datos obtenidos, se puede concluir que el hongo puede desarrollarse en el medio contaminante, y al producir una disminución en la pigmentación del medio, se determina que el hongo basidiomiceto *Pleurotus sajor caju* sí tiene la capacidad de decolorar medios acuosos expuestos a tóner.

5. Referencias

1. Ficha de Datos de Seguridad: C8061A-D-X-XC. Hewlett Packard. España. (2003)
2. María Elena Talavera Nunez, María Ofelia Guillen Zevallos: Evaluación de metales pesados en el tóner usado en fotocopiadoras. Su relación con los trabajadores y medidas de mitigación. Perú. (2010).
3. Ley Nacional N°24.061. Régimen aplicable a la generación, manipulación, transporte, tratamiento y disposición final de residuos peligrosos**.** Buenos Aires (1991)
4. Adil Denizli, Nilüfer Cihangir: Removal of chlorophenols from aquatic systems using the dried and dead fungus *Pleurotus sajor caju*. (2005)
5. Gustavo Dávila y Rafael Vázquez-Duhalt: Enzimas Ligninolíticas Fúngicas para Fines Ambientales. Instituto de Biotecnología. Universidad Nacional Autónoma de México. México. (2006)
6. Sze Chung Lo, Yuen Sze Ho and John Anthony Buswell: Effect of Phenolic Monomers on the Production of Laccases by the Edible Mushroom *Pleurotus sajor-caju*, and Partial Characterization of a Major Laccase Component. (2001)
7. María M Martorell and Hipólito F. Pajot: Optimization of culture medium composition for manganese peroxidase and tyrosinase production during Reactive Black 5 decolourization by the yeast *Trichosporon akiyoshidainum*. (2012)
8. Kumarasamy Murugesan, Manavalan Arulmani: Purification and characterization of laccase produced by a white rot fungus *Pleurotus sajor-caju* under submerged culture condition and its potential in decolorization of azo dyes- (2006)
9. Petr Baldrian: Fungal laccases occurrenceand properties. (2005)
10 E. T. Reese, J. E. Lola, F. W. Parrish: Modified Substrates and Modified Products as Inducers of Carbohydrases. Pioneering Research Laboratory, U.S. Army Natick Laboratories, Natick, Massachiusetts. (1969)
11. Glenn JK, Gold MH. Purification and characterization of an extracelular Mn(II)-dependant peroxidase from the lignin-degrading basidiomycete *Phanerochaete chrysosporium*. Arch Biochem Biophys (1985).
12. M.A.M. Abo-State, O. Khatab, Abo-El Nasar and B. Mahmoud: Factores Affecting Lacaase Prodution by *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus sajor-caju*. (2011)
13. Nora Mouso, Luis Diorio y Flavia Forchiassin: Acción de *Stereum hirsutum* (2007).

Comparación de la Agresividad del Agua de Uso Industrial y Domiciliario en San Rafael (Mendoza)

María Esther Balanza[a], Alicia Lucía Ordoñez[a], Alicia María Sánchez[a], María Eugenia Santibañez[a], Verónica Noelia González[a]

[a] Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria, UNCuyo, Argentina
mbalanza@fcai.uncu.edu.ar, asanchez@fcai.uncu.edu.ar

Resumen. El agua subterránea de uso industrial en la región de San Rafael, Mendoza, se halla en acuíferos libres recargados por la cuenca de los ríos Diamante y Atuel y sus zonas de riego y suele tener valores de dureza y salinidad que duplican o, incluso a veces triplican los de las aguas superficiales, ya muy duras, que son las utilizadas mayoritariamente para el uso domiciliario en la ciudad cabecera y algunas cabeceras de distritos. Para la adopción de medidas correctivas de la agresividad y evitar la formación de incrustaciones en instalaciones y equipos, deben establecerse correctamente las condiciones de equilibrio químico necesarias para ello, a partir del análisis químico del agua. Diversos métodos de cálculo se disponen en la bibliografía, todos basados en la determinación del pHs (pH de saturación o equilibrio del $CaCO_3$). Dada la influencia que tiene la alta salinidad en el equilibrio químico de este compuesto, el pHs se determina por cálculo previa determinación de la fuerza iónica del agua, mediante el análisis iónico completo. Las aguas naturales superficiales y de profundidad del sur de la provincia de Mendoza muestran diferencias altamente significativas en casi todos sus parámetros físico químicos, con salinidades en las últimas de aproximadamente el doble que en las primeras. Los índices de agresividad de las aguas de profundidad muestran su tendencia a ser incrustantes aún a bajas temperaturas, mientras que, por su menor fuerza iónica, las aguas de superficie utilizadas en la red domiciliaria, aparecen mayormente en equilibrio (ni corrosivas ni incrustantes) a 25ºC, aunque netamente incrustantes a 70ºC, lo que representa básicamente problemas para las instalaciones de agua caliente (calefones, etc).

Palabras Clave: aguas naturales, corrosión, incrustación, agresividad, agua industrial.

1 Introducción

Las industrias, en su mayoría frutihortícolas y vitivinícolas, del sur de la provincia de Mendoza, requieren para su funcionamiento importantes cantidades de agua, por lo que utilizan principalmente agua subterránea, de buena calidad microbiológica pero de alta o muy alta salinidad y alto contenido de calcio. Si bien toda el agua de la región (incluso la superficial) tiene una dureza elevada, el agua subterránea, que se halla en acuíferos libres en esta zona, recargados por la cuenca de los ríos y sus zonas de riego, suele tener valores de dureza y salinidad que duplican o, incluso a veces triplican los de las aguas superficiales, las cuales son las utilizadas en forma mayoritaria en la provisión de agua de los sistemas domiciliarios tanto en la ciudad cabecera del Departamento de San Rafael, como en algunas poblaciones distritales. En algunos casos, especialmente para poblaciones pequeñas, se utiliza agua de

perforaciones para las redes de agua potable de uso domiciliario, con lo que sus características son iguales a las halladas para el agua uso industrial.

Es de conocimiento general que el agua de la zona posee mayormente un carácter incrustante, habida cuenta de los depósitos que se forman tanto en recipientes donde habitualmente se la calienta como en las cañerías de conducción de agua caliente o incluso fría, a nivel domiciliario.

A nivel industrial, si bien el problema se agudiza redundando en una vida útil muy reducida para instalaciones y equipos, generalmente no se evalúan profundamente las características de agresividad del agua, sino más bien se limitan a eliminar la dureza mediante ablandadores al agua para determinados usos críticos, como por ejemplo la producción de vapor en calderas. Esta práctica, si bien elimina el problema de la formación de incrustaciones, podría transformar el agua en agresiva corrosiva, que también causa deterioro de los materiales en contacto. Para establecer el mecanismo de control y la tecnología adecuados para el tratamiento de la capacidad de corrosión o incrustación del agua, es necesario analizar su tendencia agresiva tanto cualitativa como cuantitativamente.

El comportamiento de los componentes o contaminantes químicos de las aguas naturales y residuales es función de las propiedades físico-químicas que predominan en éstas.

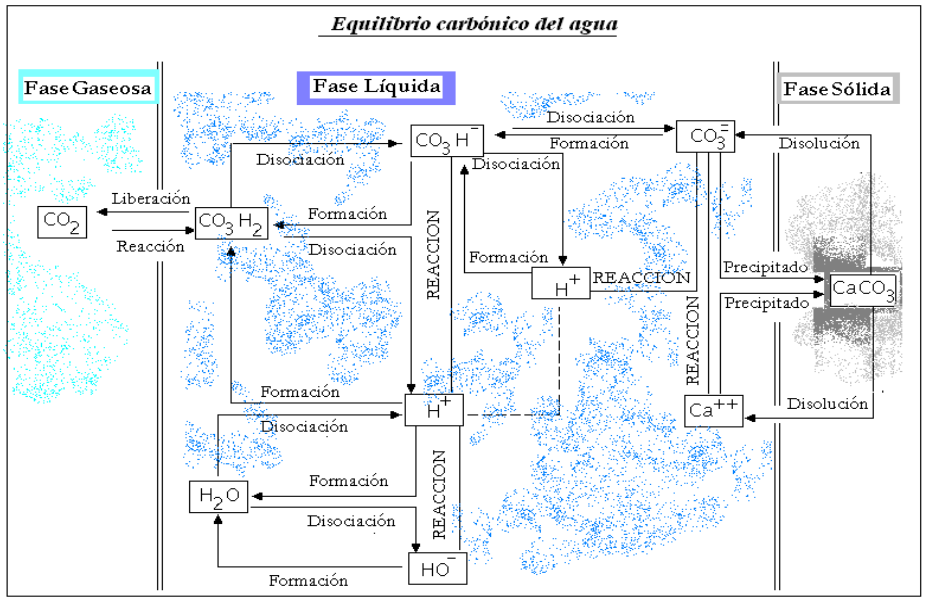


Fig. 1. Equilibrio carbónico del agua, con indicación de las fases intervinientes.

El sistema carbonatado es el principal sistema de ácido débil en aguas naturales y como tal, el responsable de su capacidad buffer. Este es un sistema de ácido diprótico débil que comprende cuatro especies: H_2CO_3 (englobando H_2CO_3 y $CO_{2(aq)}$), HCO_3^- y CO_3^{2-}. La suma de las concentraciones de todas estas especies se denomina frecuentemente CIT (carbono inorgánico total) [1]. La presencia de CO_2 disuelto y de

sus productos de ionización (bicarbonatos y carbonatos) en el agua, influye en los equilibrios de precipitación y disolución de compuestos inorgánicos, y en la bibliografía se encuentran referencias a varios métodos de determinación de la capacidad agresiva corrosiva o incrustante de un agua, en su mayoría relacionados casi exclusivamente al equilibrio de las especies carbonatadas y el contenido de calcio, pero también con referencias a la influencia del contenido de sales totales o de los otros iones presentes en dicho equilibrio [2],[3],[4],[5].

En la fig. 1 se muestra un diagrama de las especies y fases intervinientes en el equilibrio carbónico del agua.

El CO_2 necesario para mantener en disolución el HCO_3^- que se encuentra en el agua, se define como CO_2 de equilibrio ($[CO_2]_{eq}$)[6-8] . Sin embargo, en un sistema natural, por los procesos de producción provenientes tanto del CO_2 atmosférico como el debido a la degradación microbiana y al de los procesos fotosintéticos como también a la presencia de minerales carbonatados en los sedimentos en conjunto con el CO_2, generan un efecto de amortiguación sobre el pH del agua, principalmente a través de los dos siguientes equilibrios:

$$CO_{2ac} \Leftrightarrow CO_{2g} \quad \textbf{(1)}$$

$$MCO_{3as} \Leftrightarrow M^{2+} + CO_3^{2-} \quad \textbf{(2)}$$

En un sistema natural puede existir CO_2 disuelto en mayor o menor concentración respecto a $[CO_2]_{eq}$. Si se tiene $[CO_2]_{ac} > [CO_2]_{eq}$, el excedente de CO_2 podrá reaccionar con los carbonatos presentes para formar más bicarbonatos, según el siguiente equilibrio:

$$CO_3^{2-} + CO_2 + H_2O \Leftrightarrow 2\ HCO_3^- \quad \textbf{(3)}$$

A este CO_2, se lo denomina "potencialmente agresivo", y el agua correspondiente será "agresiva (corrosiva)", favoreciendo las disoluciones, es decir manteniendo en solución a los contaminantes. Por lo contrario, si $[CO_2]_{ac} < [CO_2]_{eq}$, el equilibrio se desplazará hacia la izquierda, favoreciendo la precipitación de carbonatos con los cationes presentes; en este caso el agua será de naturaleza "incrustante" [8].

La distribución de las especies carbonatadas del agua según el pH de la misma se muestra en la fig. 2.

Para evitar el contacto del agua y reducir las posibilidades de corrosión es importante que los materiales mantengan una película de carbonato de calcio [6] esto se logra mediante la estabilización química del agua [9-10], la cual consiste en ajustar el pH, la concentración de CO_2 libre, o la concentración de carbonatos $CaCO_3$ del agua a su equilibrio de saturación de $Ca(HCO_3)_2$. Dado que un agua estabilizada no disuelve ni precipita $CaCO_3$, no remueve las incrustaciones de $CaCO_3$ que pueden proteger a las tuberías contra la corrosión, ni precipitan depósitos de $CaCO_3$ que pueden obstruirlas.

Este principio de autoinhibición del agua potable fue desarrollado teóricamente y en aplicaciones prácticas por Langelier [11], sobre la base de que en aguas en las que se encuentra Ca^{2+} and HCO_3^-, cuando el pH sea apropiado, el HCO_3^- será lentamente transformado en CO_3^{2+} (4), que precipitará como $CaCO_3$ sobre la superficie metálica, cuando alcance su límite de solubilidad, bloqueándola y actuando como un inhibidor catódico de la reacción de corrosión.

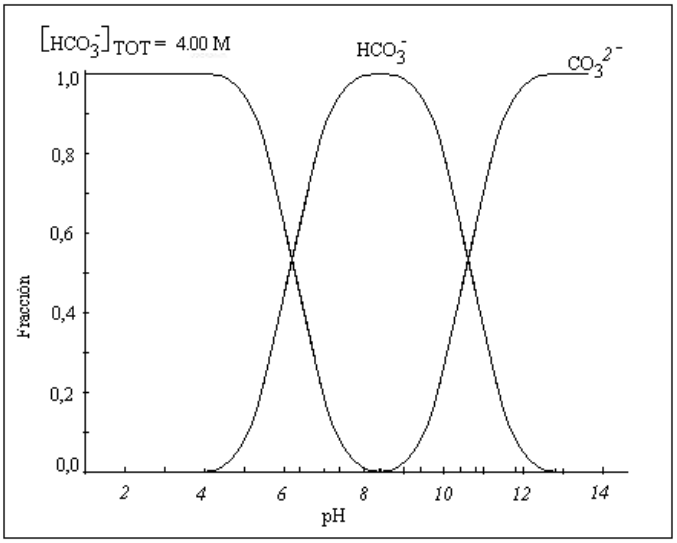


Fig.2 Distribución de especies carbonatadas en el agua según el pH de la misma.

$$HCO_3^- + OH^- \Leftrightarrow CO_3^{2-} + H_2O \quad \textbf{(4)}$$

$$Ca^{2+} + CO_3^{2-} \Leftrightarrow CaCO_{3(s)} \quad \textbf{(5)}$$

donde

$$[Ca^{2+}]*[CO_3^{2-}] = k_{ps} = 4{,}7 - 6{,}9*10^{-9} \quad \textbf{(6)}$$

Para que la deposición de carbonato de calcio se produzca deben cumplirse dos condiciones [12]:

1) El agua debe tener el pH apropiado para la precipitación. No debe contener CO_2 libre que neutralice los iones OH^- previo a su reacción con los iones HCO_3^-. El ácido carbónico es un ácido dibásico que se ioniza en dos etapas de acuerdo a :

$$H_2CO_3 \Leftrightarrow H^+ + HCO_3^- \quad \textbf{(7)}$$

con

$$k_1 = [H^+][HCO_3^-] / [H_2CO_3] = 4{,}16\times10^{-7} \quad \textbf{(8)}$$

y

$$HCO_3^- \Leftrightarrow H^+ + CO_3^{2-} \quad \textbf{(9)}$$

con

$$k_2 = [H^+][CO_3^{2-}] / [HCO_3^-] = 4{,}84\times10^{-11} \quad \textbf{(10)}$$

2) El agua debe contener suficientes iones calcio y carbonato o carbonato ácido para precipitar la película de $CaCO_3$. En otras palabras, la concentración de estos iones debe satisfacer el producto de solubilidad del compuesto.

Sustituyendo el valor de $[CO_3^{2-}]$ de (10) en (6) y reordenando, se tiene

$$[H^+]_s = [Ca^{2+}]\,[HCO_3^-] * k_2 / k_s \quad \textbf{(11)}$$

Si se aplican logaritmos y se multiplica por -1, la expresión queda como

$$pH_s = pCa^{2+} + pHCO_3^- - pk_2 + pk_s \quad \textbf{(12)}$$

en la que pHs es el pH de saturación.

La relación (12) es una versión simplificada de la ecuación de Langelier para el cálculo del pH de saturación del agua con los contenidos especificados de iones calcio y carbonato ácido, en el cual comienza la precipitación de $CaCO_3$.

A partir de este valor, se define el índice de estabilidad o agresividad de Langelier (Ia) como

$$Ia = pH - pHs \quad \textbf{(13)}$$

Donde pH es el pH del agua medido en el análisis de la misma. Cuando Ia tiene un valor positivo, el agua tiene tendencia a depositar el carbonato y se denomina incrustante. Por el contrario, si es negativo, el agua resulta agresiva con tendencia a la corrosión.

Aunque otros autores proponen diversos índices para la cuantificación de la agresividad del agua, todos en la actualidad se basan en la determinación de este pH de saturación o equilibrio.

La expresión (12) permite calcular el parámetro para aguas con poco contenido de sales disueltas, pero a medida que aumenta la salinidad o varía la proporción de los diversos iones en el agua, se torna necesario tenerlos en cuenta en el cálculo. Así, a lo largo de los años se han desarrollado diversos métodos, desde algunos tan simples como la utilización de un nomograma conociendo sólo los valores de sólidos totales, alcalinidad y concentración de calcio del agua, hasta los más complejos incluyendo en las expresiones de cálculo la influencia de todos los iones mayoritarios a través de la fuerza iónica del agua. Intermedios hay algunos otros que utilizan fórmulas sencillas parecidas a la obtenida en (12), pero incluyendo factores para corrección según el contenido de sólidos disueltos en el agua. [3],[4],[13]

Además de esto, para el cálculo de la fuerza iónica también se proponen en la bibliografía [3][4] expresiones simplificadas para un cálculo más rápido o cuando no se dispone de un análisis completo de aniones y cationes, pero sí puede conocerse la conductividad o el contenido de sólidos disueltos totales.

Sin embargo, por trabajos previos de los autores se determinó que dadas las características de las aguas naturales de uso industrial o domiciliario en San Rafael, Mendoza, presentan generalmente altos contenidos de sales, con predominancia clara de los sulfatos entre los aniones, relativamente baja alcalinidad y alta dureza. A causa de ello, se considera que la metodología más adecuada para el análisis de la agresividad de dichas aguas es la basada en la determinación del pHs mediante el cálculo de la fuerza iónica del agua considerando la totalidad de los iones presentes, a partir de un análisis físico químico completo.

2 Objetivo

Comparar la agresividad de las aguas de uso industrial (provenientes de fuentes subterráneas) y de uso domiciliario (mayoritariamente de fuentes superficiales) en el sur de Mendoza.

3 Materiales y Métodos

3.1 Puntos de muestreo.

Se eligieron perforaciones en uso para la provisión de agua para diversas industrias frutihortícolas y vinícolas del departamento de San Rafael, Mendoza, recabando los datos de la profundidad de captación de la misma y se realizaron extracciones de muestras en diferentes fechas del año, a los fines de incluir posibles variaciones estacionales en la calidad físico química del agua.

Asimismo se muestrearon diversos puntos de la red de agua potable y algunos de aguas superficiales. Los datos presentados en este trabajo provienen de 16 muestras de agua subterránea y 11 de agua superficial.

3.2 Composición media del agua.

Excepto la temperatura, que se midió *in situ*, en el momento de extraer las muestras, todos los análisis fisicoquímicos del agua se realizaron en laboratorio, conforme a técnicas analíticas de los Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales, de APHA-AWWA-WPFC [4]

Los análisis incluyeron determinaciones de pH, conductividad eléctrica (C), sólidos disueltos totales (SDT), alcalinidad, dureza, especies aniónicas como cloruros, sulfatos y especies carbonatadas, y especies catiónicas como calcio, magnesio, sodio, potasio.

En todos los casos se trabajó con los valores medios y desviaciones estándar, calculando también los coeficientes de variación (CV) y las medianas de los datos a fin de comprobar la distribución normal de los mismos y la pertinencia de las comparaciones estadísticas utilizadas.

3.3 Determinación de la agresividad.

Todos los métodos disponibles para la medición de la agresividad de un agua se relacionan al pH de saturación (pHs) de la misma. Si bien este parámetro puede utilizarse de diversas maneras, el carácter agresivo (ya sea corrosivo o incrustante) del agua se determinó como Índice de Agresividad (Ia) de Langelier, o sea, la diferencia

entre el pH medido del agua y el pH de equilibrio o saturación de la misma para una determinada temperatura:

$$Ia = pH - pH_s \quad \textbf{(13)}$$

La interpretación de este índice se indicó más arriba, considerándose aguas corrosivas si es inferior a 0 e incrustantes si supera ese valor.

Además se utilizó el Índice de Ryznar, señalado en la bibliografía como dando valores que permiten cuantificar mejor la agresividad del agua, calculado mediante la expresión

$$I_R = 2\ pH_s - pH \quad \textbf{(14)}$$

Este índice considera agua en equilibrio con valores entre 6 y 7, incrustantes con valores < 6 y corrosivas con valores >7.-

3.4 Determinación del pH de saturación (pHs).

Se calculó en base a la siguiente expresión, que utiliza la fuerza iónica del agua (*fi*)

$$pHs = pK_2 - pK_s + p[Ca^{2+}] + p[HCO_3^-] + 5\left(A\frac{\sqrt{f_i}}{1+\sqrt{f_i}} - 0{,}31\right) \quad \textbf{(15)}$$

Donde todas las concentraciones se expresan en mol / litro y

$$A = 1{,}82 * 10^6\ (E.T)^{-1{,}5} \quad \textbf{(16)}$$

E = Constante dieléctrica del agua

T= Temperatura en ºK

La fuerza iónica (f_i o también μ) debe, por definición, determinarse según la ecuación (17) [4], que es la utilizada en el presente trabajo.

$$f_i = \mu = \frac{1}{2}\sum [X_i] Z_i^2 \quad \textbf{(17)}$$

Donde $[X_i]$ es la concentración del componente *i* en moles/litro y Z_i la carga de la especie *i*.

Esta metodología requiere disponer en cada caso de un análisis completo del agua y cálculos de relativa complejidad. A los efectos de disponer de un cálculo rápido y/o cuando se dispone sólo de valores de conductividad o de sólidos disueltos totales, el mismo Manual de Métodos normalizados para el Análisis de Aguas y Potables y Residuales, ofrece las expresiones (18) y (19) [4], las cuales deberían proveer una aproximación suficiente al valor real.

$$f_i = 1{,}6 * 10^{-5}\ C \quad \textbf{(18)}$$

Donde *C* es la conductividad del agua, expresada en μS/cm

$$f_i = SDT / 40000 \quad \textbf{(19)}$$

Donde *SDT* son los sólidos disueltos totales, expresados en mg/litro.

Sin embargo, dada la experiencia previa de los autores, la expresión (18) no provee una correlación satisfactoria entre los valores reales y los calculados de la fuerza

iónica, debido a las características propias del agua de la zona, con altos contenido de sulfatos y bajos de especies carbonatadas. Aunque en el trabajo se emplean los valores de fuerza iónica calculados mediante la ecuación (17) , en caso de no disponer del análisis completo del agua podría utilizarse la expresión (19) para su cálculo, la cual da una mejor correlación con los valores reales.

3.5 Análisis de los datos

Para el análisis estadístico de los resultados se utilizó el paquete Statgraphics plus 5.1. Las comparaciones se realizaron mediante ANOVA y pruebas múltiples de rangos (LSD 95%) para detectar diferencias estadísticamente significativas, previa constatación de distribución aproximadamente normal de los datos mediante los coeficientes de asimetría y curtosis y la relación entre las desviaciones estándar de las muestras. En los casos de anormalidad, las diferencias significativas fueron corroboradas mediante prueba de Kruskal Wallis.

4 Resultados y discusión

4.1 Composición media del agua.

Las composiciones medias de las aguas subterráneas y superficiales, con sus desviaciones estándar y coeficientes de variación se muestran en la tabla 1, en la cual se incluyen también las medianas de los datos, que permiten ver, por su cercanía con el valor medio, una distribución aproximadamente normal de los datos. Se trata, en general de aguas de elevado contenido salino como se muestra por la conductividad y residuo seco (SDT), pero con muy marcadas diferencias entre las aguas subterráneas y las superficiales, donde las primeras prácticamente duplican el valor salino de las últimas.

El Análisis de la Varianza muestras diferencias significativas entre las muestras provenientes de aguas profundas y superficiales, excepto para el pH y el dióxido de carbono.

En las figuras 3 y 4 pueden compararse los perfiles iónicos de ambos tipos de agua (valores medios e intervalos de confianza), los cuales aparecen como muy similares, difiriendo en los contenidos absolutos de iones pero manteniendo similitud en las relaciones entre los contenidos las especies iónicas presentes en cada una.

Las figuras 5 a 8 permiten visualizar fácilmente tanto la dispersión de los valores en ambos grupos de muestras como las diferencias entre grupos para los diferentes parámetros físico químicos analizados (salinidad, dureza, pH, aniones y cationes).

Tabla 1. Composición media del agua subterránea (uso industrial) y superficial (uso domiciliario) y contraste mútiple de medias (ASD 95%). Letras desiguales en las filas indican diferencias estadísticamente significativas en el parámetro medido, para α=0.05

Parámetro medido	Agua subterránea			Agua superficial		
	Promedio ± D.E	CV %	Mediana	Promedio ± D.E	CV %	Mediana
Conductividad, en µS/cm	2314 ± 352 a	15	2240	1261 ± 234 b	19	1265
Sólidos disueltos, en mg/L	1824 ± 361 a	20	1795	897 ± 167 b	19	954
pH	7,3 ± 0,4 a	4,9	7,3	7,3 ± 0,4 a	5,3	7,3
Dureza, en mg $CaCO_3$/L	943 ± 321 a	34	890	422 ± 105 b	25	440
Calcio, en mg Ca^{2+}/L	296 ± 115 a	39	262	132 ± 38 b	29	140
Magnesio, en mg Mg^{2+}/L	49 ± 24 a	48	48	22 ± 7 b	31	22
Sodio, en mg Na^{+}/L	185 ± 96 a	52	180	107 ± 24 b	22	98
Potasio, en mg K^{+}/L	11 ± 6 a	52	11	6 ± 1 b	20	6
Alcalinidad, en mg $CaCO_3$/L	167 ± 45 a	27	168	107 ± 26 b	25	100
Cloruros, en mg Cl^{-}/L	252 ± 97 a	38	217	155 ± 41 b	26	156
Sulfatos, en mg SO_4^{2-}/L	797 ± 246 a	31	767	320 ± 96 b	30	335
Carbonatos, en mg CO_3^{2-} /L	0 ± 0 a	0	0	0 ± 0 a	0	0
Bicarbonatos, en mg HCO_3^{-}/L	204 ± 55 a	27	206	131 ± 32 b	25	122
CO_2, en mg $CaCO_3$/L	24 ± 17 a	71	24	16 ± 17 a	104	8

Tabla 2. Valores medios de fuerza iónica, pHs e índices de agresividad del agua subterránea (uso industrial) y superficial (uso domiciliario) y contraste múltiple de rangos (LSD 95%). Letras desiguales en las filas indican diferencias estadísticamente significativas en el parámetro medido, para α=0.05

Parámetro medido	Agua subterránea			Agua superficial		
	Promedio ± D.E	CV %	Mediana	Promedio ± D.E	CV %	Mediana
Fuerza iónica (fi), en mmol/L	44,8 ± 10,3 a	23	43,1	20,8 ± 4,4 b	21	21,6
pHs corregido por fi, a 25ºC	6,9 ± 0,2 a	3,4	6,9	7,3 ± 0,1 b	1,6	7,3
pHs corregido por fi, a 70ºC	6,3 ± 0,2 a	3,6	6,3	6,8 ± 0,1 b	1,7	6,8
Ia (Langelier), a 25º C	0,4 ± 0,3 a	86	0, 4	0,01 ± 0,4 b	-	-0,04
Ia (Langelier), a 70º C	0,9 ± 0,3 a	37	0,9	0,6 ± 0,4 b	71	0,5
IR (Ryznar), a 25ºC	6,5 ± 0,5 a	7	6,3	7,3 ± 0,5 b	6	7,2
IR (Ryznar), a 70ºC	5,4 ± 0,5 a	9	5,2	6,2 ± 0,5 b	7	6,1

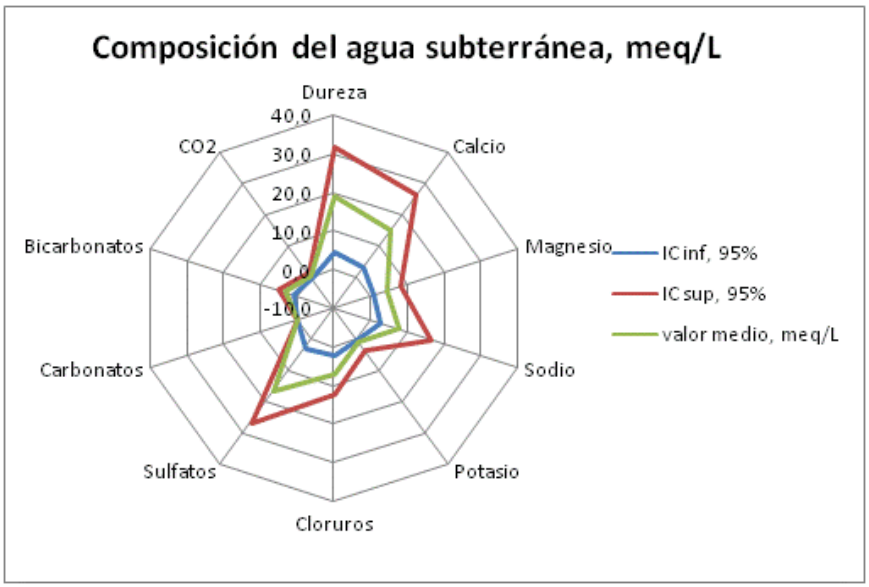


Fig. 3. Composición iónica media del agua subterránea, con sus respectivos intervalos de 95% de confianza

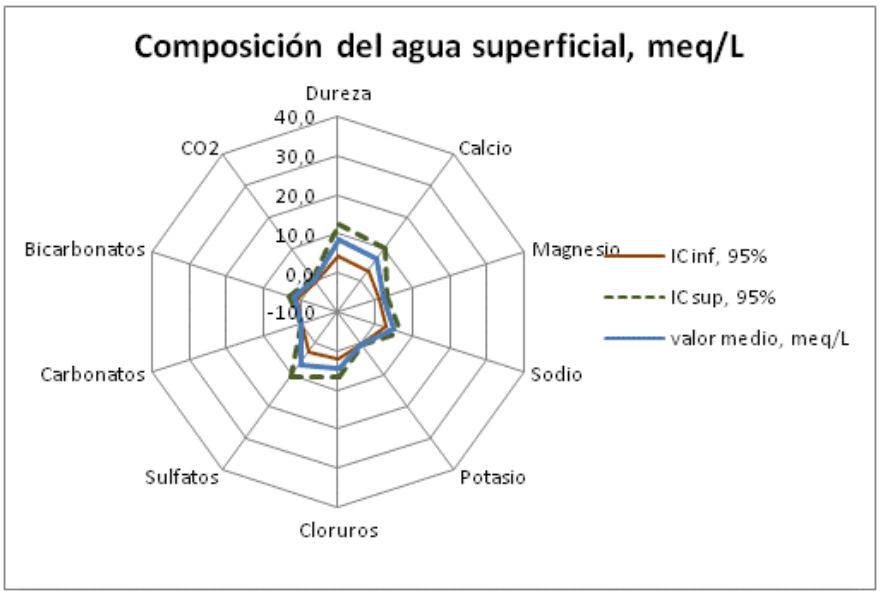


Fig. 4. Composición iónica media del agua superficial, con sus respectivos intervalos de 95% de confianza

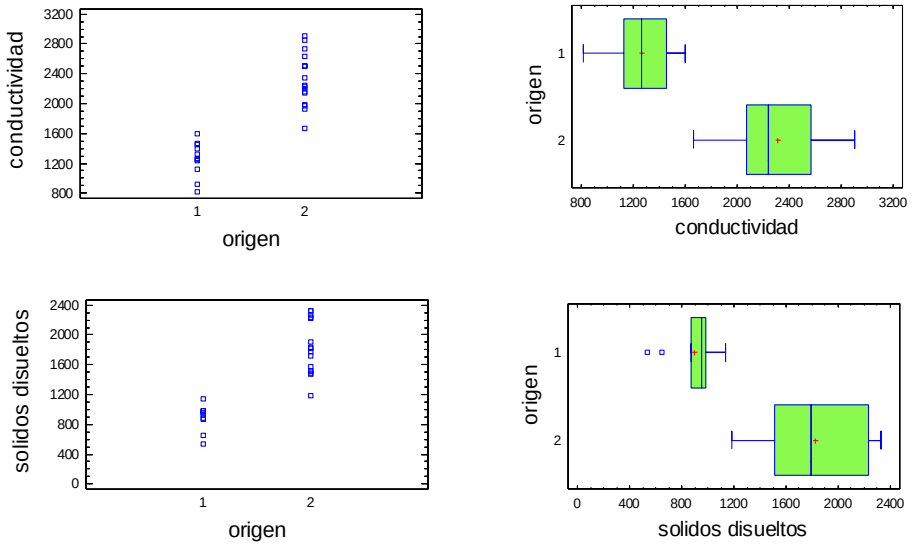


Fig. 5. Gráficas de dispersión y de caja y bigotes para la conductividad (µS/cm) y los sólidos disueltos (mg/l) del agua de distintos orígenes (1: Agua superficial; 2: Agua subterránea)

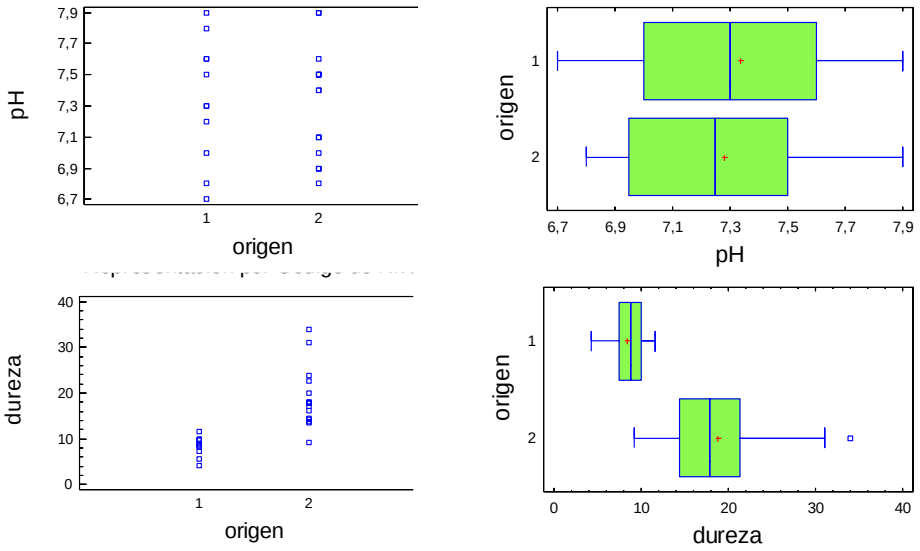


Fig. 6. Gráficas de dispersión y de caja y bigotes para el pH y la dureza (meq $CaCO_3$/l) del agua de distintos orígenes (1: Agua superficial; 2: Agua subterránea)

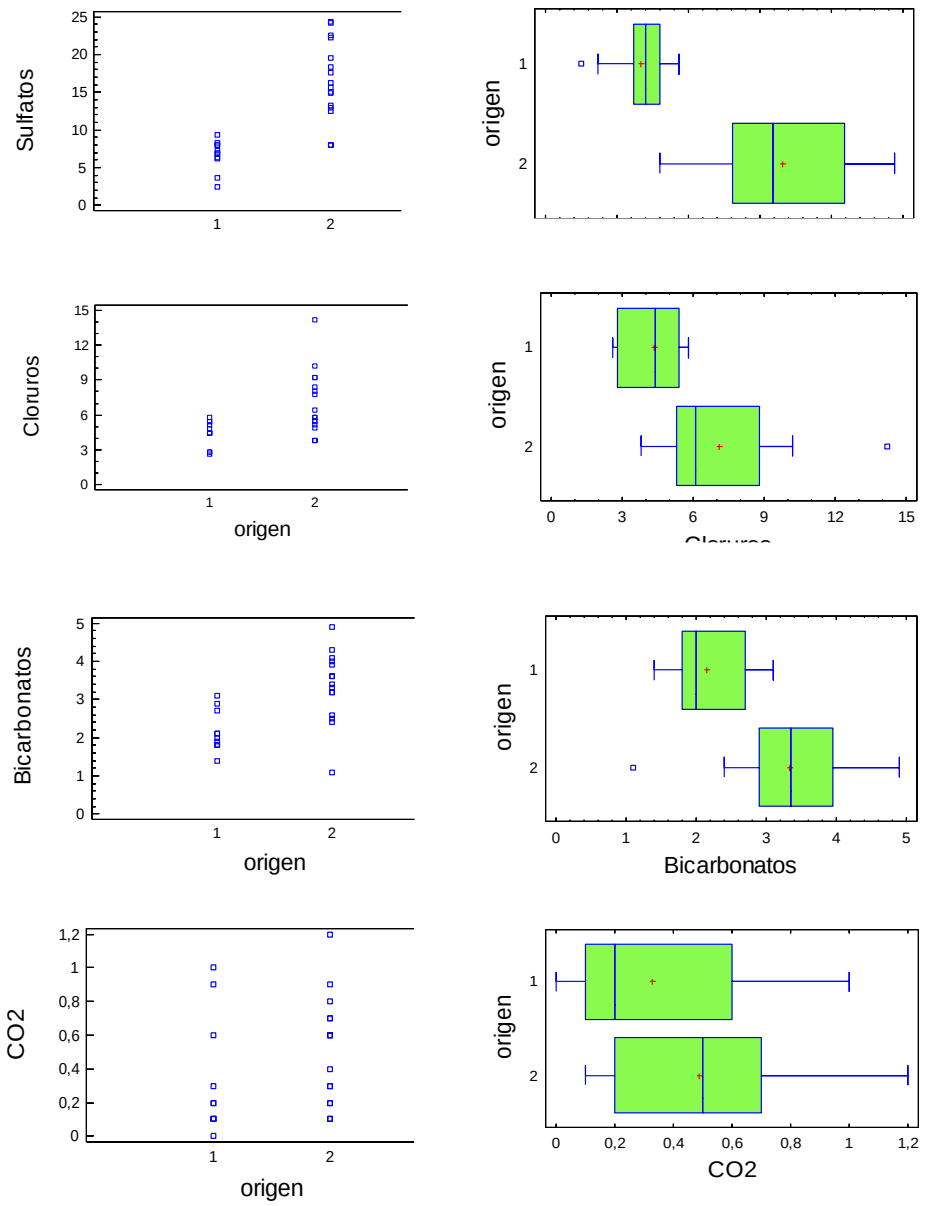


Fig. 7. Gráficas de dispersión y de caja y bigotes para los principales aniones (meq/l) del agua de distintos orígenes (1: Agua superficial; 2: Agua subterránea)

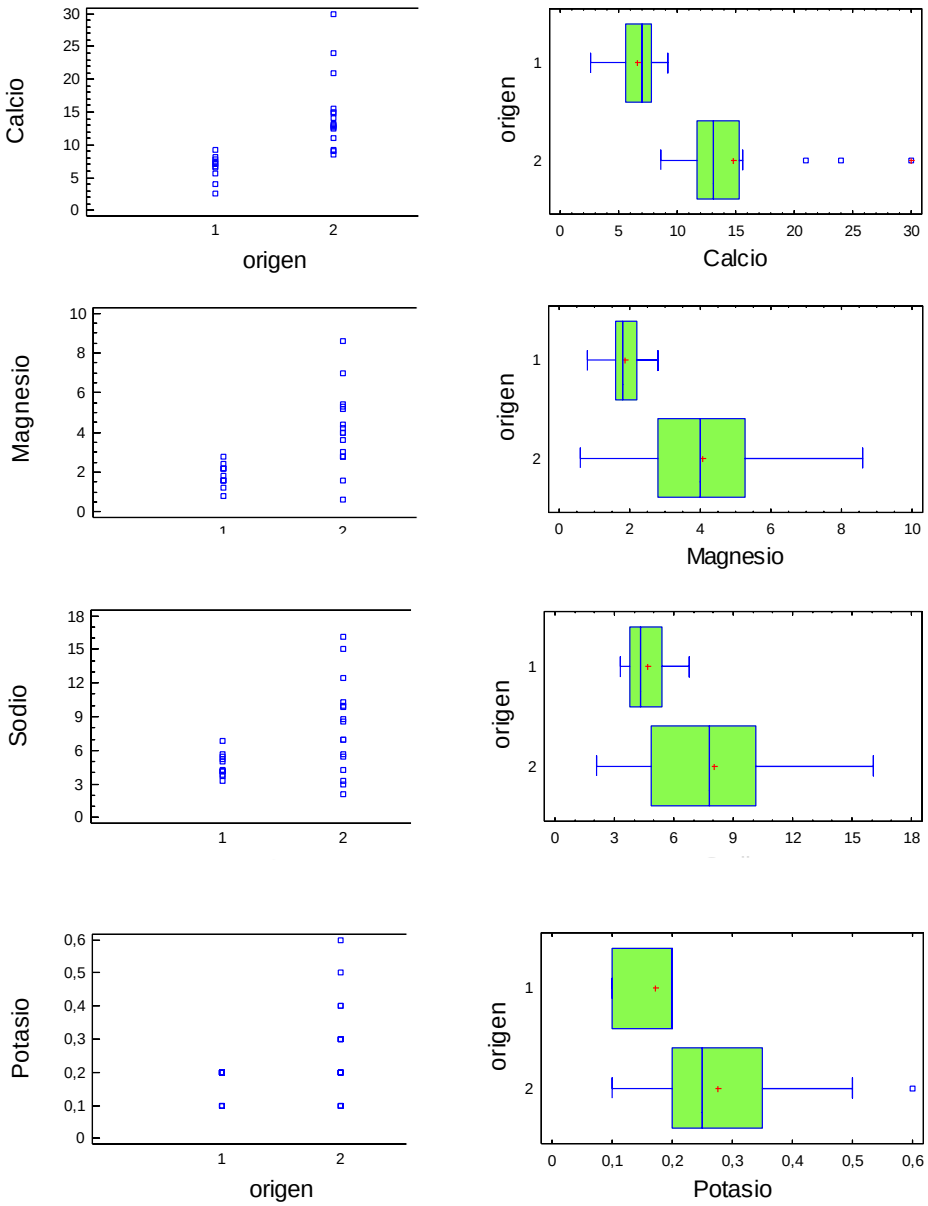


Fig. 8. Gráficas de dispersión y de caja y bigotes para los principales cationes (meq/l) del agua de distintos orígenes (1: Agua superficial; 2: Agua subterránea)

4.2 Fuerza iónica y pHs del agua

En la tabla 2 se muestran, en igual forma a la utilizada para los parámetros químicos, los valores de fuerza iónica calculada mediante la expresión (17) y los del pHs de saturación, calculados para agua fría (temperatura ambiente) y caliente, mediante las expresiones (15 y 16), con diferencias estadísticamente significativas (α=0,05) en todos los casos entre el agua superficial y la subterránea.

En la figura 9 se visualiza más fácilmente la dispersión de los datos y las diferencias altamente significativas entre ambos grupos de muestras.

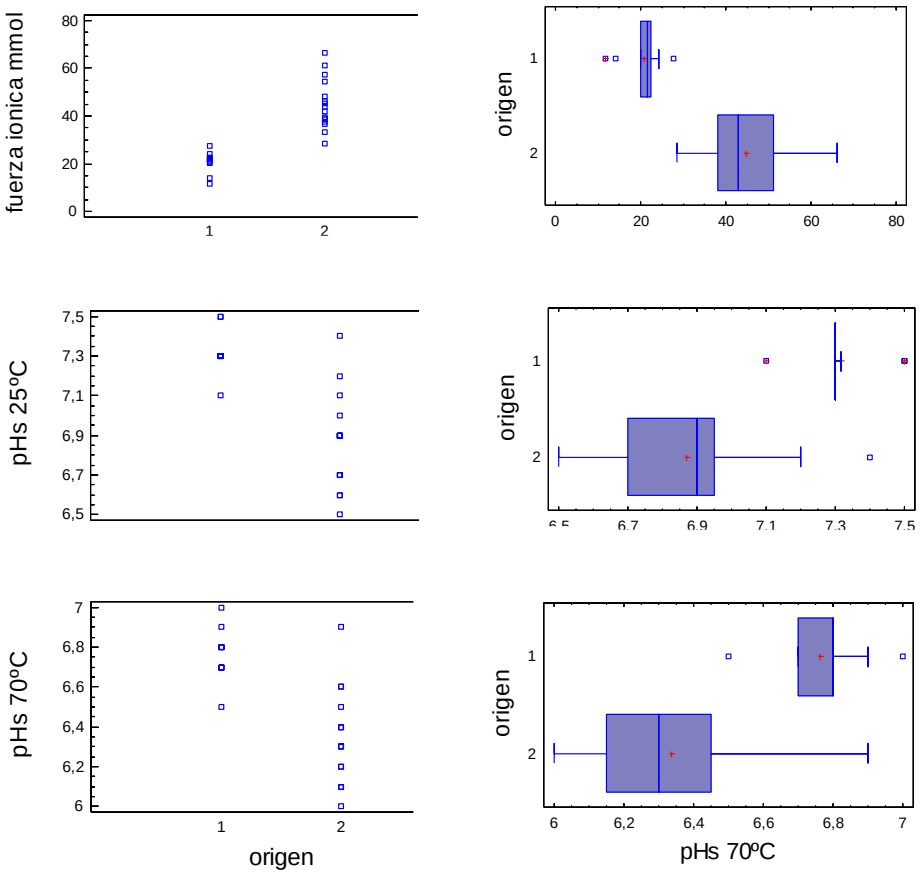


Fig. 9. Gráficas de dispersión y de caja y bigotes para la fuerza iónica (mmol) y los pHs del agua fría y caliente de distintos orígenes (1: Agua superficial; 2: Agua subterránea)

4.3 Agresividad del agua

Los valores de los índices de agresividad de Langelier y de Ryznar hallados para el agua subterránea y superficial se muestran en la tabla 2. Dado que el pH es muy similar en ambos tipos de agua, mientras el pHs para diferentes temperaturas muestra diferencias significativas entre ellas, los valores de ambos índices de agresividad son significativamente diferentes (α=0,05) en el agua de uso industrial y la de uso domiciliario

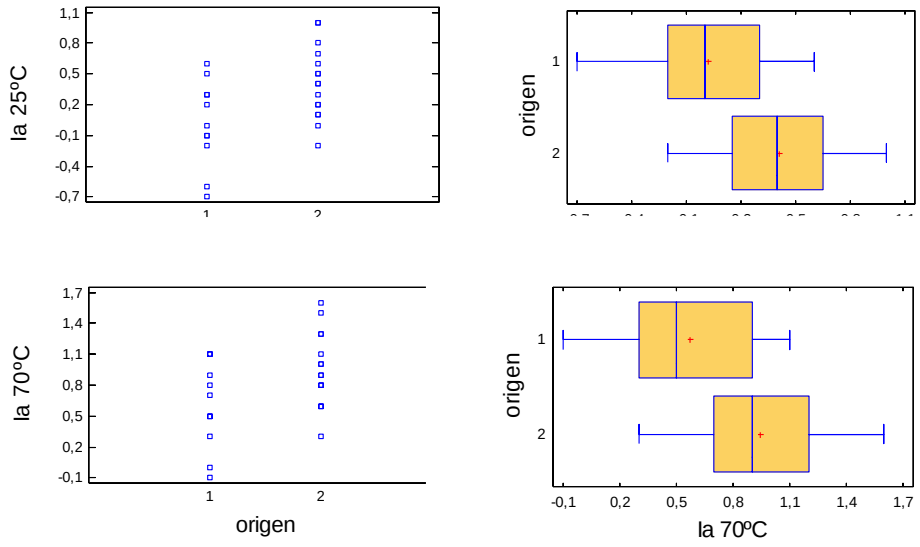


Fig. 10. Gráficas de dispersión y de caja y bigotes para los Índices de Agresividad de Langelier (Ia) del agua fría y caliente de distintos orígenes (1: Agua superficial; 2: Agua subterránea)

Aunque las diferencias aparecen como estadísticamente significativas, puede observarse una gran dispersión en los valores, así como superposición en buena parte del rango de los mismos. Según este índice aproximadamente la mitad de las muestras de agua superficial muestran comportamientos con tendencia a la corrosión a bajas temperaturas e incluso a altas temperaturas, algunas estarían en equilibrio mientras las restantes son netamente incrustantes. En las aguas subterráneas (uso industrial), sólo una o dos muestras aparecen en equilibrio a bajas temperaturas, mientras las restantes son netamente incrustantes incluso a 20 – 25ºC.

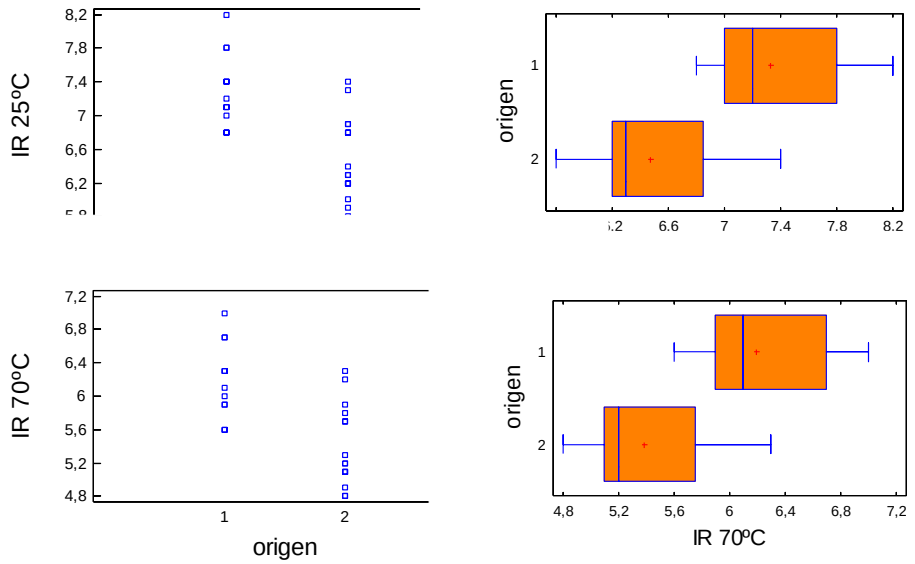


Fig. 11. Gráficas de dispersión y de caja y bigotes para los Índices de Agresividad de Ryznar (I_R) del agua fría y caliente de distintos orígenes (1: Agua superficial; 2: Agua subterránea)

Al igual que en el índice de Langelier, si bien las diferencias resultan estadísticamente significativas, los resultados muestran amplia dispersión y superposición.

Sin embargo, este índice considera la totalidad de las muestras de aguas superficiales como en equilibrio o corrosivas a temperatura ambiente y sólo una pequeña proporción como levemente incrustante a altas temperaturas. Asimismo las aguas subterráneas se considerarían en equilibrio o débilmente incrustantes a bajas temperaturas y sólo una pequeña proporción se consideraría netamente incrustante a altas temperaturas.

5. Conclusiones

Las aguas naturales superficiales y de profundidad del sur de la provincia de Mendoza muestran diferencias altamente significativas en casi todos sus parámetros físico químicos, con excepción del pH y el contenido de dióxido de carbono, siendo éste último, en general, muy bajo.

La salinidad de las aguas de profundidad (de uso industrial, más comúnmente) es aproximadamente el doble de la que presentan las aguas superficiales (utilizadas en la red domiciliaria), lo que se traduce en una fuerza iónica muy superior para las primeras, afectando su comportamiento de agresividad frente a diversas instalaciones.

Los índices de agresividad de las aguas de profundidad muestran su tendencia a ser incrustantes a 25ºC y netamente incrustantes a 70ºC, representando un problema que requiere corrección si se utilizan en equipos a temperaturas elevadas.

Por su menor fuerza iónica, las aguas de superficie utilizadas en la red domiciliaria, aparecen mayormente en equilibrio (ni corrosivas ni incrustantes) a 25ºC, aunque netamente incrustantes a 70ºC, lo que representa básicamente problemas para las instalaciones de agua caliente (calefones, etc).

La utilización de los índices de Langelier para la evaluación de la agresividad aparece como más conveniente que el uso de los índices de Ryznar, debido a las características propias de las aguas de la zona, cuyo contenido de sulfatos es habitualmente 3 a 4 veces superior al de especies carbonatadas, produciendo un mayor potencial incrustante, no contemplado en la determinación de estos índices, más apropiados para aguas cuyas especies predominantes son las carbonatadas.

Referencias

1. Birnhack, L. et al., Fundamental chemistry and engineering aspects of post-treatment processes for desalinated water—A review, Desalination (2010), doi:10.1016/j.desal.2010.11.011
2. Barceló Quintal, I. D. Tesis doctoral, Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Ingeniería, México, (2000).
3. Rodier, J.:*Análisis de las aguas. Aguas naturales, aguas residuales, agua de mar.* Ed. Omega S.A.121-130 (1998).
4. APHA-AWWA-WPCF. Methods for the examination of water. American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Pollution Control Federation (WPCF), Washington. (1995)
5. Snoeyink, V.L.; Jenkins, D. Química de agua, ed. Limusa, México, (1996)Manaham, S.E. Enviromental Chemistry. 6th Edition, Lewis, Boca Raton, (1994).
6. CNA. Manual de procedimientos para la atención de emergencias en el sistema de drenaje. En: Comisión Nacional del Agua. Subdirección General de Administración del Agua. Subgerencia de Protección y Seguridad Hidráulica. Centro de Entrenamiento de Administración del Agua, México, (1992).
7. Christian, Gary D. Química Analítica 2ª Edición, México: Editorial Limusa, (1981) 685pp.
8. Villar Alvarado, M.J.; Tesis de grado Ingeniería Química, Determinación cuantitativa de la agresividad y dureza total del agua subterránea de uso industrial, en el área metropolitana de Guatemala (Región I), a través del índice de Langelier considerando iones ajenos al sistema carbonato. Universidad de San Carlos de Guatemala (2008)
9. Droste, R. L. Theory and practice of water and wastewater treatment. John Willey &Sons, Inc. pp. 468-471. (1997).
10. Fair G. M.; Geyer, J. C. Okun, D. A.. Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales (1997)
11. Langelier, W.F. J. Am.. Wat. Works Ass.,(AWWA) 28, pp. 1500-1521. (1936)
12. Shams El Din A.M. Three strategies for combating the corrosión of steel pipes carrying desalinated potable water. Desalination 238 (2009) 166–173
13. Barceló, I.D., Allende, I., Solís, H.E., Bussy, A.L., Gonzalez, C. Determinación del estado de equilibrio de un sistema hídrico. Journal of the Mexican Chemical Society. Vol 46 Num 2, 93-104 (2002).

Uso del jarabe Sucrodex® en la Elaboración de Cerezas en Conserva para lograr un Alimento de Reducido Contenido Calórico

Mariela Maldonado[a, b], Marianela Zanon[c], Marcela Almanza[c], Mercedes Barroso[c], Gustavo Polenta[d] Gabriela Denoya [d] y Claudio Sanow [d]

[a] EEA Luján INTA Mendoza. San Martín 3853. Mayord Drummond Mendoza. Tel. Fax: 0261 4963020 mmaldonado@mendoza.inta.gov.ar
[b]CONICET

[c] Facultad de Don Bosco de enología y Ciencias de la Alimentación. Universidad Católica de Cuyo.
[d]. INTA Castelar. Instituto de Tecnología de Alimentos

Resumen El excesivo incremento en la cantidad de azúcar que ingieren las personas, ha llevado a modificar productos tradicionales con el fin de disminuir el contenido de sacarosa en los mismos sin perder las características funcionales de la misma. Entre los sustitutos de sacarosa se encuentran edulcorantes nutritivos, como los jarabes de glucosa y fructosa que tienen algunas de las propiedades funcionales semejantes al jarabe preparado con azúcar. Pero realmente no existe el sustituto ideal, por esta razón se ve la necesidad de utilizar mezclas y evaluar la más viable tecnológicamente, de mejor impacto en la salud y de mayor aceptabilidad por parte de los consumidores. Estos jarabes han reemplazado a la sacarosa en muchos alimentos y bebidas por su poder edulcorante, bajo costo, propiedades funcionales y estabilidad que le otorgan al producto. El objetivo de la presente investigación ha sido evaluar los efectos de distintas formulaciones de Sucrodex® en las propiedades físico-químicas y sensoriales en la elaboración de cerezas conservadas, y obtener un producto similar con menor aporte energético.

Palabras Clave: cerezas en conserva, jarabes de glucosa y fructosa, Sucrodex®.

1 Introducción

A finales del siglo XVII se suponía que el azúcar era causante de producir escorbuto y como resultado surgieron diversas organizaciones que estaban en contra de su consumo debido a los efectos que producía en el cuerpo humano, y al mismo tiempo querían que su consumo fuese prohibido [1]. Antes ésta situación surgió la necesidad de buscar un aditivo que pudiera sustituir al azúcar de los alimentos, proporcionando las mismas cualidades y sensaciones que producía el azúcar. Es así como nacen los edulcorantes, aditivos alimentarios que son capaces de simular la presencia del azúcar en los alimentos. Los jarabe de glucosa y fructosa como sustitutos de la sacarosa tienen ciertas ventajas a nivel industrial como: **Estabilidad:** la alta concentración del jarabe permite que sea un producto estable ante el ataque bacteriano y la descomposición. **Transporte y almacenamiento:** a diferencia de la sacarosa que es transportada en sacos de manera manual, el jarabe de glucosa y fructosa es

transportado por medio de bombas y tuberías. Además, el uso de sacos generalmente contamina el azúcar con hilos y pedazos del material del saco y su vaciado usualmente produce derrames de azúcar fuera de los recipientes o tanques de mezcla donde se vierten. **Pureza:** los jarabes son productos libres de materias extrañas que usualmente se encuentran en el azúcar granular. Esto permite que la etapa de filtración en casi todo el proceso sea eliminado. **Disolución:** para disolver la sacarosa se requiere de alto tiempo de mezclado a altas temperaturas, lo que se traduce a una baja eficiencia de producción. Con el jarabe de fructosa y glucosa el rango de tiempo empleado en su disolución se reduce en un 60-80% sin dejar residuos de sólidos en el fondo del tanque de mezcla o recipientes donde se vierten. El consumo energético es menor, ya que no se necesitan altas temperaturas para su completa disolución. **Digestibilidad:** la fructosa y glucosa, a diferencia de la sacarosa, son carbohidratos simples fácilmente digeribles por el organismo humano, por lo que el aparato digestivo no necesita realizar grandes esfuerzos para su absorción. **Vida útil:** el jarabe de fructosa y glucosa imparte a los productos el doble de concentración molecular que la sacarosa, aumentando así su presión osmótica y por lo tanto la resistencia al ataque bacteriano. **Potenciador de sabor:** la fructosa además de ser edulcorantes, realza los sabores, por lo que es posible reducir las cantidades de saborizantes y concentrados de fruta en las formulaciones de bebidas en general. Además de ser beneficiosa para la salud en un consumo moderado de la misma [2]. El consumo excesivo y masivo está discutido [3].

2 Materiales y métodos

Para realizar los ensayos se utilizaron cerezas de la variedad Bing, enteras, decoloradas, descarozadas, despalilladas, sulfitadas con 3500 ppm, y de calibre 2,2 cm. Se utilizó jarabe Sucrodex® para realizar reemplazos en las formulaciones, cuya composición es una mezcla de 19% levulosa, 33% dextrosa, 8% maltosa, 6% maltotriosa y 34% azúcares superiores. Tiene menor poder edulcorante que la sacarosa y aporta de 2,8 kcal/g. Se realizaron ensayos con: Testigo o T1: sacarosa 100%, T2: sacarosa 75% - Sucrodex® 25%; T3: sacarosa 50% - Sucrodex® 50%, T4: Sucrodex® 100%. El candeado se hizo en forma lenta (método Francés) en cinco etapas desde 25º a 55º Brix. Se coloreó con eritrosina, amaranto al 0.0238% y 0.019% respectivamente y ácido cítrico al 2%. Se envasó y esterilizó.

Caracterización del producto [4]: a las 0, 24, 48, 72 y 96 horas de haber comenzado el ensayo, se determinó el pH con potenciómetro Orión M230 A, densidad, temperatura y sólidos solubles (A.O.A.C. 969.38) del jarabe; Humedad, aw (AquaLab model series 4 TE) y textura mediante texturómetro multipropósito utilizando celda de Kramer 10 Blade, Pert code HDP/KS10, con una carga de 5,9 N y color con colorímetro Konica Minolta CR-400, Iluminante D65 para los parámetros (L*, a* y b*), pérdida de peso de las cerezas. Se midió: peso, densidad (por gravimetría y volumen), pH, TºC, sólidos solubles (ºBx) de las soluciones y pulpa durante el proceso, aw y textura. Los datos se analizaron estadísticamente mediante StatGraphics Centurion XVI.I.

Análisis sensorial: Se utilizaron dos tipos de pruebas: Test de escala hedónica y prueba de preferencia de los productos terminados en panel de consumidores [5]. Para el tratamiento estadístico posterior, se asignó a cada punto de la escala un valor numérico, según se detalla a continuación:

Descripción	Valor
Me disgusta mucho	-2
Me disgusta	-1
Ni me gusta ni me disgusta	0
Me gusta	1
Me gusta mucho	2

También se pidió a los jueces que emitieran cualquier tipo de comentario, opinión o sugerencia que creyeran conveniente.

Análisis nutricional: Se realizó el cálculo teórico de poder edulcorante y de valor calórico. Para los cálculos de aportes energéticos, se realizó el análisis nutricional del Testigo (sac100%) para a partir de allí realizar los cálculos teóricos de la modificación de los valores energéticos y nutricionales para cada uno de los tratamientos

3 Resultados

Los resultados más representativos del trabajo se presentan a continuación.

En la Fig. 1 se puede observar la variación general de los sólidos solubles en la solución edulcorante en función del tiempo durante todo el tratamiento de deshidratación de las cerezas. La solución osmodeshidratante empleada es un sistema químico homogéneo de moléculas, por lo que se puede apreciar una disminución casi gradual de los ºBrix en el jarabe ya que la penetración de los sólidos disueltos en la solución difunden de manera semejante hacia las cerezas.

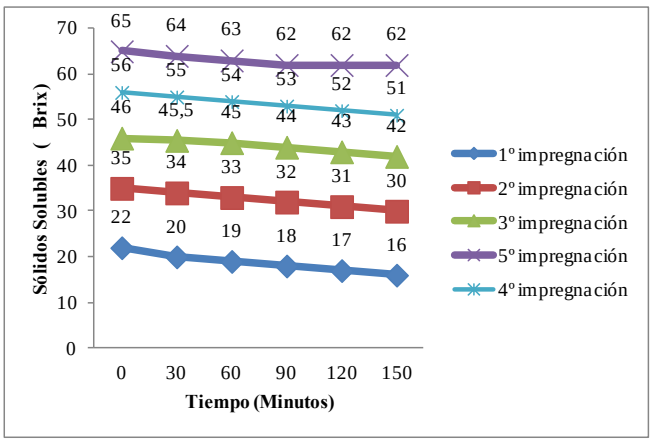


Fig. 1. Evolución de los ºBrix en función del tiempo para el Testigo o T1: sacarosa al 100%

En la Fig. 2 se puede observar la variación general de los sólidos solubles en la solución edulcorante en función del tiempo durante todo el ensayo de deshidratación de las cerezas del T3: sacarosa 50% - Sucrodex® 50%. En el tratamiento realizado con un jarabe cuya formulación ha sido reemplazada con 50% y 25% (gráfico no mostrado pero disponible) de Sucrodex®, no existe una disminución tan marcada en cuanto a los sólidos solubles de las cerezas en cada impregnación. Esto posiblemente se debe a que se ha trabajado con un sistema heterogéneo de moléculas, que tiene difusividad diferencial durante las impregnaciones, puesto que la penetración de los sólidos del jarabe hacia el interior de las cerezas no es igual para todas las moléculas, posiblemente debido a la existencia de distintos tamaños y composición molecular y sus consecuencias que componen al Sucrodex®**.** Por ello también en el tratamiento T4 de Sucrodex® al 100% a pesar de ser una solución, el sistema químico de moléculas es heterogéneo, en cuanto a su tamaño de moléculas que lo componen, su solvatación, capacidad de formar puentes hidrógenos, etc., lo que hace que tengan una difusividad diferencial y se refleje en la Fig. 3 donde la impregnación en las primeras horas es más acentuada respecto de la Fig. 1, donde la solución es homogénea de partículas de igual tamaño: sacarosa al 100%.

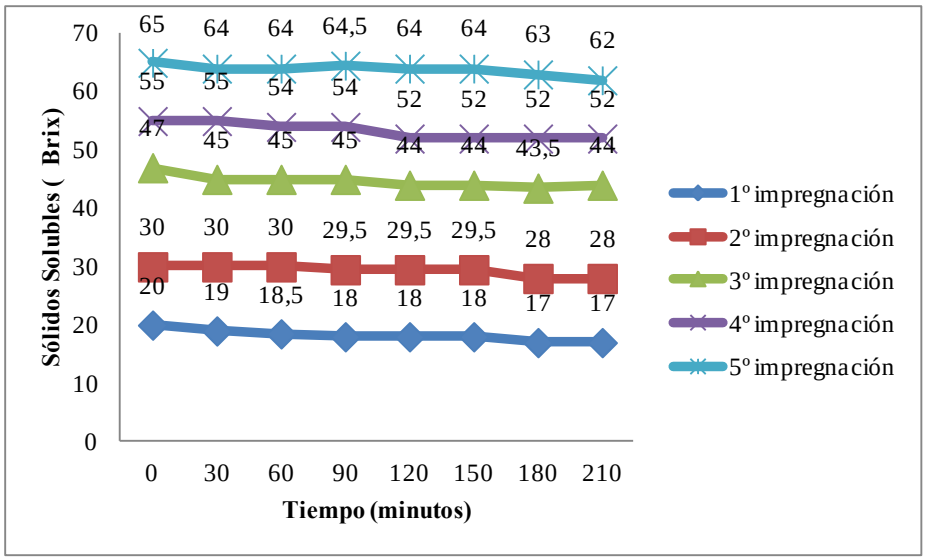


Fig. 2. Evolución de los ºBrix en función del tiempo para el Tratamiento T3: sacarosa 50%-Sucrodex® 50%.

Todos estas son propiedades física-químicas diferenciales de las moléculas en solución y que se trasladan adentro de la matriz alimentaria y es posible que interaccionen de manera diferente con la misma. Esto es consistente con lo que dice otros autores [6] pues de eso dependen los fenómenos como la difusión, además de la capilaridad; y éstos ocurren en el deshidratado osmótico. Es de esperar que la misma se vea modificado o no de acuerdo estas mismas propiedades básicas. Según otros autores [7] en función de las propiedades físicas de la disolución osmótica se observará un comportamiento u otro, ya que la interacción de los solutos con el agua

y la matriz sólida del alimento es distinta. Esta disolución osmótica en cuestión debe ser rica en solutos que depriman la actividad de agua de la fruta y que creen una diferencia de presión osmótica entre el producto a deshidratar y la disolución. Por otro lado, el tamaño de la molécula de soluto va a suponer una mayor o menor facilidad para atravesar la red tridimensional formada por los distintos constituyentes que conforman la estructura del alimento [8].

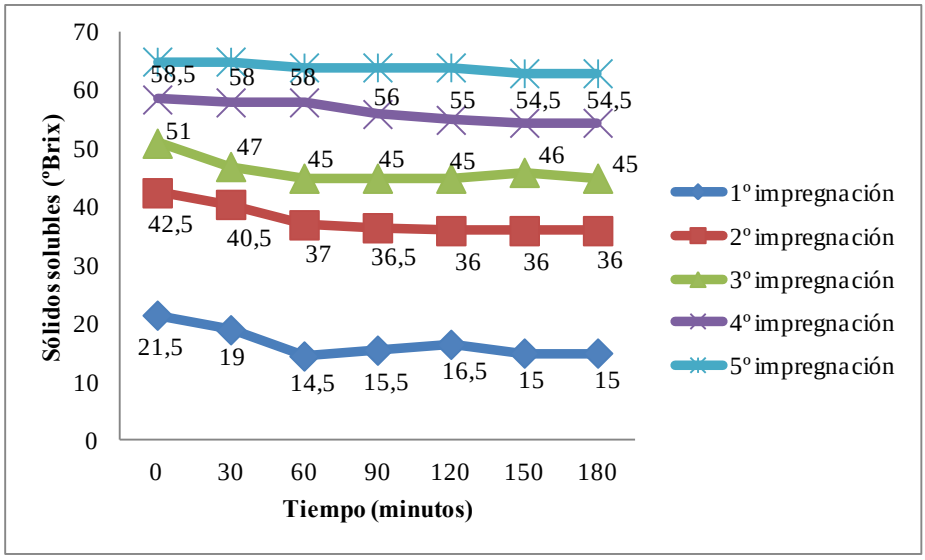


Fig. 3. Evolución de los ºBrix en función del tiempo para el T4: Sucrodex® 100%

Respecto a la pérdida de peso se observa claramente las diferencias entre la homogeneidad química del sistema del Tratamiento 1 respecto del T4 y de las formulaciones mezclas intermedias (figuras no mostradas pero disponibles).

La Fig. 4 muestra el comportamiento de la deshidratación osmótica de cerezas en jarabe de sacarosa100% T1, donde se observa que el producto terminado acusa una pérdida total de peso del 47,78%, consistente con la mayor pérdida de agua ver abajo Tabla N1): En este caso, durante la deshidratación osmótica ocurren simultáneamente dos fenómenos aparentemente proporcionales en el alimento: la pérdida de agua y la ganancia de sólidos solubles. Las pérdidas de peso son menores en los tratamientos con Sucrodex®, consistentes con menores pérdidas de agua (ver abajo Tabla N1): El T4: Sucrodex® al 100% perdió 30,0% de peso (ver Figura 5) y por último el T2: y el T3: con un 22,18% y 21,58. No obstante se repite que en las primeras impregnaciones se observó la mayor pérdida de peso del fruto, periodo en el cual la transferencia de soluto desde el agente osmodeshidratante hacia el fruto y la transferencia de agua en sentido contrario desde este son más altas que en las ultimas impregnaciones como se puede visualizar las Fig. 4 y 5, tal es consistente con lo hallado por distintos autores [6]. Y que en el último período del proceso, la velocidad de intercambio de masa tiende a disminuir de forma progresiva hasta alcanzar el equilibrio total del sistema, por encontrarse éste cercano al estadio de saturación. En esto de las pérdidas de peso menores en los tratamientos Sucrodex® podría estar jugando un rol importante la

interacción diferencial de las moléculas con otros componentes de la matriz, la adsorción de las moléculas de agua a las superficies, las fuerzas capilares y las sustancias disueltas [9] que harían que la pérdida de peso sea menor respecto del testigo, que invitarían a realizar un estudio más amplio.

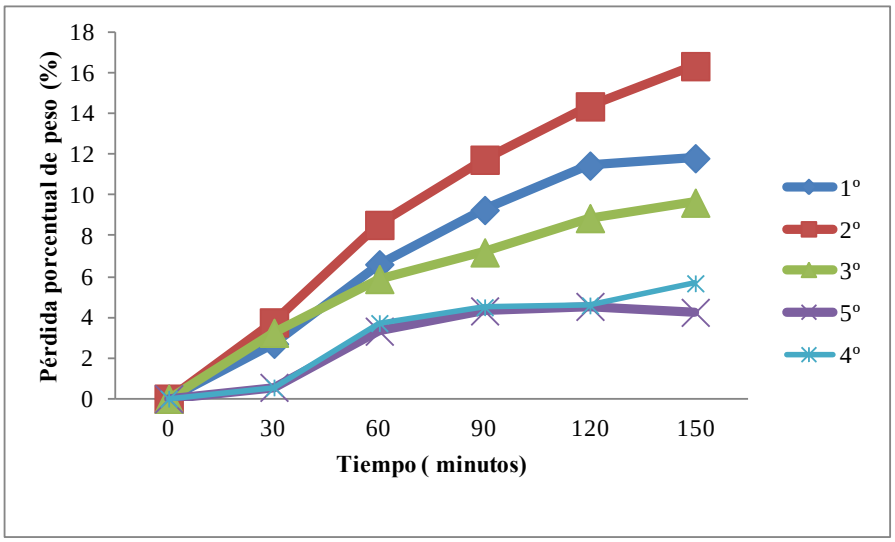


Fig. 4. Pérdida de peso porcentual para las distintas impregnaciones de Testigo sacarosa 100%

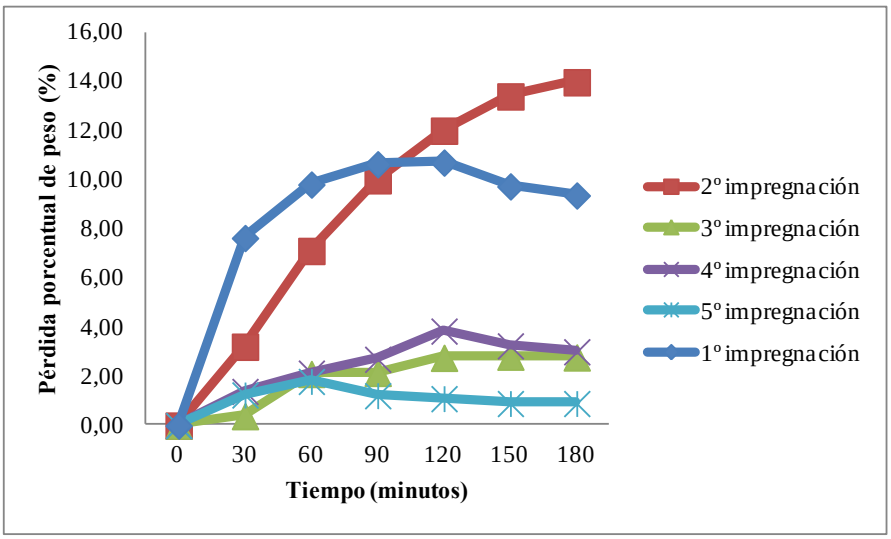


Fig. 5. Pérdida de peso porcentual para las distintas impregnaciones de Testigo Sucrodex® 100%

Respecto a la actividad de agua se puede observar en la Fig. 6 que el tratamiento realizado con 100% de jarabe de sacarosa o T1 es el que acusó menor a_w final (0,89),

seguido por el tratamiento T2: Sucrodex® al 25% (0,91%), luego el T3: Sucrodex® 50%(0,92) y T4: Sucrodex® 100%(0,94).

En el sistema formado por sacarosa solamente es en el que se obtiene mayor estabilidad del producto final, ya que presenta menor cantidad de agua disponible para el desarrollo de microorganismos, posiblemente relacionado a la cantidad de puentes hidrógenos que puede formar esta molécula, respecto de las otras mezclas de moléculas. Esto es consistente con toda la teoría expuesta en el presente trabajo; la sacarosa tiene mayor poder osmodeshidratante, por lo que era de esperarse que la formulación testigo que posee mayor cantidad de sacarosa, sea la que reduzca más la actividad de agua de las cerezas. Y lo corrobora el análisis de ANOVA para α (0,05), el cual halló que existe diferencia significativa entre tratamientos para la actividad de agua. El test de Fisher arrojó que las diferencias significativas son entre todos los tratamientos entre sí. T1 respecto de T2, T3 y T4; T2 respecto de T3 y T4 y T3 respecto de T4.

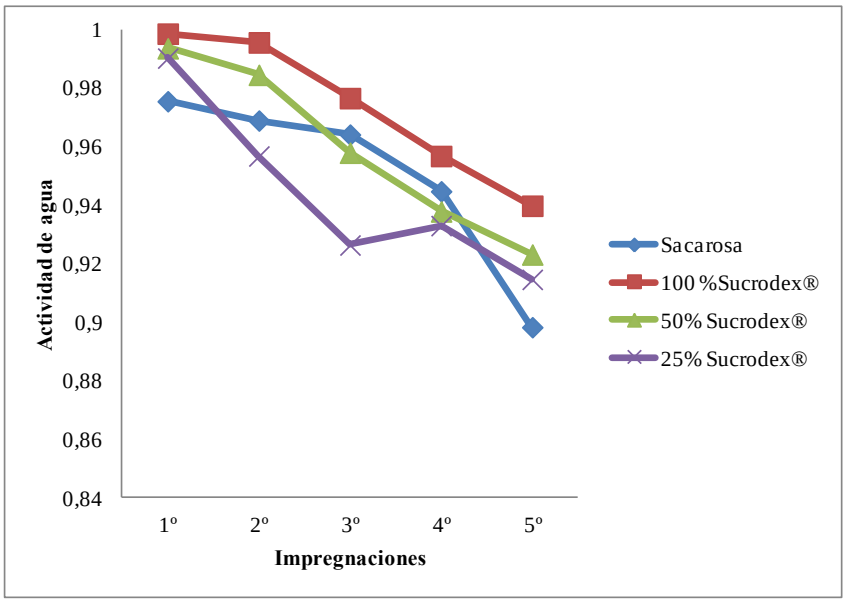


Fig. 6. Evolución de la actividad de agua en los distintos tratamientos durante las impregnaciones

En la Tabla 1 se muestran las humedades de los distintos tratamientos. El tratamiento que pierde más humedad es el T1 o Testigo con 100% de sacarosa ya que permite la salida del agua libre en mayor medida que los otros tratamientos. Posiblemente el sistema de sacarosa, por ser homogéneo, permite que quede más agua libre en el producto, por lo tanto tienen mayor poder deshidratante. Los tratamientos T2, T3 y T4 pierden menos humedad. Es decir que la sacarosa al permitir mayor salida de agua, también tiene menor agua disponible para los microorganismos que los otros tratamientos. Esto estaría relacionado con la capacidad diferencial de retención de agua, de formación de puentes hidrógenos y e interacciones moleculares que regulan

la transferencia de masa del sistema de acuerdo a la característica del sistema alimentario en el que difunden las soluciones de jarabe. Según el análisis estadístico Anova no existe diferencia significativa entre los valores medios de humedad de los distintos tratamientos con un nivel del 95,0% de confianza

Tabla 1. Humedad de los diferentes tratamientos.

Tiempo (horas)	Sacarosa	100%Sucrodex®	50%Sucrodex®	25%Sucrodex®
0	97,73	97,54	97,74	97,69
24	81,90	82,23	82,94	85,26
48	67,57	66,31	72,53	69,76
72	58,09	55,20	59,07	57,16
86	52,19	53,79	53,52	52,19

Los datos de textura fueron semejantes para todos los tratamientos como se puede observar en la Tabla 2. Esto es consistente con las observaciones de los jueces quienes no realizaron comentarios diferenciadores sobre la textura de los tratamientos. No se halló diferencia significativa entre tratamientos para α (0,05) en el análisis de ANOVA.

Tabla 2. Textura los diferentes tratamientos

Tratamiento/ Repeticiones	Sacarosa	100%Sucrodex®	50%Sucrodex®	25%Sucrodex®
1	19,36	19,12	15,86	18,62
2	19,62	20,56	18,14	15,89
38	19,47	14,26	16,01	13,44
Promedio	19,48	17,98	16,67	15,99

3.1 Análisis sensorial

En la Fig. 7 se observa el histograma de preferencia de las muestras terminadas, de 51 jueces convocados para la realización del análisis sensorial, 21 prefirieron las muestras tratadas con jarabe de sacarosa y 18 señalaron que las tratadas con jarabe de Sucrodex al 50% fueron las de su preferencia. En último lugar quedaron las preferencias de los tratamientos T4 y T2 elegidos por 6 jueces cada uno.

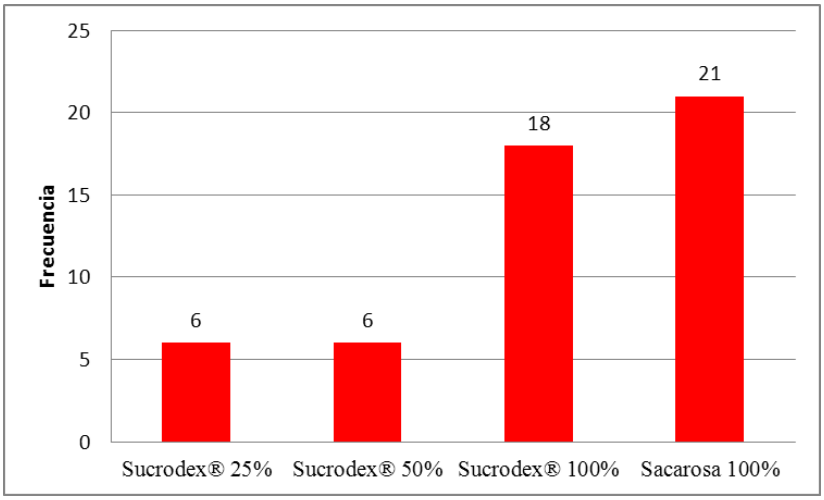


Fig. 7. Distribución de frecuencias de elección de los tratamientos

Observando los resultados de la prueba de preferencia (Fig. 8) se concluye que el 41% de los jueces prefirieron la muestra tratada en jarabe de sacarosa100% o T1. En segundo lugar resultó preferido el tratamiento realizado con jarabe de Sucrodex® al 50% o T2; y en tercero y cuarto lugar, las muestras tratadas con jarabe compuesto por 25 y 100 partes de Sucrodex® (T3 y T4).

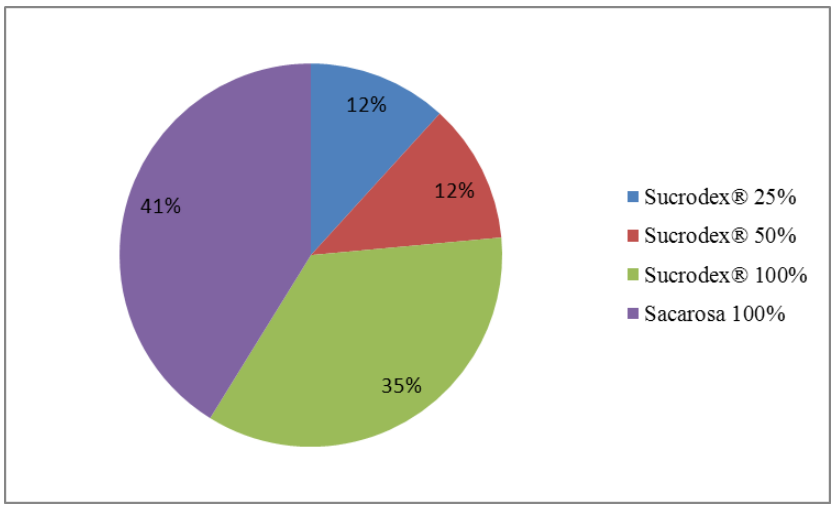


Fig. 8. Diagrama de distribución de la aceptación de los tratamientos

3.2. Análisis nutricional

El jarabe Sucrodex® tiene un valor calórico de 2,8 kcal/g. Este edulcorante es una marca comercial de la firma Productos de Maíz S.A. de Corn Products International. Por su parte, según el Art. 1370 del C.A.A, los "**Alimentos Dietéticos de Valor Energético o Calórico Reducido"** son aquéllos que proveen una cantidad de energía no superior al 70% de la que provee el alimento corriente correspondiente.

Se puede observar en la Tabla 3 que la formulación realizada con jarabe de Sucrodex® al 100% es el que presenta menor valor calórico y que el mismo se encuentra reducido en un 30% respecto de la sacarosa. Entonces el T4 cumple con el atributo "reducido en valor calórico" según el CAA. [10].

Teniendo en cuenta el gráfico de la evaluación sensorial de las muestras, el 35% de los consumidores prefirió las muestras tratadas con jarabe de Sucrodex® al 50%, y ésta formulación presenta un 15% menos de valor energético que la sacarosa, por lo que se puede considerar un producto alternativo para personas con sobrepeso, que se encuentren a dieta o que sean diabéticos, puesto que, además de poseer menor valor calórico, ha sido aceptado por los consumidores.

Tabla 3. Análisis nutricional de los distintos tratamientos

Tratamiento	g sacarosa	g Sucrodex®	Valor calórico (kcal)	Reducción valor calórico (%)
Sacarosa	55	0	220	0
100%Sucrodex®	0	55	154	30
50%Sucrodex®	27,5	27,5	187	15
25%Sucrodex®	41,25	13,75	203,5	7,5

4 Conclusiones

Es posible elaborar cerezas sustituyendo total o parcialmente la cantidad de sacarosa utilizada en el jarabe de inmersión Sucrodex®.

Se pudo elaborar un producto con menor valor calórico y que ha sido aceptado por parte de los consumidores. El Tratamiento 4 cumple con el atributo "reducido en valor calórico" según el CAA. [9]

Se observa que el T2 o tratamiento compuesto por 75 partes de sacarosa y 25 partes de Sucrodex® fue con el que se obtuvo el producto de menor humedad final (52%). La más baja actividad de agua se logró en el tratamiento T1 o con 100% de sacarosa (0,89), indicando que el producto final es el más estable microbiológicamente. La sustitución de la sacarosa con 25, 50 ó 100 partes de Sucrodex® no produjo mayor reducción de la actividad de agua debido al tipo de molécula, puesto que el Sucrodex® tiene menor retención de agua que las moléculas de sacarosa por ser un compuesto menos higroscópico que la sacarosa. La textura no fue un parámetro diferenciador entre los tratamientos. La evolución de la densidad y pH no se ve afectada por el reemplazo total o parcial de la sacarosa con Sucrodex® en la

elaboración del producto (datos no mostrados pero disponibles). En términos sensoriales, el tratamientoT2 en el que se reemplazó 50 partes de sacarosa con 50 partes de Sucrodex®, fue el más aceptado por presentar un sabor armonioso y equilibrado.

Se concluye que es posible elaborar cerezas sustituyendo total o parcialmente la cantidad de sacarosa utilizada en el jarabe de inmersión, logrando un alimento reducido en su valor calórico que puede ser una alternativa más en personas con regímenes especiales, no siendo ésta una recomendación médica, sino una alternativa tecnológica viable. La dieta influye de forma directa en la presencia de salud o enfermedades en el ser humano, por lo que se debería considerar un cambio en los hábitos alimenticios, principalmente en las dietas basadas en alimentos ricos en azúcar, y consecuentemente en grasas.

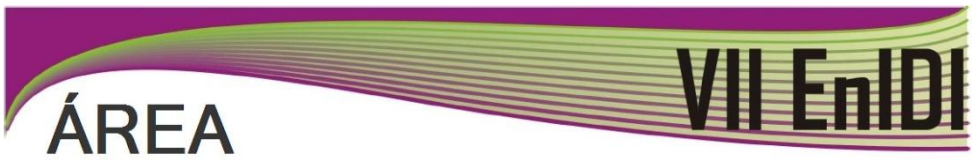
Agradecimientos

CONICET
INTA
Facultad de Don Bosco de Enología y Ciencias de la Alimentación.
Este trabajo ha sido financiado parcialmente por el Proyecto de Investigación PNFRU 53491 IINTA y forma parte de la Tesis de licenciatura de la Lic. Marcela Almanza.

Referencias

1. Bartoshuk, Linda M. Sweetness: History, preference and genetic variability. p 108-110.(1991).
2. Embedzayi Tsanzi, Cindy W Fitch, and Janet C Tou. Effect of consuming different caloric sweeteners on bone health and possible mechanisms. Nutrition Reviews® Vol. 66(6):301–309 (2008).
3. Robert H. Lustig, Laura A. Schmidt and Claire D. The toxic truth about sugar 2 february vol 482 Nature 27-294.(2012).
4. A.O.A.C. Official Methods of Analysis of the Association of Official Agricultural Chemists. 100ª Edition. (1995).
5. Anzaldúa-Morales, A. La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica. España. 198 p. (1994).
6. Ceballos Chan, G. Estudios en papaya mínimamente procesada por deshidratación osmótica. Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Tecnología de Alimentos. Valencia. España. 196 p. (2005)
7. ICMSF (International Commission on Microbiological Specifications for Foods). Ecología Microbiana de los Alimentos. Volumen I y II. Factores que afectan la supervivencia de los microorganismos en los alimentos y Productos Alimenticios. Ed Acribia. Zaragosa. España. 989 p.(1980).
8. Maldonado M. El Desamarizado de Aceitunas Verdes de Mesa Doctorado en Ciencias Biológicas, orientación Biología Celular y Molecular .Biblioteca del Programa de Posgrado en Biología. (Probiol). Universidad Nacional de Cuyo (2004)

9. CHRISTIAN, J.H.B. Ecología microbiana de los alimentos. España (2006).
10. CAA Argentina, ANMAT, CAA, Cap. 5. *Alimentos azucarados*. http://www.anmat.gov.ar/alimentos/normativas_alimentos_caa.asp (2010).



QUÍMICA
Y
BIOTECNOLOGÍA

RESÚMENES

Especies Microbianas Asociadas a Uvas para Vinificación de la DOC San Rafael y sus Potenciales Aplicaciones Tecnológicas

Luciana Paola Prendes[a,b], María Gabriela Merín[a,b], María Carolina Martín[a,b], Raúl Orlando Carrión[a], María Silvina Cabeza[a,b], Vilma Inés Morata de Ambrosini[a,b],

[a] Laboratorio de Biotecnología, Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria, Bernardo de Irigoyen 375, 5600 San Rafael, Mendoza, Argentina.
[b] CONICET.
lpprendes@fcai.uncu.edu.ar, mgmerin@fcai.uncu.edu.ar, mcmartin@fcai.uncu.edu.ar, rcarrion@fcai.uncu.edu.ar, mscabeza@fcai.uncu.edu.ar, vmorata@fcai.uncu.edu.ar,

Resumen. La superficie de la uva es una fuente natural de especies microbianas que pueden influir positiva o negativamente en la producción y la calidad de los vinos. El objetivo de nuestro grupo de investigación es estudiar la microbiota representativa de uvas para vinificar y evaluar potenciales aplicaciones biotecnológicas que contribuyan con la industria regional vitícola y enológica. Dentro de este objetivo general se ha logrado: a) Seleccionar cepas de levaduras autóctonas (*Saccharomyces* y no-*Saccharomyces*) para usar como *starters* de fermentación capaces de desarrollar rasgos de tipicidad de los vinos regionales. b) Seleccionar especies bacterianas y de levaduras productoras de metabolitos que mejoran la calidad del vino. Entre ellas, cepas pertenecientes al género *Bacillus* secretaron enzimas pectinolíticas capaces de mejorar la extracción de color en vinos tintos elaborados a bajas temperaturas. Además, diversas especies de levaduras como *Aureobasidium pullulans*, produjeron pectinasas estables y activas bajo condiciones de vinificación, que lograron mejorar el color y la clarificación de vinos. c) Por otro lado, se conoce que hongos filamentosos pueden alterar la calidad de la uva, reducir el rendimiento del mosto y generar metabolitos tóxicos. Se aislaron mayoritariamente cepas del género *Alternaria*, capaces de producir micotoxinas que podrían transferirse al vino. En paralelo, se aislaron e identificaron levaduras que están siendo evaluadas como biocontroladoras sobre estos hongos.

Palabras Clave: uva de DOC San Rafael, levaduras, bacterias, hongos, vinificación, enzimas pectinolíticas, biocontrol.

Sistema Percolante de Mezclas Gaseosas Binarias Adsorbidas

Guillermo Daniel García[a], Fabricio Orlando Sanchez Varretti[a], Paulo Centres[b], Antonio José Ramirez Pastor[b].

[a] Grupo de Físico Química de Sistemas Complejos (GFQSC), Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Rafael.
Gral. J. J. de Urquiza 340M5602GCH.
ggarcia@frsr.utn.edu.ar, fsanchez@frsr.utn.edu.ar
[b] INFAP, CONICET, Universidad Nacional de San Luis- Ejercito de Los Andes 950 - D5700HHW - San Luis - Argentina.
pcentres@gmail.com, antorami@unsl.edu.ar,

Resumen. El fenómeno de adsorción involucrado en la separación de mezclas gaseosas no es comprendido completamente todavía a pesar del uso intensivo de esta tecnología en las últimas décadas. Diferentes enfoques experimentales y teóricos han sido empleados para determinar el comportamiento de las mezclas gaseosas en contacto con la fase adsorbida y el adsorbato. En el presente trabajo se ha estudiado la percolación de la fase adsorbida de una mezcla binaria de gases. Un análisis del comportamiento de las moléculas de gas bajo la influencia de un adsorbente requiere del conocimiento de las fuerzas de interacción molecular. El proceso de adsorción en la monocapa adsorbida es modelado mediante simulación de Monte Carlo siguiendo el protocolo estándar de Metropolis bajo el modelo de gas de red. Se analiza como varía el umbral de percolación como función de las fuerzas inter-partículas. Las fuerzas consideradas son de repulsión a primeros vecinos. Diversos comportamientos se han obtenido para distintos valores de interacciones laterales permitiendo caracterizar los estados críticos del sistema en la región de parámetros estudiada.

Palabras Clave: Monómeros, Percolación, Simulación, Monte Carlo.

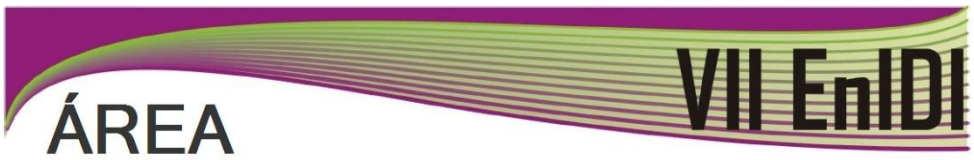
Percolación Irreversible de k-meros en una Topografía Cúbica Simple

Guillermo Daniel García[a], Fabricio Orlando Sanchez Varretti[a], Paulo Centres[b], Antonio José Ramirez Pastor[b].

[a] Grupo de Físico Química de Sistemas Complejos (GFQSC), Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Rafael.
Gral. J. J. de Urquiza 340M5602GCH.
ggarcia@frsr.utn.edu.ar, fsanchez@frsr.utn.edu.ar
[b] INFAP, CONICET, Universidad Nacional de San Luis- Ejercito de Los Andes 950 - D5700HHW - San Luis - Argentina.
pcentres@gmail.com, antorami@unsl.edu.ar,

Resumen. El estudio de los sistemas percolantes posee múltiples aplicaciones en los más diversos ámbitos del conocimiento: modelos financieros de mercado, economía, marketing, a la propagación de opiniones, rumores. Además de poseer innumerables aplicaciones a la física, biología, etc. En el presente trabajo, se determina el umbral de percolación de especies lineales (k-meros) cuando son depositadas de forma irreversible sobre una red cúbica simple (tridimensional). Esta determinación se realiza como función del número de sitios de la red ocupados por la especie depositada. Este sistema es la generalización a un sustrato tridimensional de la adsorción superficial de polímeros sobre una red cristalina. El estudio del umbral de percolación se llevó a cabo mediante un análisis numérico de tamaño finito y extrapolando a sistemas macroscópicos, todo esto se realizó mediante simulación de Monte Carlo. El trabajo realizado cubre un amplio rango de sistemas con características similares y sirve como base para posteriores precisiones sobre el sistema estudiado.

Palabras Clave: Umbral de Percolación, Simulación de Monte Carlo, Red Cubica.



TIC’s
Y
ELECTRÓNICA

TRABAJOS COMPLETOS

Optimización de redes neuronales artificiales utilizando algoritmos genéticos para la clasificación en imágenes satelitales

Esteban Blas Berna Peña[1], Lucas Luciano Berná Peña[2], Leonardo Nahuel Cano[1], Rodrigo Luis Zamorano Paladini[1], Saturnino Leguizamón[3]

[1]Ingenieros electrónicos egresados de la Facultad Regional Mendoza de la Universidad Tecnologica Nacional. Integrantes del grupo de investigación "Procesamiento Digital de Imágenes (PRODIMA)."
estebanberna@gmail.com, nahuelcano@hotmail.com, rodlz@hotmail.com,

[2]Estudiante de la Facultad Regional Mendoza de la Universidad Tecnologica Nacional. Integrante del grupo de investigación "Procesamiento Digital de Imágenes (PRODIMA) "
lucas.berna@gmail.com

[3]Profesor de la Universidad Tecnologica Nacional. Director del grupo de investigación "Procesamiento Digital de Imágenes (PRODIMA) "
saturnino.leguizamon@speedy.com.ar

Resumen. Los satélites de recursos naturales proveen una valiosa información en aplicaciones científicas vinculadas al medio ambiente y en la toma de decisiones vinculadas a usos del suelo. En el campo de la teledetección existen métodos tradicionales de clasificación no supervisada y supervisada, siendo estos últimos de mayor difusión y uso. Debido al éxito que tienen en el reconocimiento de patrones y otras áreas de la inteligencia artificial, se propone el uso de las redes neuronales artificiales para la clasificación de imágenes satelitales. La utilización de RNA entrenadas con el método *backpropagation* como entrenamiento, presenta ventajas frente a otras técnicas de clasificación tradicionales. Este trabajo tiene como objetivo realizar la comparación del desempeño del *backpropagation* frente a otra alternativa más amplia como los algoritmos genéticos. Para lograr la comparación, se ha planteado como objetivo el análisis de una imagen del satélite LANDSAT 7 que cubre la ciudad de Mendoza (Argentina) y sus alrededores.

Como resultado se observó que la clasificación obtenida con RNA entrenadas con AG es muy similar a la lograda con el método *backpropagation*. Se observó una ventaja de los AG ya que estos siempre son capaces de encontrar una solución con bajo error. Mientras que el *backpropagation* es muy susceptible de estancarse en un mínimo local lejos del resultado óptimo.

Palabra clave: redes neuronales, *backpropagation*, algoritmos genéticos, imágenes satelitales, teledetección.

1 Introducción.

1.1 Problema a resolver.

Las redes neuronales son un paradigma de aprendizaje y procesamiento automático muy utilizado en la actualidad como técnica de clasificación supervisada. El problema fundamental de esta técnica es el entrenamiento de las mismas ya que mediante un correcto entrenamiento es como adecuamos el funcionamiento de las RNA a un problema determinado. El campo particular sobre el que se realiza el análisis de este estudio es para el problema de la clasificación de las imágenes multiespectrales obtenidas en plataformas espaciales. En este trabajo se intenta abordar este problema utilizando algoritmos genéticos como método de entrenamiento[1] y evaluar ventajas y desventajas con respecto a uno de los métodos de entrenamiento más difundidos, llamado *backpropagation*, con el cual se obtienen buenos resultados pero adolece de ciertos inconvenientes que en ocasiones evitan encontrar resultados próximos del óptimo deseado.

1.2 Redes neuronales.

Una neurona artificial es un objeto lógico que recibe diversas entradas, hace una suma ponderada de las mismas y produce una salida a partir de la aplicación de una función umbral a la media ponderada [6]. Es decir, cada neurona está compuesta por dos unidades: la primera de ellas multiplica cada entrada (x) por determinados pesos (w) y luego realiza la suma. Luego este resultado pasa a la segunda unidad, llamada función de activación de la neurona (función umbral f(e)) obteniéndose la salida (y)

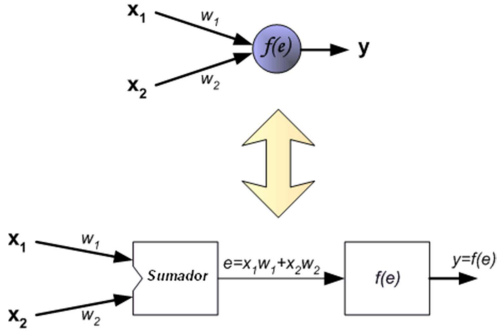


Fig. 1: Diagrama en bloques de un nodo de una red neuronal.

Si conectamos las salidas de unas neuronas como entradas de otras obtenemos una red neuronal. Existen diversas configuraciones para tales redes, destacándose las capas de

entrada, escondida (puede haber una o más de una) y la capa de salida. Cada capa puede poseer distinta cantidad de nodos según los requerimientos de la clasificación en particular.

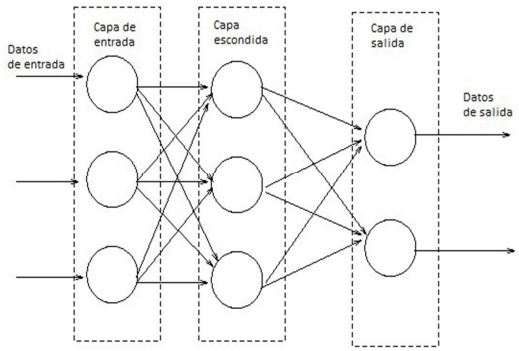


Fig. 2: Red Neuronal de tres capas. Una capa de entrada, una capa escondida y una capa de salida.

Para el entrenamiento de estas redes existen diversos algoritmos. El método anteriormente utilizado [2] es la técnica denominada *backpropagation*. El propósito de este trabajo es la utilización de los Algoritmos Genéticos como método de entrenamiento. [9][10][11]

1.3 Algoritmos genéticos.

Los algoritmos genéticos (AG), fueron propuestos en 1975 por John Holland, de la Universidad de Michigan. Los AG son algoritmos de búsqueda y optimización, es decir, tratan de encontrar la mejor solución a un problema dado entre un conjunto de soluciones posibles. Los mecanismos de los que se valen los AG para llevar a cabo esa búsqueda pueden verse como una metáfora de los procesos de evolución biológica.

Los AG están basados en el proceso genético de los organismos vivos. A lo largo de las generaciones, las poblaciones evolucionan en la naturaleza acorde con los principios de la selección natural y la supervivencia de los más fuertes, postulados por Darwin (1859). Por imitación de este proceso, los AG son capaces de ir creando soluciones para problemas del mundo real. La evolución de dichas soluciones hacia valores óptimos del problema depende en buena medida de una adecuada codificación de las mismas.

En la naturaleza los individuos de una población compiten entre sí en la búsqueda de recursos tales como comida, agua y refugio. Incluso los miembros de una misma especie compiten a menudo en la búsqueda de un compañero. Aquellos individuos que tienen más éxito en sobrevivir y en atraer compañeros tienen mayor probabilidad de generar un gran número de descendientes. Por el contrario individuos poco dotados producirán un menor número de descendientes. Esto significa que los genes de los individuos mejor adaptados

se propagaran en sucesivas generaciones hacia un número de individuos creciente. La combinación de buenas características provenientes de diferentes ancestros, puede a veces producir descendientes "superindividuos", cuya adaptación es mucho mayor que la de cualquiera de sus ancestros. De esta manera, las especies evolucionan logrando unas características cada vez mejor adaptadas al entorno en el que viven.

El poder de los AG proviene del hecho de que se trata de una técnica robusta, y pueden tratar con éxito una gran variedad de problemas provenientes de diferentes áreas, incluyendo aquellos en los que otros métodos encuentran dificultades. Si bien no se garantiza que el AG encuentre la solución óptima del problema, existe evidencia empírica de que se encuentran soluciones de un nivel aceptable, en un tiempo competitivo con el resto de algoritmos de optimización combinatoria.

En el caso de que existan técnicas especializadas para resolver un determinado problema, lo más probable es que superen al AG, tanto en rapidez como en eficacia. El gran campo de aplicación de los AG se relaciona con aquellos problemas para los cuales no existen técnicas especializadas. Incluso en el caso en que dichas técnicas existan, y funcionen bien, pueden efectuarse mejoras de las mismas hibridándolas con los AG [3].

Un esquema del funcionamiento general de un algoritmo genético podría ser el siguiente:

- Generar una población inicial.
- Iterar hasta un criterio de parada.
- Evaluar cada individuo según una función de *fitness* definida para el problema específico.
- Seleccionar los progenitores.
- Aplicar el operador de cruce y mutación a estos progenitores.
- Incluir la nueva descendencia para formar una nueva generación.

Pueden aplicarse técnicas de procesamiento paralelo para aumentar la velocidad de procesamiento y la calidad de las búsquedas genéticas. Principalmente es utilizado para afrontar la baja velocidad de convergencia para problemas de una gran dimensionalidad que requieran grandes cantidades de poblaciones así como para aprovechar la capacidad de los sistemas informáticos modernos [12].

Los AG, como ya se ha mencionado, son aplicables a una gran cantidad de problemas de optimización y búsqueda, como pueden ser maximización/minimización de funciones, detección de bordes en imágenes, entrenamiento de redes neuronales, etc.

Para el entrenamiento de las redes neuronales mediante algoritmos genéticos se tienen en cuenta los siguientes parámetros.

Codificación. Cada individuo de la población se definió como una cadena binaria cuya longitud depende de la cantidad de pesos totales de la red, es decir, de su topología. Cada peso de la red estará formado por un número determinado de bits consecutivos y la totalidad de estos ordenados de manera consecutiva formarán el individuo completo. Así, los genes de cada individuo coinciden con cada uno de los pesos de la red.

Evaluación. La función de evaluación que se utilizó en este método está dada por el promedio del error cuadrático medio de cada salida de la red neuronal, que en este caso representan cada una de las clases.

$$e^k = \frac{\sum_{i=1}^{p} \sqrt{(t_i^k - o_i^k)^2}}{p} \quad (1)$$

$$e_t = \frac{\sum_{k=1}^{N} e^k}{N} \quad (2)$$

$k = Clase$
$e^k = error\ de\ la\ clase\ k$
$p = número\ de\ píxeles\ de\ entrenamiento$
$N = número\ de\ clases$
$e_t = error\ de\ individuo\ evaluado$

Operador de Selección. Se propusieron para el estudio tres variantes del operador de selección. A continuación detallamos cada uno de ellos.

Selección por mayor aptitud. En este operador de selección se eligen los dos individuos con mejor función de fitness, es decir aquellos que posean un menor error, para cruzarlos entre sí. De la misma manera se eligen para cruzar los dos siguientes individuos con menor error (el tercero y el cuarto) y así sucesivamente hasta seleccionar todos los individuos de la población.

Selección por aptitud opuesta. Este operador es similar al anterior, con la diferencia que seleccionamos para cruzar el individuo que posee menor error con el que posee mayor error y continuamos con el segundo de menor error y el segundo de mayor error hasta seleccionar todos los individuos de la población.

Éste método, a diferencia del anterior obtenemos más variedad genética ya que hay más posibilidad de cruzar genes muy distintos entre sí pero corremos el riesgo de perder individuos con gran aptitud.

Ruleta. En este operador, se le asigna una probabilidad descendente de ser seleccionado a cada individuo según su aptitud (a menor fitness, menor probabilidad) de tal forma que la suma de todas las probabilidades sea la unidad. Asignamos a cada individuo una porción de lo que denominamos ruleta (es decir, un valor entre 0 y 1).

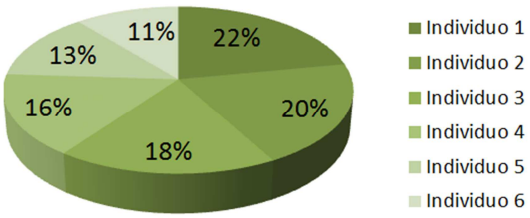


Fig. 3: Probabilidad de selección de individuo utilizando operador Ruleta.

Para seleccionar los individuos a cruzar, basta con generar un valor aleatorio entre 0 y 1 y devolver al individuo situado en la posición de la ruleta. Repetimos este proceso hasta obtener el número de descendientes que deseemos obtener.

En adición a estos tres operadores, nos encontramos también con dos criterios distintos de selección.

Selección elitista o no elitista. En el criterio de selección elitista, nos aseguramos de no perder los individuos con mejor aptitud de la generación anterior. Esto lo logramos aplicando la evaluación y la selección a una población compuesta entre la población de la generación anterior y la generación actual y descartando luego de la selección la mitad de los individuos con mayor error.

Un criterio no elitista sería aquel en el cual no tenemos en cuenta los individuos de la generación anterior a la hora de la evaluación y selección.

Cruzamiento. El operador de cruzamiento utilizado es el denominado cruce anular. Una vez seleccionados dos individuos, estos deben ser sometidos al procedimiento de cruce donde se genera un intercambio de información. En el cruce utilizado, se considera la trama del individuo como un anillo como se observa en la figura.

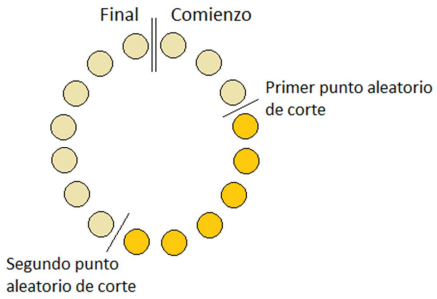


Fig. 4: Cruzamiento anular.

En este cruce se definen dos puntos de corte, que pueden existir solamente entre pesos de la cadena (ya que se tomó como gen cada peso de la red neuronal) y se intercambia la información de los individuos seleccionados entre dichos puntos.

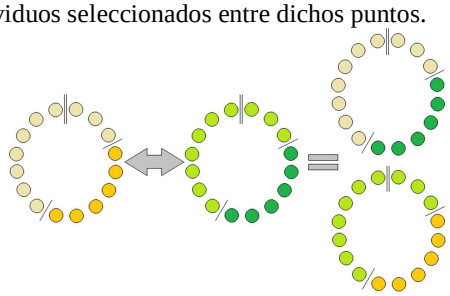


Fig. 5: Generación de dos nuevos individuos utilizando cruzamiento anular.

Mutación. La mutación es necesaria para encontrar nuevos genes en una población cuando se ha llegado a un cierto valor de error el cual se hace difícil reducir cruzando los genes existentes. Es decir que generamos nueva información que puede ser la respuesta a un nuevo camino de optimización del problema.

En el operador de mutación utilizado, se aplica a los individuos una variación aleatoria de alguno de los genes (pesos) con una cierta probabilidad. Así, cuando se produce una mutación se elige un peso del individuo de manera azarosa y se lo reemplaza por un valor totalmente aleatorio.

La probabilidad de mutación es uno de los parámetros a ajustar dentro de los algoritmos genéticos. Teniendo en cuenta esto aparecen dos tipos de mutación que hemos utilizado en este estudio.

Mutación uniforme. La probabilidad de mutación se mantiene constante a lo largo del proceso y hasta el final del mismo.

Mutación adaptativa. La probabilidad de mutación puede aumentar o disminuir dependiendo la variación del error entre una generación y otra.

1.4 Clasificación supervisada de imágenes satelitales utilizando redes neuronales entrenada con algoritmos genéticos.

Utilizando los datos de entrenamiento y verificación del trabajo anterior [2] se realizó el entrenamiento de redes neuronales utilizando los algoritmos genéticos como método de

optimización. Para una adecuada comparación se utilizaron las mismas topologías de redes neuronales así como las mediciones de error sobre los resultados.

1.5 Antecedentes.

Resultados del entrenamiento mediante *backpropagation*. [2]

Las redes neuronales entrenadas mediante el algoritmo *backpropagation* presentan en todos los casos un gran desempeño (exactitud global: 0,947, coeficiente kappa: 0.939). Es aún más notoria la calidad de la clasificación al extender la misma al resto de los datos.

Se presentan algunas limitaciones particulares del algoritmo, las cuales pueden ser:

- La convergencia puede ser lenta
- La convergencia no está garantizada
- El resultado puede muchas veces converger a algún mínimo local en la superficie de error. Esto se debe a que existen valores aleatorios descendientes del gradiente en superficies no lineales.
- Es difícil encontrar el mejor conjunto de pesos sinápticos para la red de manera que la eficiencia sea máxima. Esto se debe a lo mencionado anteriormente acerca de los mínimos locales. El mejor conjunto de pesos es aquel que hace que la función alcance un mínimo global.[14]

2 Ensayos realizados.

Se seleccionó una imagen del área de la ciudad de Mendoza de 60 km por 60 km (2000px por 2000px) registrada el 17 de Marzo de 2003 sobre la cual se realizaron los estudios pertinentes. (fig. 6)

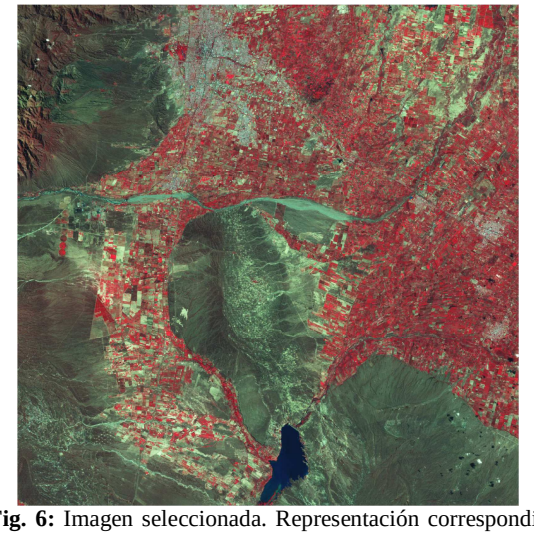


Fig. 6: Imagen seleccionada. Representación correspondiente a las bandas 4, 3 y 2 del satélite LANDSAT7

Para realizar dichos estudios se seleccionaron 7 clases diferentes.

Ciudad
Cultivo A
Cultivo B
Suelo Desnudo 1 (piedemonte)
Suelo Desnudo 2 (suelo de cultivo)
Suelo Desnudo 3 (lecho de río)
Agua

Se obtuvieron de cada clase 200 pixeles de referencia. Estos se separaron en dos grupos: entrenamiento y verificación. El primero fue utilizado para obtener el error de las redes neuronal en cada generación. El error es la magnitud a minimizar y es el utilizado como criterio de selección de los AG. El segundo grupo, denominado de verificación, es el que se utiliza para la medición del desempeño final de la red neuronal ya entrenada.

Finalmente los resultados son evaluados utilizando tres métodos: matriz de confusión, eficiencia global y coeficiente Kappa [2].

Se realizaron múltiples entrenamientos y verificaciones teniendo en cuenta las distintas variantes previamente explicadas (diferentes criterios de selección, diferentes índices de mutación y diferentes cantidades de población).

3 Resultados.

A continuación detallamos tres de los entrenamientos realizadas a una red neuronal de topología 6-6-7 las cuales fueron correctamente entrenadas. El coeficiente de exactitud y el coeficiente kappa se calculan como se indica en [2]. Se utilizaron los siguientes parámetros de AG.

Selección: Aptitud opuesta (Elitista)
Mutación: 4% (Uniforme)
Criterio de parada: 400 generaciones.

3.1 Primer entrenamiento - 20.000 Individuos

		Datos de Referencia							
		Agua	*Sue 3*	*Sue 2*	*Sue 1*	*Cult B*	*Cult A*	*Ciudad*	***Totales***
Datos Clasificados	*Agua*	***105***	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	*105*
	Sue 3	*0*	***42***	*0*	*0*	*0*	*0*	*2*	*107*
	Sue 2	*0*	*0*	***98***	*0*	*0*	*0*	*16*	*98*
	Sue 1	*0*	*0*	*0*	***104***	*0*	*0*	*0*	*104*
	Cult B	*0*	*0*	*0*	*0*	***101***	*0*	*0*	*101*
	Cult A	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	***90***	*3*	*90*
	Ciudad	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	***0***	*95*
	No clasif.	***0***	***65***	***0***	***0***	***0***	***0***	***74***	*139*
	Totales	*105*	*107*	*98*	*104*	*101*	*90*	*95*	*139*

Exactitud = 0.77143
Kappa = 0.74176

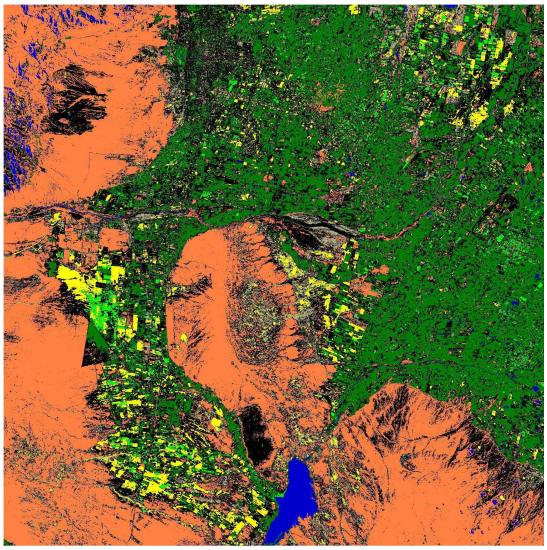


Fig. 7: Imagen clasificada. Primer Entrenamiento.

3.2 Segundo entrenamiento - 25.000 Individuos

		Datos de Referencia							
		Agua	*Sue 3*	*Sue 2*	*Sue 1*	*Cult B*	*Cult A*	*Ciudad*	***Totales***
Datos Clasificados	*Agua*	***105***	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	*105*
	Sue 3	*0*	***40***	*0*	*0*	*0*	*0*	*5*	*45*
	Sue 2	*0*	*0*	***98***	*0*	*0*	*0*	*1*	*99*
	Sue 1	*0*	*0*	*0*	***94***	*0*	*0*	*1*	*95*
	Cult B	*0*	*0*	*0*	*0*	***100***	*0*	*0*	*100*
	Cult A	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	***85***	*0*	*85*
	Ciudad	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	***48***	*48*
	No clasif.	***0***	***67***	***0***	***10***	***1***	***5***	***40***	*123*
	Totales	*105*	*107*	*98*	*104*	*101*	*90*	*95*	*700*

Exactitud = 0.82857
Kappa = 0.80495

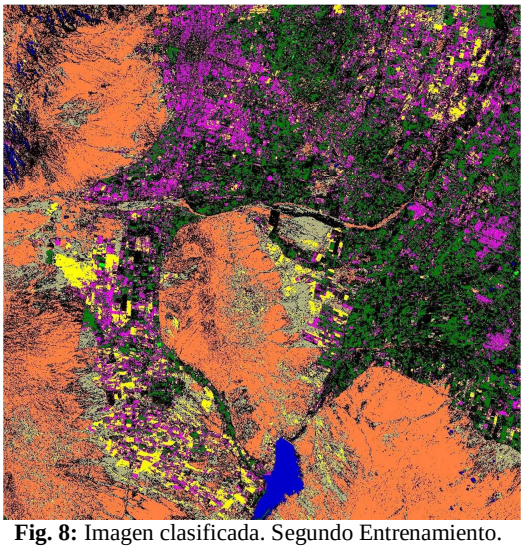


Fig. 8: Imagen clasificada. Segundo Entrenamiento.

3.3 Tercer entrenamiento – 50.000 Individuos

		Datos de Referencia							
		Agua	*Sue 3*	*Sue 2*	*Sue 1*	*Cult B*	*Cult A*	*Ciudad*	***Totales***
Datos Clasificados	*Agua*	***105***	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	*105*
	Sue 3	*0*	***0***	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*
	Sue 2	*0*	*0*	***98***	*0*	*0*	*0*	*0*	*98*
	Sue 1	*0*	*1*	*0*	***104***	*0*	*0*	*0*	*105*
	Cult B	*0*	*0*	*0*	*0*	***101***	*0*	*0*	*101*
	Cult A	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	***89***	*0*	*89*
	Ciudad	*0*	*62*	*0*	*0*	*0*	*0*	***90***	*152*
	No clasif.	***0***	***44***	***0***	***0***	***0***	***1***	***5***	*50*
	Totales	*105*	*107*	*98*	*104*	*101*	*90*	*95*	*700*

Exactitud = 0.83857
Kappa = 0.81423

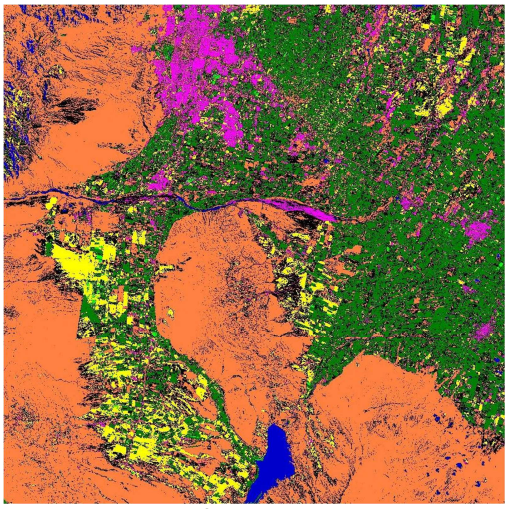


Fig. 9: Imagen clasificada. Tercer Entrenamiento.

4 Conclusiones y futuros trabajos.

Luego de realizar múltiples ensayos con distintos parámetros de los algoritmos genéticos, llegamos a algunas importantes conclusiones:

Podemos observar que el entrenamiento de redes neuronales artificiales con base en algoritmos genéticos para la clasificación de imágenes satelitales es muy efectivo observándose resultados comparables con los obtenidos en las pruebas de entrenamiento mediante el método de *backpropagation*

Otra importante conclusión a la que se ha llegado es que con poblaciones no demasiado grandes de individuos que son fácilmente procesables se obtienen buenos resultados. Si bien puede parecer que 10.000 individuos es un número elevado, en comparación a la cantidad de posibles individuos, este es un número insignificante. A partir de este número y a medida que incrementamos la cantidad de individuos se corrigen confusiones de clases existentes en ensayos con poblaciones de menor tamaño.

Por último se observa de los resultados obtenidos que siempre es posible entrenar la red neuronal con error aceptable utilizando un adecuado algoritmo genético, no así con la técnica de *backpropagation* que podía estancarse en un mínimo relativo de la función de error. La dificultad se plantea en la demora que presenta la etapa de entrenamiento con estos algoritmos que, de todas maneras, se hace fuera de línea (off-line) y no representa un inconveniente significativo.

A partir de estos resultados se puede proponer una combinación de ambos métodos (AG y *backpropagation*) en el cuál en una primera etapa del entrenamiento se utilizan los

AG para llegar rápidamente a zonas en la superficie de error cercanas a un mínimo satisfactorio para luego alcanzar dicho mínimo con el método de *backpropagation*.[15]

5 Agradecimientos.

Agradecemos a la Comisión Nacional de Actividades Espaciales - CONAE, por la provisión de la imagen Landsat 7.

6 Referencias.

[1] Montana, D. J. & Davis L. (1989). Training Feedfoward Neural Networks Using Genetic Algorithms. *Proceedings of the Eleventh International Joint Conference on Artificial Intelligence*, 762-767.

[2]Berná E., Cano N., Zamorano R. & Leguizamón S. (2011). Clasificación supervisada en imágenes satelitales mediante redes neuronales.

[3] Gil Londoño N. (2006). Algoritmos genéticos.

[4] Goldberg D. E., Lingle Jr. R. (1985). Alleles, loci and the traveling salesman problem. *Proceedings of the First International Conference on Genetic Algorithms and Their Applications*, 154-159.

[5] Davis L. (1985). Applying adaptive algorithms to epistatic domains. *Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence*, 162-164.

[6] http://galaxy.agh.edu.pl/~vlsi/AI/backp_t_en/backprop.html (marzo 2011)

[7] Booker L. B., Goldberg D. E. & Holland J. H., Classifier Systems and Genetic Algorithms.

[8] www.sc.ehu.es/ccwbayes/docencia/mmcc/docs/temageneticos.pdf (junio 2013) (Universidad del País Vasco)

[9] Kuri, Redes Neuronales y Algoritmos Genéticos.

[10] Mitchell, Introduction to genetic algorithms. (1999)

[11] Goldberg D. (1989). Genetic Algorithms. *Search, Optimization and Machine Learning. Addison Wesley*.

[12] Bertona. (2005). Entrenamiento de Redes Neuronales Basado en Algoritmos Evolutivos.

[13] Nesmachnow. Evolución en el diseño y clasificación de Algoritmos Genéticos Paralelos. *Universidad de la República, Instituto de Computación*

[14] http://perso.wanadoo.es/alimanya/backprop.htm (Marzo 2011)

[15] Liu Z., Wang C., Liu A. & Niu Z. (2004). Evolving Neural Network Using Real Coded Genetic Algorithm for Multispectral Image Classification. *The Future Generation Computer Systems.*

Detección de Fallas en Etiquetado Mediante Visión Artificial

Rodrigo Luis Zamorano Paladini[1], Leonardo Nahuel Cano[1],Esteban Blas Berna Peña[1], Lucas Luciano Berná Peña[2], Saturnino Leguizamón[3]

[1] Facultad Regional Mendoza de la Universidad Tecnologica Nacional. Integrantes del grupo de investigación "Procesamiento Digital de Imágenes (PRODIMA)."

rodlz@hotmail.com, nahuelcano@hotmail.com, estebanberna@gmail.com

[2] Facultad Regional Mendoza de la Universidad Tecnologica Nacional. Integrante del grupo de investigación "Procesamiento Digital de Imágenes (PRODIMA) "

lucas.berna@gmail.com

[3]Profesor de la Universidad Tecnologica Nacional. Director del grupo de investigación "Procesamiento Digital de Imágenes (PRODIMA) "

saturnino.leguizamon@speedy.com.ar

Resumen. La industria del vino es muy competitiva. En ella confluyen la necesidad de una alta velocidad de producción y unos elevados niveles de calidad. Para alcanzar estos objetivos, es necesario un sistema capaz de controlar diversos parámetros del envasado que transcurre a gran velocidad y es importante controlar el 100% de la producción. En la etapa de etiquetado existen gran cantidad de posibles fallas como: etiquetas incorrectas, dañadas, mal colocadas o con defectos de impresión por esto es necesario un sistema versátil capaz de detectar una amplia cantidad de defectos y envíe señales para hacer lo que se considere más conveniente sobre una línea de producción (separar o clasificar los envases, detener la producción, etc.).

Para cumplir los requerimientos anteriores se plantea un sistema de visión artificial que sea capaz de verificar diferentes requerimientos de calidad de la etiqueta. El primer paso es la captura de la imagen. Luego se analiza y se buscan características tales como: control de presencia, altura, inclinación, detección de etiquetas equivocadas, daños en la misma, entre otros. Al final, se provoca una acción física sobre la botella en caso de resultar rechazada.

La versatilidad de este sistema lo hace adaptable a gran cantidad de etiquetas y tipos de botellas, lo que permite escalar el sistema a otros tipos de control de calidad en la industria.

Palabras Clave: visión industrial, etiquetado, procesamiento digital de imágenes, control de calidad

1 Introducción

La vitivinicultura argentina ocupa un lugar de privilegio entre las zonas productoras del mundo. Una gran parte del país posee zonas apropiadas y que de hecho están dedicadas a la vitivinicultura, abarcando toda la zona templada, con altitudes entre

500m y 1500m sobre el nivel del mar. Gracias a esta amplitud norte-sur, es posible diferenciar regiones vitivinícolas, que se encuentran en zonas templadas y más áridas e incluyen las provincias de Salta, La Rioja, San Juan, Mendoza y Río negro.

Una de las provincias que alcanzó un alto grado de desarrollo del sector es Mendoza, encontrándose el centro vitivinícola más importante del país, siendo la viticultura una de las principales actividades económicas de la provincia.

Una etapa crítica en el proceso productivo y una de las que más fallas presenta es la etapa de etiquetado, que determina la forma de presentación del vino y da muestra de la calidad del producto. Para cumplir requisitos de calidad necesarios se plantea un sistema de visión artificial que sea capaz de verificar diferentes requerimientos de calidad de la etiqueta. Estos pueden ser: control de presencia, altura, inclinación, detección de etiquetas equivocadas, daños en la misma, entre otros. La versatilidad de este sistema lo hace ideal para esta aplicación que se enmarca dentro del campo del control de calidad de productos.

2 Visión artificial: importancia y usos

Los seres humanos confían fundamentalmente en el sentido de la vista. Recogemos 99% de nuestra información a través de nuestros ojos. El procesamiento de imágenes es un proceso que concierne tanto a computadoras como a algoritmos diversos para un propósito específico, una vez que hemos adquirido imágenes de interés a través de una cámara, scanner u otro tipo de sensor.

Llegado el siglo XXI, vivimos inmersos en la llamada "revolución de la información" donde las comunicaciones son clave, y se maneja gran cantidad de información de todo tipo: letras, figuras, sonidos, voces, imágenes visuales e imágenes audio-visuales. En esta era multimedia, el procesamiento de imágenes digitales es, sin lugar a dudas, la tecnología más importante que nos puede asistir en la producción, revisión y modificación de imágenes.

Desafortunadamente, la visión humana, aunque versátil, es el más complejo de nuestros sentidos debido a que la mayoría de la información de las imágenes visuales está codificada implícitamente y requiere un procesado y análisis extensivo para hacerlo explícito.

Se puede definir la "Visión Artificial" como un campo de la "Inteligencia Artificial" que, mediante la utilización de las técnicas adecuadas, permite la obtención, procesamiento y análisis de cualquier tipo de información especial obtenida a través de imágenes digitales. La visión artificial la componen un conjunto de procesos destinados a realizar el análisis de imágenes. Estos procesos son: captación de imágenes, memorización de la información, procesado e interpretación de los resultados.

3 Solución propuesta

3.1 Esquema general

El sistema se puede dividir principalmente en dos grandes partes las cuales se desarrollaron independientemente una vez que se definió la interfaz entre ellas.

La primera parte incluye todos los aspectos relacionados a la adquisición de la imagen. Esta es subdividida en diferentes problemas a resolver como son: la iluminación, las cámaras necesarias, la óptica y finalmente la digitalización y conexión con la computadora encargada del procesamiento. La segunda parte es la encargada de la interpretación y también es subdividida en secciones: preprocesamiento, detección de bordes, análisis de formas y finalmente interpretación de la imagen.

Un sistema de visión artificial se compone básicamente de los siguientes elementos [2]:

- Fuente de luz: es un aspecto de vital importancia ya que debe proporcionar unas condiciones de iluminación uniformes e independientes del entorno, facilitando además, si es posible, la extracción de los rasgos de interés para una determinada aplicación.
- Sensor de imagen (cámara y lentes): es el encargado de recoger las características del objeto bajo estudio.
- Tarjeta de captura o adquisición de imágenes: es la interfaz entre el sensor y la computadora o módulo de proceso que permite al mismo disponer de la información capturada por el sensor de imagen. Con la cámara elegida esto no fue necesario de adquirir por separado.
- Algoritmos de análisis de imagen: es la parte inteligente del sistema. Su misión consiste en aplicar las transformaciones necesarias y extracciones de información de las imágenes capturadas, con el fin de obtener los resultados para los que haya sido diseñado.
- Computadora o módulo de proceso: es el sistema que analiza las imágenes recibidas por el sensor para extraer la información de interés en cada uno de los casos implementando y ejecutando los algoritmos diseñados para la obtención de los objetivos.

Los elementos nombrados anteriormente pueden verse en la siguiente imagen:

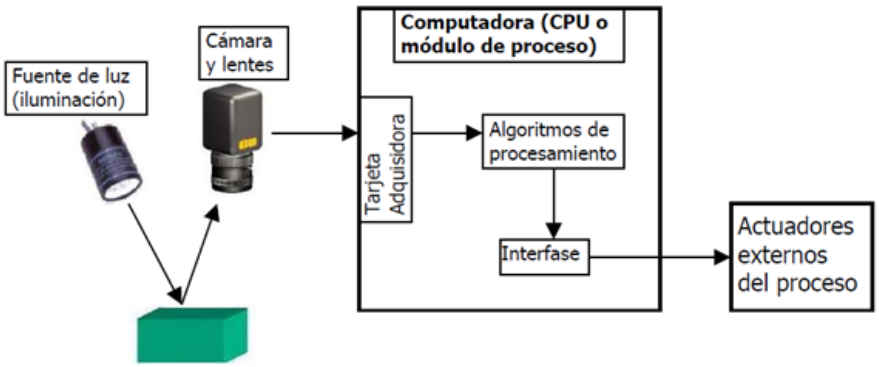


Figura 1: Elementos de un sistema de visión artificial.

Para el desarrollo del software se utilizó el entorno MATLAB, conocido por sus aplicaciones en laboratorios de asignaturas de procesado de señal e imagen [6][8]. La característica fundamental de este entorno es la facilidad que aporta su estructura matricial de datos. Todas las operaciones las realiza a partir de matrices, lo que convierte a MATLAB en una herramienta idónea para trabajar con imágenes.

3.2 Problemática

Como se mencionó anteriormente, nuestro proyecto se enfoca particularmente a la detección de errores (fallas) en el proceso de etiquetado de botellas de vino.

Los errores son de los más diversos, y pueden encontrarse tanto en la forma o posición de la etiqueta como también en la impresión de la misma. Se ha realizado un estudio en diferentes bodegas de la provincia de Mendoza con el fin de detectar los errores más comunes en este proceso. También se ha consultado con fabricantes de máquinas etiquetadoras y de envasado en general.

Se mencionan a continuación algunos de los problemas más usuales:

- Etiqueta inexistente.
- Etiqueta mal cortada.
- Etiqueta mal pegada, corrida, manchada, doblada, o con pliegues, generalmente debido al pegamento usado.
- Pegamento en otra parte de la botella (manchas).
- Tinta en otras partes de la botella (manchas).
- Si la etiqueta se barniza puede suceder que existan partes brillantes y otras partes no.
- Partes no impresas de la etiqueta.
- Superposición de la impresión de una etiqueta con otra.
- Nivel no adecuado de alguna tinta usada (sistemas CMYK), por lo tanto la imagen tiende a un color.

- Etiqueta desteñida.
- El golpe de botellas entre sí puede haber alterado la calidad de la etiqueta (roturas).

3.3 Primera parte: adquisición de la imagen

La primera etapa, dentro de un proceso de visión computacional es la etapa de adquisición. En este primer paso, se trata de conseguir que la imagen sea lo más adecuada posible para que se pueda continuar con las siguientes etapas. Una correcta adquisición de la imagen supone un paso muy importante para que el proceso de reconocimiento tenga éxito. Dentro de esta etapa existen múltiples factores que atañen directamente al proceso de captura de la imagen, formados fundamentalmente por: el sistema hardware de visión artificial (cámara, óptica, tarjeta de adquisición de imagen, computadora y software) y el entorno y posicionamiento de los elementos (la iluminación, el fondo, posición correcta de la cámara, ruido eléctrico-óptico externo, etc.). [2]

3.4 Segunda parte: procesamiento de la imagen

El sistema implementado posee dos posibles salidas y se corresponde con la aceptación o no de la botella. Para ello se tienen en cuenta varios parámetros los cuales unos tienen mayor prioridad que otros. Esta prioridad se eligió en base a dos criterios. El primero de ellos es la probabilidad de ocurrencia de la falla. El segundo criterio es más bien técnico y es debido a dos subcriterios. El primero de ellos es por la imposibilidad de realizar un cálculo antes que otro (por ej., encontrar bordes de etiqueta si antes no se encontró una etiqueta). El segundo de ellos se hace por el costo computacional que requiere (por ej., encontrar esquinas de la etiqueta es más lento que reconocer la inclinación sin antes encontrar las esquinas). Si es posible se intenta (ante una falla) salir del proceso total antes de llegar a los procesos más lentos. Por otro lado, se ha buscado seguir una lógica que los procesos siguientes utilicen los datos obtenidos anteriormente para acelerar el proceso.

El diagrama general del proceso en funcionamiento es el siguiente:

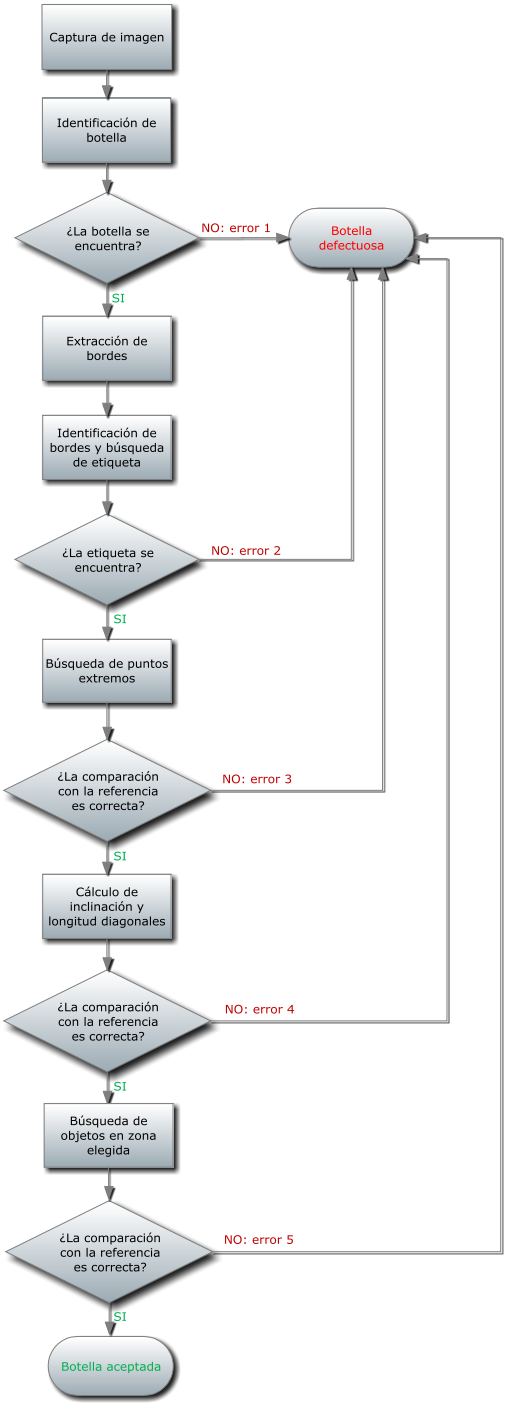


Figura 2: esquema general del proceso propuesto.

El usuario final del producto puede ir visualizando el resultado del proceso que se realiza sobre cada botella en tiempo real. Para ello se realizó una interfaz muy intuitiva que además de lo mencionado permita poner en marcha y detener el proceso. Esta pantalla también permite visualizar la imagen tomada y, en caso de falla, ver en tiempo real la causa. Por último permite ver estadísticas de las botellas examinadas anteriormente. Aquí puede verse la pantalla principal:

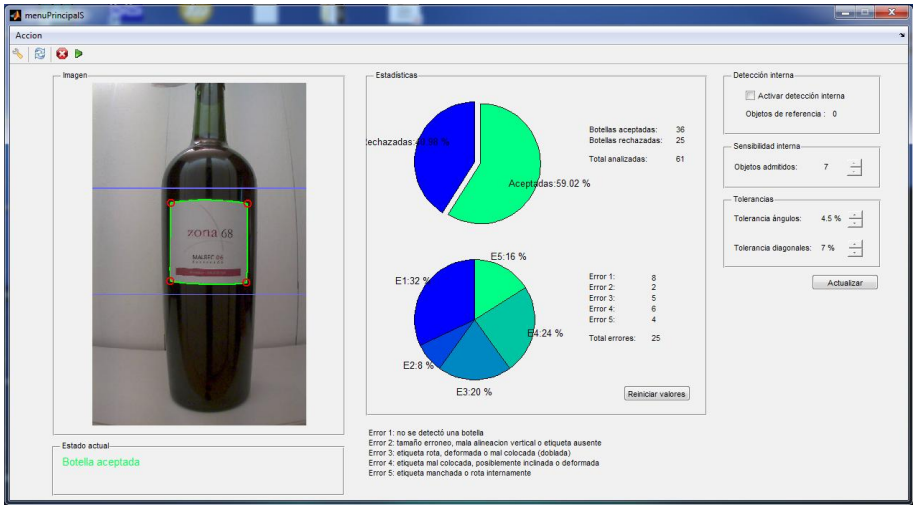


Figura 3: Software de procesamiento: pantalla principal.

Como se vio en el diagrama anterior las posibles salidas de error son cinco. Ellas se numeran para poder tener una estadística correcta, y ser de utilidad al operario o persona encargada del control de calidad. Los errores son:

- Error 1: no se detectó una botella
- Error 2: tamaño erróneo, mala alineación vertical o etiqueta ausente
- Error 3: etiqueta rota, deformada o mal colocada (doblada)
- Error 4: etiqueta mal colocada, posiblemente inclinada o deformada
- Error 5: etiqueta manchada o rota internamente

En el primer diagrama de torta pueden verse los rechazados frente a los aceptados.

En el segundo, se toman los rechazados y se verifica porcentualmente la cantidad de cada uno de los errores posibles. Desde la misma pantalla pueden configurarse ciertos parámetros que hacen a la sensibilidad con la que el sistema acepta o rechaza una botella. Por supuesto, existen otros parámetros a modificar, pero no se hace desde esta pantalla. Los que se encuentran aquí no necesitan la visualización de pasos intermedios del análisis de la imagen. Estos pueden verse en la imagen anterior del lado derecho.

3.5 Calibración y datos de entrada

Para el correcto procesamiento de la imagen es necesario que el usuario pueda efectuar ajustes determinados para cada tipo de etiqueta que pueda ingresar al sistema.

Por otro lado esto también permite elegir la severidad con que nuestro sistema descartará una etiqueta fallida.

Desde el menú anterior puede abrirse una ventana que permite elegir todos estos parámetros.

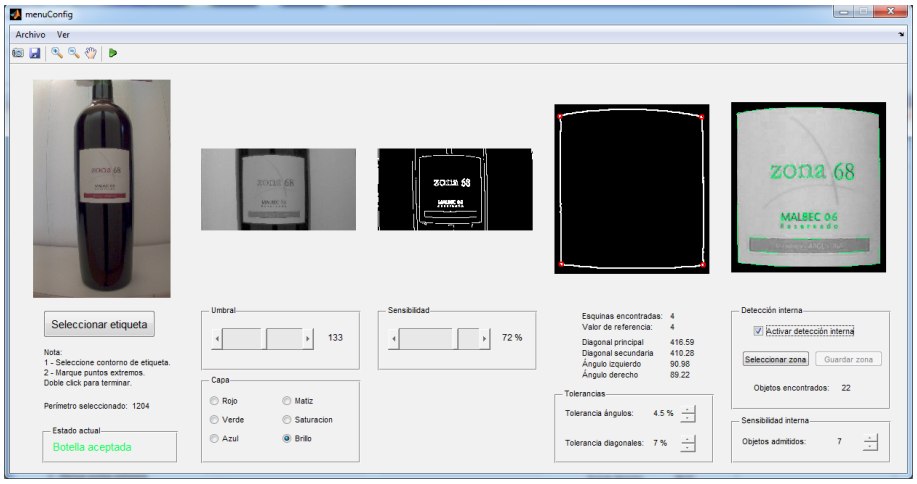


Figura 4: Software de procesamiento: pantalla de configuración

3.6 Preprocesamiento

Cuando se adquiere una imagen mediante cualquier sistema de captura, por lo general esta no es directamente utilizable por el sistema de visión. La aparición de variaciones en intensidad debidas al ruido, por deficiencias en la iluminación, o la obtención de imágenes de bajo contraste, hace necesario un preprocesamiento de la imagen con el objetivo fundamental de corregir estos problemas, además de aplicar aquellas transformaciones a la imagen que acentúen las características que se deseen extraer de las mismas, de manera que se facilite las operaciones de las etapas posteriores.

Por supuesto, como estos algoritmos necesitan gran cantidad de tiempo de procesado, es lógico que lo mejor sea utilizar un conveniente hardware que los evite. En un proceso de visión artificial estos algoritmos tienen que ser utilizados lo menos posible, un uso excesivo de ellos repercutirá en el tiempo de proceso total e indicará que la calibración, iluminación y selección de los elementos de la etapa de adquisición no ha sido la adecuada. Se debe tratar de disminuir lo más posible este preprocesamiento cambiando las condiciones físicas de la toma de la imagen.

Para solventar esto se trabajó principalmente sobre la iluminación, el fondo de la imagen y sobre la ubicación de la cámara. Por otro lado, en el software se realizan acciones en los primeros pasos que permiten reducir el tamaño general de la imagen

para llegar sólo a la etiqueta y tomar acciones únicamente sobre esta. Esto se denomina ROI (Region Of Interest): en el diagrama general visto anteriormente corresponde a la etapa marcada como "identificación de botella". La región se achica nuevamente cuando se conoce la ubicación de la etiqueta, ingresada por el usuario.

En otros pasos se realizan operaciones morfológicas [1][5][6] sobre las imágenes binarias para la disminución de ruido, por ejemplo luego del filtrado para la obtención de los bordes.

3.7 Procesamiento y tomas de decisión

En esta sección se vuelve sobre el diagrama en bloques inicial para explicar el procesamiento en cada etapa y las posibles salidas que puede tener el sistema en caso de fallas o llegar al final con una etiqueta correctamente colocada.

1. Identificación de botella: en este bloque se realiza el análisis sobre la totalidad de la imagen, teniendo dentro del mismo 3 sub-etapas:
    a. Selección de capa: se trabaja con una de las capas del modelo de color RGB o del modelo HSV para la obtención de una imagen monocromática, de 256 colores en este caso.[1][3][4]
    b. Aplicación de umbral: a partir de la imagen monocromática anterior, con este umbral la imagen se binariza. [4]
    c. Región de interés (ROI): se realiza un algoritmo que, en base al contraste con la etiqueta y fondo, recorta la imagen quedando únicamente la botella para pasos posteriores. Se recorta la imagen por arriba y abajo a partir de la ubicación de la etiqueta, para evitar procesamiento inútil sobre otras partes de la botella o fondo.

La salida de este bloque es la siguiente:

Figura 5: Selección de ROI (Región de interés).

Una salida de error de esta función debida a la no presencia de botella en la imagen tomada, bien porque no hay botella, o posiblemente por una desincronización con la línea o con los sensores de posición ubicados en ella. (Error 1 del sistema)

2. Extracción de bordes: para la extracción de bordes se utiliza un algoritmo (filtro) de Canny. Este algoritmo está considerado como uno de los mejores métodos de detección de contornos mediante el empleo de máscaras de convolución y basado en la primera derivada. Los puntos de contorno son zonas de pixels en las que existe un cambio brusco de nivel de gris. En el tratamiento de imágenes, se trabaja con pixels, y en un ambiente discreto, es así que en el algoritmo de Canny se utiliza máscaras, las cuales representan aproximaciones en diferencias finitas.[10]

A la salida de este bloque puede verse lo siguiente:

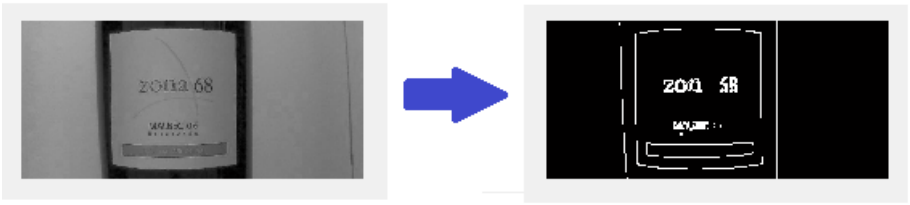


Figura 6: Extracción de bordes.

3. Identificación de bordes y búsqueda de etiqueta: en este bloque se identifican todas las líneas, que delimiten regiones cerradas o abiertas y se compara su largo con la de referencia para la etiqueta. De esta forma se sabe cuál es la etiqueta y se redefine la región de interés (ROI).

A la salida de este bloque puede verse lo siguiente:

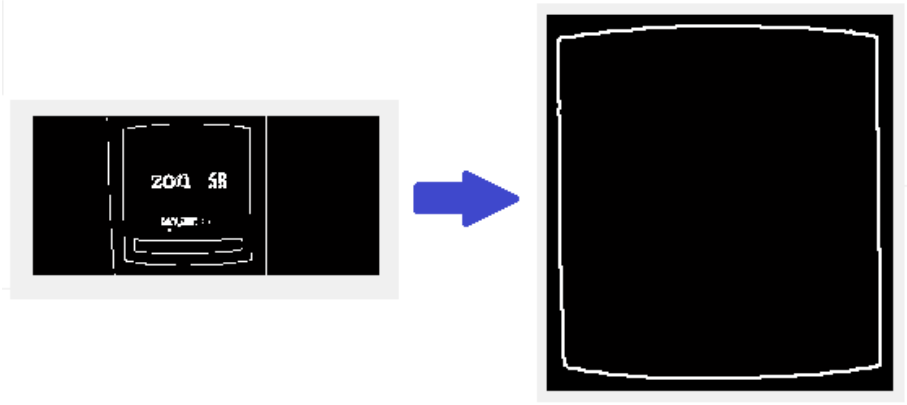


Figura 7: Identificación de etiquetas.

Si el procesamiento de esta etapa no presenta valores previsibles, existe una salida de error. Posibles problemas en esta etapa pueden deberse a que no se detecta una etiqueta válida, su tamaño es erróneo o bien la etiqueta no está presente. (Error 2 del sistema).

4. Búsqueda de puntos extremos: cabe destacar que los puntos extremos considerados en este caso, no son los más lejanos al centroide sino más bien se realiza un algoritmo que detecta la máxima curvatura en la línea que pertenece al borde de la etiqueta [9]. Esto es así, ya que los puntos más lejanos al centroide no contemplarían los defectos de la parte superior e inferior de la imagen debido a la curvatura de la botella y sólo servirían para armar un rectángulo perimetral. El hecho de recorrer el borde de la etiqueta permite detectar fallas en este. Estadísticamente hablando, el borde de la etiqueta es en donde existe una mayor probabilidad de tener un problema, debido al pegamento en estas partes.

A la salida de este bloque puede verse lo siguiente:

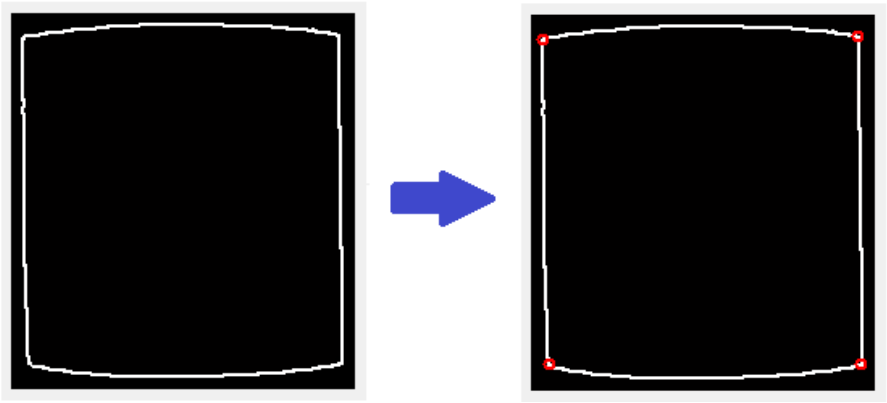


Figura 8: Detección de esquinas.

Si no se encontrara la misma cantidad de puntos extremos que los de referencia, se tendrá una etiqueta errónea. Posibles causas son etiqueta rota, deformada o mal colocada (doblada). (Error 3 del sistema).

5. Cálculo de inclinación y longitud diagonales: a partir de la ubicación de los puntos extremos obtenidos anteriormente, se obtiene la inclinación de la etiqueta y, también, se hace una segunda comprobación acerca del tamaño de la misma. Esto se hace a partir de los ángulos marcados en azul en la gráfica siguiente y midiendo las diagonales.

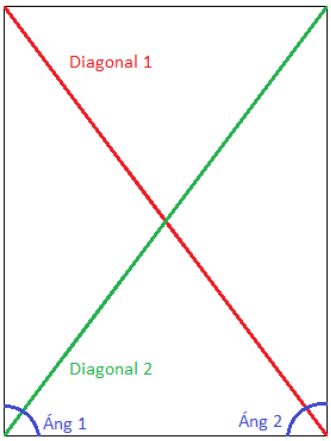


Figura 9: Diagonales y ángulos medidos.

Además de tamaño erróneo, también permite eliminar problemas de deformación o mala colocación, por ejemplo. Lógicamente, la comparación no pretende ser exacta a los valores prefijados, por ello se trabaja con las tolerancias (en valores porcentuales) definidas en la pantalla de configuración. Si los valores obtenidos no están dentro los valores configurados y sus tolerancias, se obtiene un error 4 del sistema: "etiqueta mal colocada, posiblemente inclinada o deformada"

6. Verificación de zona interna: si este parámetro está seleccionado se realiza una máscara con la salida de la etapa 2 (extracción de bordes) y se cuentan los objetos que hayan en ella, si coinciden con el valor de referencia y su tolerancia, se acepta la botella. Caso contrario dará un error 5 del sistema, que significa que hay algún problema dentro de la etiqueta en esa zona.

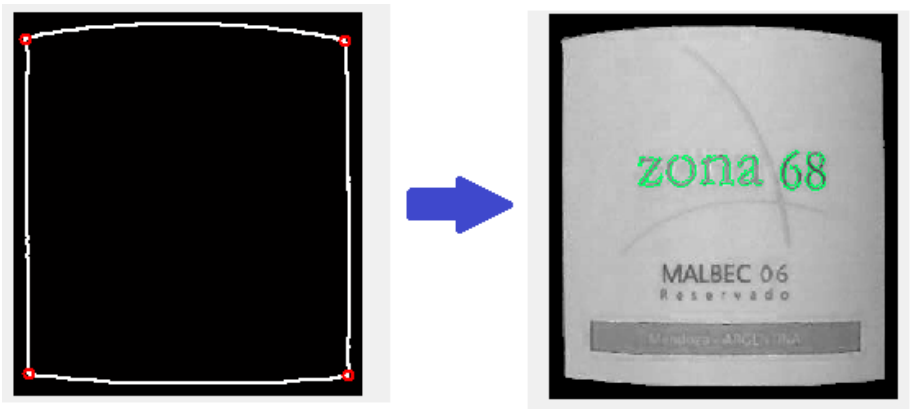


Figura 10: búsqueda de objetos en zona interna.

4 Precisión y velocidad obtenida

Para evaluar la precisión del sistema se efectuaron dos pruebas. La primera de ellas consistió en hacer pasar tres botellas en buen estado y analizar la cantidad de aceptaciones y rechazos. Este análisis se realizó en base a 120 pasadas, 40 por botellas. Se obtuvo lo siguiente:

Aceptaciones: 118
Rechazos: 2
Efectividad: 98,33%
Falsos negativos: 1,66%

En cuanto a los errores la prueba fue también en base a 120 pasadas. En este caso se eligieron 3 fallas distintas, que corresponden a los errores 2, 3 y 4. Cada botella se pasó 40 veces. Los resultados se muestran:

Error 2:
Marcados correctamente: 92,50%
Errores 2 marcados como error 3: 2 botellas
Errores 2 marcados como error 4: 1 botella
Error 3:
Marcados correctamente: 100%
Error 4:
Marcados correctamente: 100%

Es de destacar la importancia de no haber obtenido falsos positivos, ya que las etiquetas con error 2 marcadas erróneamente se marcaron también como rechazadas, pero con otro código de error. En este caso, las botellas no seguirían adelante en la línea de producción y, de una forma u otra igualmente serían rechazadas.

En cuanto a los falsos negativos obtenidos, el valor obtenido es muy bajo. De todos modos, los falsos negativos no son tan importantes como los falsos positivos, ya que siempre existe la posibilidad de ingresarlos manualmente al sistema, elegidos de una pequeña cantidad descartada.

4 Referencias

1. GONZALEZ, R., WOODS, R. (2002). “Digital Image Processing”. New Jersey, USA: Prentice Hall.
2. GONZALEZ MARCOS, A., et al. (2006), “Técnicas y algoritmos básicos de visión artificial”. España: Univ. de La Rioja, servicio de publicaciones.
3. MEJÍA VILET, R. (2004). “Apuntes de procesamiento digital de imágenes”. Mexico: Facultad de Ingeniería UNSLP.
4. BALLARD, D., BROWN, C. (1982). “Computer Vision”. New Jersey, USA: Prentice Hall.
5. SHIH, F. (2009). “Image Processing and Mathematical Morphology”. Boca Raton, FL, USA: CRC Press.

6. MCANDREW, A. (2004). "An Introduction to Digital Image Processing with Matlab". Australia: Victoria University of Technology.
7. BARRAGÁN, D. (2007). "Manual de interfaz gráfica de usuario en MATLAB". Ecuador: Univ. Técnica particular de Loja.
8. The MathWorks, Inc. (2002). "Image Processing Toolbox (for use with MATLAB) User's Guide". www.mathworks.com
9. CHEN HE, X., YUNG, N. (Mayo 2008). "Corner detector based on global and local curvature properties". Hong Kong.
10. LEGUIZAMON, S. (2012). "Curso de actualización de posgrado: análisis computacional de imágenes digitales". Mendoza, Argentina. Univ. Tecnológica Nacional.

Algoritmo para la Resolución de Problemas SAT[1]

Diego Sebastián Diamante[a], Paola Caymes Scutari[a,b], Germán Bianchini[a],

[a] Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza,
Laboratorio de Investigación de Cómputo Paralelo/Distribuido, Rodriguez 273,
M5502AJE Mendoza, Argentina
sebadiegomza@gmail.com, {pcaymesscutari,gbianchini}@frm.utn.edu.ar

[b] Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

Resumen. Un problema de satisfacción de restricciones (SAT) es el problema de determinar si una fórmula lógica puede ser asignada de forma tal que sea evaluada como verdadera. En este artículo se introduce a los problemas SAT y MAX-SAT, con algunas de sus aplicaciones, como también la clasificación de metodologías que resuelven este tipo de problemas. Se presenta un algoritmo caracterizado por clasificar las cláusulas como indispensables o adicionales, a fin de evaluar el sistema de cláusulas de forma más eficiente. Además, si el algoritmo no encuentra la solución, entrega posibles soluciones que podrán ser utilizadas por otro método para agilizar la búsqueda de la solución. Por último, se muestran resultados de la ejecución de un ejemplo de aplicación.

Palabras Clave: SAT, MAX-SAT, Heurística, Resolución de SAT, Método de búsqueda.

1 Introducción

Los problemas SAT se pueden encontrar en diversas áreas técnicas y científicas. El verdadero desafío es representar estos problemas reales (como por ejemplo cual camino es el más adecuado para ir de un cierto lugar a otro) como un conjunto de restricciones y expresarlos en forma lógica (booleana). La complejidad de los problemas depende estrictamente de la cantidad de restricciones y características a evaluar. Una vez que el problema es definido, entonces se somete al análisis para determinar si existe o no una solución para éste.

El método de resolución propuesto se encuentra en el marco de un proyecto que propone el desarrollo de un entorno para el desarrollo automático de aplicaciones paralelas que haga transparente el proceso de resolución del problema y paralelización de la solución. Para ello, el usuario debe clasificar y especificar el problema a resolver, mientras que la herramienta encapsula la resolución del problema. Dado que es prácticamente imposible ofrecer un método de optimización que paralelice cualquier tipo de problema, la herramienta propuesta se basa en la solución de clases de problemas. De esta forma, el usuario cuenta con un marco de referencia y técnica

[1] Este trabajo ha sido financiado por la UTN-FRM a través del proyecto PICT2010/12 y por la UTN a través del proyecto UTN1585.

de resolución al que sólo debe instanciar de acuerdo a las características de su problema. Uno de los objetivos del algoritmo propuesto en este trabajo es orientar la búsqueda en el entorno, en particular en el caso de los algoritmos genéticos (AGs). Las posibles soluciones aceptables que encuentre el algoritmo serán provistas como parte de la población inicial del algoritmo genético, para así reducir los tiempos de ejecución de este segundo algoritmo, y a la vez, orientar mejor su búsqueda desde las primeras iteraciones.

A continuación, en la Sección 2 se explica en qué consisten los problemas SAT. Luego, se documenta el algoritmo desarrollado en la Sección 3. Posteriormente, en la Sección 4 se describe un ejemplo de aplicación. Y finalmente, se presentan las conclusiones y las futuras líneas de investigación.

2 SAT

Un problema SAT (de satisfacción de restricciones), definido por un conjunto de variables y un conjunto de restricciones, es el problema (NP-completo) de determinar si las variables de una fórmula booleana dada puede ser asignada de forma tal que la fórmula sea evaluada como verdadera. Los problemas NP-Completos son el conjunto de problemas que pueden ser resueltos en tiempo polinómico por una máquina de Turing no determinista. Si la fórmula es evaluada como falsa para todas las posibles combinaciones de sus variables entonces el problema se denomina insatisfactible [1], [2], [3].

Una cláusula (o restricción) es una disyunción de literales o literales negados. Es decir que es suficiente con que una de las tres variables tenga el valor indicado para que la cláusula sea verdadera. A un nivel superior, se considera la conjunción de todas las cláusulas. Los literales de las cláusulas representan a las variables necesarias para conformar un individuo [1], [2].

Definición 1. Un problema de satisfacción de restricciones (CSP - Constraint Satisfaction Problem) se define por una terna (X, D, R), donde $X= \{X_1, X_2,..., X_n\}$ es un conjunto finito de variables, $D= \{D_1, D_2,..., D_n\}$ es un conjunto finito de dominios, y $R= \{R_1, R_2,..., R_n\}$ es un conjunto finito de restricciones. Cada variable X_i toma valores en su correspondiente dominio D_i. Una restricción entre un subconjunto de variables $\{X_{i1},..., X_{ik}\}$ de X es un subconjunto del producto cartesiano $\{D_{i1} \times ... \times D_{ik}\}$ que está formado por las tuplas de valores que satisfacen la restricción [1].

Los modelos basados en satisfacción toman decisiones suficientemente buenas en vez de realizar cálculos laboriosos para alcanzar decisiones óptimas. La clase más simple de problemas de satisfacción de restricciones implica variables discretas y dominios finitos. Frecuentemente se pueden resolver problemas tan grandes como la complejidad lo permita [4].

MAXSAT es la versión de optimización para el problema SAT. Los problemas de MAX-SAT son tan complejos o más complejos que los problemas de SAT. En SAT el

objetivo era obtener una decisión sobre si el problema tenía una asignación satisfecha o no. En MAX-SAT va más allá, el problema consiste en encontrar una asignación que satisfaga el número máximo de cláusulas de una fórmula lógica dada. Un algoritmo que resuelve MAXSAT trabaja con cláusulas que les proporcionan peso a los individuos y se busca una solución que maximice la suma de los pesos de las cláusulas satisfechas [5].

Las aplicaciones más interesantes desde el punto de vista práctico podrían ser el razonamiento automático (ej: aplicaciones que tomen decisiones por sí mismas, un auto que decide hacia donde doblar en base a los valores de las variables obtenidos), diseño y manufactura asistida por computadora (ej: fabricación, desarrollo y diseño de los productos en un proceso de fabricación para optimizarlo), visión computacional (ej: seguimiento de un objeto en una secuencia de imágenes), robótica (ej: operación de los robots), arquitectura y redes de computadoras (ej: diseño de un camino a través de la red para enviar un mensaje de un origen a un destino), etc. [5], [6], [7].

2.1 Clasificación de algoritmos de resolución de problemas SAT

Para la resolución de problemas orientados a la predicción o simulación de distintos fenómenos, existen algoritmos que pueden clasificarse como completos o incompletos [1].

Los algoritmos completos garantizan encontrar el modelo de la fórmula de entrada en caso de existir, garantizando soluciones óptimas. En la práctica, estos algoritmos son intratables para una fórmula suficientemente grande y presentan tiempos de ejecución exponenciales [1]. Ejemplos de este tipo de algoritmos son DPLL y tablas de verdad. El algoritmo DPLL (procedimiento Davis, Putnam, Logemann y Loveland), es un algoritmo basado en la búsqueda de vuelta atrás que, esencialmente, reduce un árbol de búsqueda utilizando heurísticas de ramificación [3]. El procedimiento de tablas de verdad consiste en listar en una tabla todas las posibles combinaciones de valores de verdad para *n* variables. El total de combinaciones posibles es 2^n. Luego se evalúa cada una de éstas para saber si se puede entregar como solución [8].

En contraposición, los algoritmos incompletos son eficientes en la práctica pero no garantizan encontrar el modelo de la fórmula de entrada en caso de existir. Un algoritmo con un buen tiempo de ejecución pero que no garantiza encontrar la solución en caso de existir se denomina heurística. La ventaja de los algoritmos incompletos es que son capaces de resolver fórmulas satisfactibles que no se pueden resolver por ninguno de los algoritmos completos existentes, pero no garantizan soluciones óptimas [1]. Algunos ejemplos de este tipo de algoritmos son GSAT, WalkSAT y algoritmos genéticos. El procedimiento GSAT es una heurística de búsqueda local que parte de una interpretación generada aleatoriamente, y la intenta mejorar incrementalmente buscando una mejor dentro de una vecindad. La vecindad la forman todas las interpretaciones que difieren de la actual en el valor que toma una variable. La variable que se cambia es una de las que da el mayor decremento posible en el número total de cláusulas no satisfechas [1], [9]. WalkSAT es una heurística de búsqueda local estocástica (proceso cuyo comportamiento es no determinista), que se basa en fijar una interpretación y evaluarla. El algoritmo, en caso de no cumplir todas

las cláusulas y restricciones, modifica alguna variable y vuelve a evaluar la combinación de valores de verdad. Este proceso continúa hasta alcanzar un cierto criterio de terminación. Este método se diferencia de GSAT porque sigue otro criterio a la hora de seleccionar la variable a la que se le cambia el valor en cada iteración. En WalkSAT, se selecciona una cláusula R que no está satisfecha por la interpretación actual y, luego, se cambia el valor de una de las variables de R para obtener una nueva interpretación [1], [9]. Los algoritmos genéticos (AGs) constituyen un método iterativo de búsqueda basado en la mecánica de la selección y la genética natural. Cada iteración puede considerarse una generación en el proceso de evolución, en donde el algoritmo cuenta con un conjunto de posibles soluciones o individuos, que establecen lo que normalmente se denomina población, que constituye una muestra del espacio de búsqueda. La población se somete a diversos operadores que abstraen de manera artificial el proceso de adaptación natural: selección, cruzamiento, mutación y reemplazo [10], [11].

3 Algoritmo Desarrollado

El algoritmo desarrollado, basado en WalkSAT, se plantea principalmente para la resolución eficiente de problemas SAT. También, se particularizó en problemas MAX-SAT mediante la inserción de pesos a las cláusulas.

El algoritmo realiza la búsqueda a partir de una cierta asignación inicial de valores a las variables involucradas. De acuerdo a la Definición 1, una asignación *a* tiene la forma $a=(x_1,x_2,\ldots,x_n)$ perteneciente a $X= \{X_1, X_2,..., X_n\}$, donde el dominio de cada componente de D es el conjunto binario de valores de verdad. Cada asignación se denomina 'individuo', considerando todo el dominio de posibles asignaciones como la población universal de individuos. Un individuo es representado por una cadena de bits (unos para representar el valor verdadero y ceros para representar el valor falso) que determinan las características del mismo. Una de las características es representada mediante una de las variables involucradas en las cláusulas.

En la figura 1 se presenta el pseudocódigo correspondiente al algoritmo propuesto.

El algoritmo requiere principalmente como entradas un conjunto R de cláusulas (`clausulas`), el número de bits del individuo o cantidad de componentes de X (`numeroBitsIndividuo`), la cantidad de iteraciones que se desean del algoritmo (`cantidadIter`), la cantidad de asignaciones que se desean probar en cada iteración (`cantidadIndividuos`), el peso aceptado del individuo para ser tomado como solución (`pesoAcept`) y el valor del peso que va a ser considerado para guardar o no los individuos analizados (`pesoAdmit`).

El algoritmo requiere que las cláusulas de R incluyan dos literales adicionales a los que conforman la cláusula en sí misma. Dada una cierta cláusula, el primer literal adicional representa si la cláusula es indispensable o no (es decir, si necesariamente debe ser verdadera para que el individuo sea tomado como solución). El segundo literal adicional representa el peso de la cláusula, que simboliza la importancia de la cláusula expresada en números. Una vez analizado el individuo, el peso total alcanzado por éste es la sumatoria de los pesos de las cláusulas que resultaron verdaderas, tanto de cláusulas indispensables como de adicionales.

```
ENTRADA: clausulas, numeroBitsIndividuo, cantidadIter,
cantidadIndividuos, pesoAcept, pesoAdmit.

clausulasIndisp:=getClausulasIndispensables(clausulas);

clausulasAdic:=getClausulasAdicionales(clausulas);

indiv:=getIndividuoInicial(numeroBitsIndividuo);

for(int x=0;x<cantidadIter;x++){
    for(int y=0;y<cantidadIndividuos;y++){

        if(evalIndividuo(clausulasIndisp,indiv)){

           if (evalIndividuo(clausulasAdic,indiv,pesoAcept)){

                return indiv;

           }else{

                if(evalIndiv(clausulasAdic,indiv,pesoAdmit)){

                  guardarIndividuo(adecuados,indiv);

                }

                guardarIndividuo(fallidos,indiv);

                do{

                  claus:=getClauInsatis(clausulasIndisp,indiv);

                  var:=getVarOptima(clausulasAdic,indiv,claus);

                  indiv:=modificarVar(var,indiv);

                }while(seEncuentra(indiv,fallidos));

           }

        }else{

           do{

             claus:=getClauAleat(clausulasIndisp);

             var:=getVarAleat(claus);

             indiv:=modificarVar(var,indiv);

           }while(seEncuentra(indiv,fallidos));

        }

    }

    do{

       indiv:=getIndivAleat(numeroBitsIndividuo);

    }while(seEncuentra(indiv,fallidos));

}
```

Fig. 1. Pseudocódigo del algoritmo propuesto.

Para agilizar el proceso de búsqueda y llegar más fácilmente a una solución aceptable, el algoritmo extrae del conjunto de cláusulas obtenido (`clausulas`), tanto las cláusulas que resultan indispensables que se evalúen con un valor verdadero (`clausulasIndisp`) como las cláusulas que agregan valor al individuo pero no necesariamente se espera que se evalúen con un valor verdadero (`clausulasAdic`). El algoritmo en una primera instancia verifica que el individuo en cuestión cumpla las cláusulas indispensables para recién luego evaluar las cláusulas adicionales. Esto permite una reducción de tiempos, ya que los individuos que no cumplan con la totalidad de las cláusulas indispensables, no son evaluados con las cláusulas adicionales. Esta metodología focaliza sólo sobre los individuos que son potenciales de ser solución y no pierde tiempo de ejecución sobre los individuos que no cumplen con los requisitos mínimos, descartando estos en la primera instancia. El algoritmo en toda su ejecución siempre prioriza la manipulación y análisis de individuos cuyas características cumplan con todas las cláusulas indispensables y en una segunda instancia que cuyo peso sea el mayor posible.

Al comenzar el algoritmo representado en el pseudocódigo se utilizan los métodos `getClausulasIndispensables`, `getClausulasAdicionales` y `getIndividuoInicial`. El primero devuelve una lista de las cláusulas calificadas como indispensables, representadas con un 0 en el primer literal adicional, entre el conjunto de cláusulas recibidas como entrada. El segundo método nombrado, devuelve una lista de las cláusulas restantes, las que no son indispensables. Y el tercer y último método, divide el total de asignaciones posibles a la mitad para entregar como resultado al individuo que se encuentra en el medio.

Al comenzar las iteraciones internas del pseudocódigo se utilizan los siguientes métodos:

El método `evalIndividuo` tiene dos implementaciones según la cantidad de argumentos que contenga. En la primera implementación se aceptan dos argumentos, se evalúa al individuo en base a las cláusulas que se entregan y si resultan verdaderas se devuelve el valor verdadero, en caso contrario devuelve falso. La segunda implementación que acepta 3 argumentos, realiza el mismo procedimiento que la implementación anterior con la diferencia que se entrega un peso, que si es alcanzado por el peso de las cláusulas que resultaron verdaderas, entonces devuelve el valor verdadero, y en otro caso devuelve falso. El método `guardarIndividuo` agrega a la lista entregada el individuo actualmente utilizado en el algoritmo para un posterior análisis de la lista o uso de esta. El método `getClauInsatis` devuelve una cláusula aleatoria, del conjunto de cláusulas insatisfechas, en base al individuo en evaluación. El método `getVarOptima`, en base a la cláusula devuelta por el método anterior, recorre los literales que representan variables y modificando en el individuo cada variable, evalúa las cláusulas entregadas. Luego recorre la lista de pesos y la variable que representa el peso que haya alcanzado el mayor valor, es la devuelta por el método. El método `modificarVar` solo modifica en el individuo, que se está trabajando, la variable entregada, cambiando el valor de uno a cero (o de cero a uno). Es decir, se reemplaza al individuo por otro para ser analizado, en caso de que el individuo anterior no haya resultado como solución. Y el método `seEncuentra` sólo realiza una búsqueda del individuo sobre la lista entregada, si lo encuentra da como resultado el valor verdadero y sino falso.

Los siguientes métodos del pseudocódigo, también se localizan en las iteraciones internas, pero son los que utilizan la aleatoriedad para su funcionamiento:

El método `getClauAleat` devuelve como resultado una cláusula elegida aleatoriamente, del conjunto de cláusulas entregadas. El método `getVarAleat` nos entrega como resultado una variable, representada por un literal, elegida aleatoriamente de la cláusula entregada por el método anterior. Y el método `getIndivAleat` genera un individuo aleatoriamente para ser analizado en una nueva iteración del algoritmo, ya que en la iteración anterior no se pudo alcanzar la solución.

El algoritmo también permite la funcionalidad de guardar en una lista (`adecuados`) los individuos que alcanzan un peso menor que el aceptable, pero lo suficientemente alto como para ser tenidos en cuenta en un segundo algoritmo, en caso que no se encuentre la solución. Ésta es una de las características más interesantes que puede brindar el algoritmo ya que, una vez filtrados los individuos aptos, en un segundo algoritmo más exhaustivo, se podría encontrar una solución más rápidamente al incluirlos en su población inicial.

Como fue mencionado anteriormente, este algoritmo está destinado a combinarse con un segundo algoritmo de búsqueda, en particular los algoritmos genéticos, que constituyen un método iterativo de búsqueda basado en la mecánica de la selección y la genética natural.

Otra característica importante del algoritmo, es que al tener una lista de individuos analizados y que han fracasado (`fallidos`), no se repiten los análisis, permite el análisis de otros individuos no analizados y evita tiempos de procesamiento innecesarios o inútiles para encontrar una solución.

Tanto los individuos admitidos como la solución se graban en sus respectivos archivos para luego poder ser tomados y procesados por programas que necesiten este tipo de resultados.

En conclusión, el algoritmo requiere ciertos datos de entrada, como un formato especifico de las cláusulas que representan a los problemas, para un correcto funcionamiento. Principalmente, se dividen las cláusulas en indispensables y adicionales para un mejor procesamiento de éstas, ya que al tenerlas separadas, se reduce el número de comprobaciones al descartar los individuos que no alcanzan las mínimas características necesarias para ser solución. Si se alcanza el número máximo de iteraciones sin encontrar una solución, se devuelve una lista de individuos cuya aptitud resulta aceptable, a fin de que sean de utilidad para orientar la búsqueda en etapas posteriores o de otros algoritmos.

4 Experimentación

Se diseñó un conjunto de experimentos que permitiera evaluar la importancia de definir conjuntos de cláusulas indispensables y/o adicionales, tanto en términos de tiempo de ejecución como de calidad de los resultados encontrados. Se realizaron 10 ejecuciones del algoritmo por cada una de las 5 pruebas planteadas. La PC que se utilizó tiene un procesador Intel Core 2 Duo T5250 1,5GHz con 2 GB de memoria RAM.

A continuación se presentarán los datos de entrada utilizados para poder ejecutar el algoritmo en cada una de las pruebas y luego, en la Tabla 2, se mostrarán los resultados obtenidos de las mismas.

Prueba 1. El número de bits de la asignación (individuo) es de 10. La cantidad de iteraciones y la cantidad de asignaciones por iteración se determinaron en 10 y 15 respectivamente, como valores experimentales iniciales, que constituyen menos del 15% de la población total de individuos posibles. Como el total de individuos posibles con 10 bits es 1024 entonces la multiplicación entre 10 y 15 nos entrega un valor por debajo del 15% del total de individuos y sólo permite como máximo 150 análisis. La idea del algoritmo no es que analice todos los individuos posibles sino que encuentre una solución en la menor cantidad de análisis. La cantidad de asignaciones por iteración es mayor a causa de que se necesita mayor cantidad de iteraciones para focalizar en una solución que para analizar los distintos sectores de la población total.

En la Tabla 1 se presentan las cláusulas que representan al problema del ejemplo, con sus respectivas identificaciones, tipos y pesos.

Tabla 1. Cláusulas del problema.

Id	**Cláusula**	**Tipo**	**Peso**
R_1	$\neg x_4 \vee \neg x_1 \vee x_5$	Adicional	1
R_2	$\neg x_1 \vee \neg x_9 \vee \neg x_{10}$	Adicional	1
R_3	$\neg x_5 \vee \neg x_3 \vee \neg x_8$	Adicional	1
R_4	$\neg x_4 \vee \neg x_8 \vee \neg x_5$	Adicional	1
R_5	$x_2 \vee x_6 \vee x_7$	Indispensable	2
R_6	$\neg x_9 \vee \neg x_1 \vee \neg x_{10}$	Adicional	1
R_7	$x_5 \vee \neg x_3 \vee \neg x_9$	Adicional	1
R_8	$x_1 \vee \neg x_3 \vee \neg x_5$	Adicional	1
R_9	$x_7 \vee x_2 \vee \neg x_4$	Adicional	1
R_{10}	$\neg x_7 \vee x_3 \vee x_4$	Adicional	1
R_{11}	$\neg x_2 \vee x_1 \vee \neg x_9$	Adicional	1
R_{12}	$\neg x_8 \vee x_1 \vee x_3$	Adicional	1
R_{13}	$x_3 \vee x_6 \vee x_7$	Indispensable	5
R_{14}	$\neg x_1 \vee \neg x_3 \vee \neg x_2$	Adicional	1
R_{15}	$x_4 \vee x_7 \vee \neg x_2$	Adicional	1
R_{16}	$\neg x_8 \vee \neg x_7 \vee \neg x_3$	Adicional	1
R_{17}	$x_4 \vee x_3 \vee x_2$	Adicional	1
R_{18}	$\neg x_5 \vee \neg x_4 \vee x_1$	Adicional	1
R_{19}	$\neg x_9 \vee x_{10} \vee \neg x_8$	Adicional	1
R_{20}	$\neg x_6 \vee x_2 \vee x_8$	Adicional	1
R_{21}	$\neg x_7 \vee \neg x_8 \vee x_5$	Adicional	1
R_{22}	$\neg x_7 \vee \neg x_5 \vee x_3$	Adicional	1
R_{23}	$x_7 \vee x_9 \vee \neg x_{10}$	Indispensable	2
R_{24}	$x_1 \vee \neg x_6 \vee \neg x_3$	Adicional	1
R_{25}	$x_1 \vee \neg x_9 \vee x_6$	Adicional	1
R_{26}	$x_{10} \vee x_9 \vee x_4$	Adicional	1
R_{27}	$\neg x_8 \vee x_3 \vee x_7$	Adicional	1
R_{28}	$x_8 \vee x_7 \vee \neg x_3$	Adicional	1
R_{29}	$\neg x_8 \vee x_4 \vee x_9$	Adicional	1
R_{30}	$x_8 \vee \neg x_5 \vee x_4$	Adicional	1
R_{31}	$x_8 \vee x_{10} \vee x_1$	Adicional	1
R_{32}	$\neg x_1 \vee \neg x_7 \vee x_8$	Adicional	1
R_{33}	$x_6 \vee x_2 \vee x_5$	Adicional	1
R_{34}	$x_6 \vee x_2 \vee x_{10}$	Adicional	1
R_{35}	$x_2 \vee \neg x_6$ **v** x_4	Adicional	1
R_{36}	$\neg x_3 \vee x_9 \vee \neg x_1$	Adicional	1
R_{37}	$x_9 \vee x_1 \vee \neg x_{10}$	Indispensable	3
R_{38}	$x_{10} \vee \neg x_5 \vee \neg x_8$	Adicional	1
R_{39}	$\neg x_{10} \vee x_6 \vee x_1$	Indispensable	3
R_{40}	$x_1 \vee x_7 \vee x_2$	Adicional	1
R_{41}	$\neg x_6 \vee x_3 \vee x_2$	Adicional	1
R_{42}	$\neg x_1 \vee \neg x_9 \vee x_8$	Adicional	1
R_{43}	$\neg x_5 \vee x_2 \vee \neg x_{10}$	Adicional	1

Las cláusulas son un total de 43, y el peso óptimo de la solución es 53 porque es la sumatoria de los pesos del total de cláusulas. Ya que no todas las cláusulas podrían tener el mismo peso, ni todas son indispensables o adicionales.

El peso aceptado, para entregar a un individuo como solución, se determinó en 50, en consecuencia, el peso admitido para guardar el individuo para un procesamiento posterior se determinó en 45 ya que es un peso suficiente para concluir, con esos individuos, en una solución.

Prueba 2. Esta prueba se realizó con las mismas especificaciones que la prueba 1 pero se determinó que todas las cláusulas eran adicionales.
Prueba 3. En esta prueba, el peso aceptado fue de 51 con todas las cláusulas definidas como adicionales.
Prueba 4. El único cambio, a diferencia de la prueba 3, es que el peso aceptado se aumentó a 52.
Prueba 5. Ídem prueba 4, pero el peso aceptado se aumentó, por última vez, a 53.

Tabla 2. Datos de salida de las pruebas.

N°	Tiempo Promedio de Ejecución con solución	Tiempo promedio de Ejecución sin solución	Solución	Peso de la Solución	Cantidad de ejecuciones sin solución	Promedio de asignaciones buenas guardadas
1	186	0	1100010000	51	0	0
2	542	0	0001101100 0101011000 0110010010 0101010000 1100001001 1101010000 1101110000 1101010010	50 50 50 51 51 51 50 51	0	0
3	559	0	0101011000 0101010000 0101010011 1100001001 1101010000 1101011001 1101101101	52 51 51 51 51 51 51	0	0
4	1853	3038	0110011100 0101011000 1101010010	52 52 52	5	48
5	8812	3347	0101010011 0111000100 1101101000	53 53 53	7	53

En la Tabla 2 se documentan los resultados hallados para las 5 pruebas. A continuación se describe el significado de cada columna:

- Tiempo promedio de ejecución con solución: se presentan el tiempo promedio, en milisegundos, que se obtuvo en las ejecuciones que tuvieron éxito en encontrar alguna solución al problema.
- Tiempo promedio de ejecución sin solución: se presentan el tiempo promedio, en milisegundos, que se obtuvo en las ejecuciones que no tuvieron éxito en encontrar alguna solución al problema. Tales ejecuciones, si bien no encuentran una solución, proveen un archivo con las asignaciones que durante la búsqueda fueron consideradas como posibles soluciones adecuadas o aceptables.
- Solución: esta columna lista las soluciones encontradas en las ejecuciones que tuvieron éxito en la búsqueda. Por lo tanto, habrá tantas soluciones como ejecuciones tuvieran éxito, pudiendo incluso repetirse entre sí.
- Peso de la solución: indica, para cada solución, el peso correspondiente al evaluar sus características.
- Cantidad de ejecuciones sin solución: indica el número de ejecuciones de la prueba en el cual no se encontró ninguna solución. Esta columna se relaciona con la que indica el tiempo promedio de ejecución sin solución.
- Promedio de asignaciones buenas guardadas: esta columna indica la cantidad promedio de asignaciones que se hallaron como adecuadas en aquellas ejecuciones que no tuvieron éxito en la búsqueda de una solución al problema. Al igual que la columna anterior, esta columna se relaciona con la que indica el tiempo promedio de ejecución sin solución.

Como puede observarse, se concluye que teniendo un problema bien definido, determinando qué cláusulas son indispensables y cuáles no, el algoritmo es más eficiente y se puede encontrar una solución en menor tiempo. También, se puede observar que a medida que se aumenta el valor del peso aceptado para obtener una solución más precisa, el tiempo que se requiere para encontrar éste aumenta de forma contundente y la cantidad de ejecuciones fallidas aumenta.

Conclusión y Futuras Líneas de Investigación

Se ha desarrollado un algoritmo para la resolución de problemas de satisfacción de restricciones, que se caracteriza por clasificar *a priori* las cláusulas como indispensables o adicionales, a fin de reducir la cantidad de evaluaciones infructuosas en aquellos casos en que una cierta asignación de valores no satisface las restricciones. Adicionalmente, el algoritmo posee la capacidad de aprender (o recordar) qué evaluaciones poseen un resultado negativo, y la capacidad de conservar el conjunto de posibles soluciones aceptables, en caso de no hallar una solución óptima.

En base a los resultados obtenidos en la experimentación, es posible observar que se generan tiempos menores cuando la diferencia entre el peso aceptado y el peso óptimo es mayor, y las cláusulas de los problemas se definen como indispensables o

adicionales. También se observa que, cuando el peso aceptado es igual al peso óptimo, el algoritmo responde con tiempos muy altos en relación a los tiempos que entregan las ejecuciones con pesos menores.

En una segunda versión del algoritmo, se planea tanto la utilización de problemas complejos como la paralelización del proceso, limitando a cada proceso a su espacio de búsqueda y permitiendo una partición del dominio de búsqueda para dar ganancias tanto en tiempo de ejecución como en velocidad de convergencia.

Referencias

1. Ansótegui, C., Manyá, F.: Una introducción a los algoritmos de satisfactibilidad. En: Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial, año/vol. 7, número 020, Asociación Española para la Inteligencia Artificial, Valencia, España, (2003)
2. Cruz-Santos, W., Morales-Luna, G.: Problemas NP-Completos y Reducciones. Depto de Computación, Cinvestav-IPN, Ciudad de Mexico (2011)
3. Maric, F.: Formal Verification of a Modern SAT solver by shallow embedding into Isabelle/HOL. En: Theorical Computer Science, vol. 411, issue 50, pp. 4333 a 4356, (2010)
4. Russell, S., Norvig, P.: Inteligencia Artificial – Un enfoque moderno, 2da Edición, Editorial Pearson, Prentice Hall (2004)
5. Guillen, C., López, A., Ita, G.: Diseño de algoritmos combinatorios para #SAT y su Aplicación al razonamiento proposicional. En: Reporte Técnico No. CCC-05-005, Coordinación de Ciencias Computacionales INAOE, Puebla, México (2009)
6. Gorbenko, A., Popov, V.: SAT Solvers for the Problem of Sensor Placement. En: Advance Studies in Theoretical Physics, vol. 6, número 25, pp. 1235 a 1238, (2012)
7. Homer, J., Xinming, O.: SAT-Solving Approaches to Context-Aware Enterprise Network Security Management. En: IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 27, número 3, pp. 315 a 322, (2009)
8. Kojevnikov, A., Kulikov, A. S., Yaroslavtsev, G.: Finding efficient circuits using SAT-solvers. En: Theory and Applications of Satisfiability Testing-SAT 2009, pp. 32-44, (2009)
9. Bouhmala, N., Granmo, O.C.: GSAT Enhanced with Learning Automata and Multilevel Paradigm. En: International Journal of Computer Science Issues, vol. 8, issue 6, número 2, pp. 38 a 54, (2011)
10. Michalewicz, Z.: Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs. Editorial Springer (1996).
11. Escobar, A., Gallego, R., Romero, R.: Aplicación de algoritmos heurísticos en la construcción de la población inicial de algoritmos genéticos que resuelven el problema de planeamiento de la expansión de la transmision. En: Revista Ingeniería e Investigación, vol. 31, número 1, pp. 127 a 143, (2011)

Análisis de Metaheurísticas Poblacionales para su Aplicación en Métodos de Reducción de Incertidumbre*

Miguel Méndez-Garabetti[1,2], Germán Bianchini[1], María Laura Tardivo[1,2,3] y Paola Caymes-Scutari[1,2]

[1]Laboratorio de Investigación en Cómputo Paralelo/Distribuido (LICPaD)
Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información, Facultad Regional Mendoza
Universidad Tecnológica Nacional. (M5502AJE) Mendoza, Argentina

miguelmendezgarabetti@gmail.com, {gbianchini,pcaymesscutari}@frm.utn.edu.ar

[2]Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
[3]Departamento de Computación, Universidad Nacional de Río Cuarto.
(X5804BYA) Río Cuarto, Córdoba, Argentina

lauratardivo@dc.exa.unrc.edu.ar

Resumen. Las metaheurísticas poblacionales –como Algoritmos Genéticos (GA), Evolución Diferencial (DE) y Optimización por Cúmulo de Partículas (PSO)– se utilizan de manera eficiente en diferentes problemas complejos de optimización en ámbitos variados. En este trabajo se realiza una comparación de estos algoritmos, utilizando como benchmark cuatro funciones del CEC 2005, con el objetivo de poder determinar cuál de estas metaheurísticas incluir en una nueva implementación del sistema de reducción de incertidumbre ESS, que actualmente opera combinando Algoritmos Evolutivos (EAs), Cómputo de Alto Rendimiento y Análisis Estadístico. En el análisis desarrollado se ha podido determinar que DE presenta mejor desempeño que GA y PSO respectivamente.

Palabras Clave: Metaheurísticas Poblacionales, Evolución Diferencial, Algoritmos Genéticos, Optimización por Cúmulo de Partículas.

1 Introducción

La gran mayoría de los problemas de optimización poseen un grado de complejidad tal que no pueden ser resueltos de manera exacta sin hacer uso de grandes cantidades de tiempo. Sin embargo, en algunos problemas o situaciones particulares, no es estrictamente necesario alcanzar una solución exacta, pudiendo ser éstos resueltos haciendo uso de técnicas de *optimización aproximadas*, lo que permite solucionar el problema en cuestión en períodos considerablemente menores de tiempo.

Los métodos de optimización aproximados brindan soluciones de alta calidad pero no garantizan obtener una solución óptima global, en contraste con los métodos de

* Este trabajo ha sido financiado por Conicet mediante el proyecto PIP 11220090100709, por la UTN a través del proyecto UTN1194 y por la ANPCyT mediante el proyecto PRH PICT-2008-00242.

optimización exactos los cuales sí aseguran encontrar soluciones óptimas a cambio de un alto costo computacional [1]. De los métodos de optimización aproximados las metaheurísticas han cobrado una destacada importancia en los últimos veinte años debido a su capacidad de brindar soluciones satisfactorias aplicadas a problemas de gran tamaño en plazos razonables de tiempo.

La clasificación de las metaheurísticas puede entenderse en función de distintos criterios como ser: la cantidad de soluciones procesadas en cada ciclo de ejecución, la forma en que se generan nuevas soluciones en el espacio de búsqueda, o el origen de inspiración del algoritmo. Sin embargo, la primera de éstas es la que denota diferencias de mayor relevancia por lo que se adopta como clasificación general. Entonces, en función de la cantidad de soluciones utilizadas se clasifican en *metaheurísticas basadas en una única solución* y *metaheurísticas poblacionales*. La primera, tiene la característica de mejorar de forma continua una única solución para explorar el espacio de búsqueda del problema, este tipo de metaheurísticas también se conoce como de trayectoria debido a que el proceso puede ser descrito como una trayectoria de búsqueda a través del dominio de la solución del problema [2], mientras que las metaheurísticas poblacionales o basadas en población, operan mejorando de forma iterativa sobre un conjunto de soluciones o también conocido como una población de soluciones candidatas.

Las metaheurísticas poblacionales son muy adecuadas para resolver problemas de optimización de alta complejidad con rasgos de incertidumbre y dinamicidad [3], [4], como sucede en los métodos de reducción de incertidumbre cuando son aplicados a algún método en particular. En este trabajo se realiza una comparación de tres meta-heurísticas poblacionales: Algoritmos Genéticos [5], Evolución Diferencial [6] y Optimización por Cúmulo de Partículas [7], [8], con el objetivo de evaluar cuál de ellas será más conveniente aplicar al sistema ESS (Evolutionary-Statistical System) [9], [10], el cual es un método orientado a la reducción de incertidumbre que basa su funcionamiento en Análisis Estadístico, Computación de Alto Rendimiento (HPC) y Algoritmos Evolutivos Paralelos [11].

En lo que resta del artículo se presenta, en primer lugar, una descripción breve de las metaheurísticas que intervienen en el presente trabajo, posteriormente se documentan los experimentos realizados y sus respectivos resultados. Finalmente, se presentan las conclusiones del trabajo.

2 Metaheurísticas Poblacionales

En esta sección se comenta cada una de las metaheurísticas poblacionales involucradas en el estudio comparativo realizado en la sección 3. En primer lugar se comentarán los Algoritmos Genéticos (GAs), luego se comentará lo que respecta a Evolución Diferencial (DE) y por último Optimización por Cúmulo de Partículas (PSO).

2.1 Algoritmos Genéticos

Los Algoritmos Genéticos (GAs) constituyen un método de búsqueda inspirado en la teoría de la evolución biológica (acorde a los mecanismos de selección y genética natural), para la resolución de problemas de optimización [5]. El proceso de búsqueda está compuesto por iteraciones llamadas generaciones donde un conjunto de soluciones candidatas, denominado población, evoluciona imitando los principios de selección natural y supervivencia del más apto [12] esperando que converja a una solución. En la situación más favorable la solución hallada será la óptima, pero normalmente suele definirse un umbral de lo que representa una solución aceptable.

Cada uno de los individuos de la población representa a una posible solución mediante un cromosoma, el cual puede ser representado mediante cadenas binaras, permutaciones, números enteros, números reales [13], además cada individuo posee un valor de aptitud o *fitness*, el cual cuantifica su capacidad de adaptación, es decir de representar una buena solución para el problema tratado. En el Algoritmo 1 se puede observar un esquema básico de un GA donde *g* identifica el número de generaciones y *Pob(g)* representa la población en la *g*-ésima generación. En cada iteración *g*, se escoge un conjunto de individuos de la población actual *Pob(g). El* proceso de selección está diseñado para permitir que las buenas soluciones tengan mayor probabilidad de ser elegidas, para posteriormente aplicar entre los miembros de esta sub-población los operadores genéticos que permiten, de manera artificial, imitar el proceso de adaptación natural de: cruzamiento, mutación y reemplazo.

Puntualmente, el operador de selección lleva a cabo la elección de aquellos individuos que serán los progenitores de la nueva generación (está relacionado con la determinación de buenas soluciones) siendo sometidos a los operadores genéticos que mantienen la analogía con la metáfora de inspiración donde los más débiles perecen por selección natural. Este proceso debe favorecer a los más aptos, es decir a aquellos individuos que posean un fitness mayor o menor en función del tipo de problema de que se trate (maximización o minimización respectivamente). Existen diversos métodos de muestreo para llevar a cabo la selección de individuos entre los que se destacan: muestreo estocástico por sorteo, muestreo estocástico universal o por ruleta, y muestreo estocástico por torneos.

Algoritmo 1. Esquema básico de un Algoritmo Genético (GA)

```
1  INICIO
2    g←0; /* número de generaciones*/
3    INICIALIZACIÓN aleatoria de la población Pob(g);
4    EVALUACIÓN de cada solución candidata Pob(g);
5    MIENTRAS no se cumpla condición de parada HACER
6         g← g+1;
7         SELECCIONAR progenitores de Pob(g);
8         RECOMBINAR pares de progenitores;
9         MUTAR la descendencia resultante;
10        EVALUACIÓN de los nuevos candidatos;
11        REEMPLAZAR según criterio candidatos en la población
          Pob(g+1);
12   FIN MIENTRAS
13 FIN
```

Luego de la selección del conjunto de criadores, estos son sometidos al proceso de reproducción para generar los nuevos individuos, como se puede observar en la Figura 1.

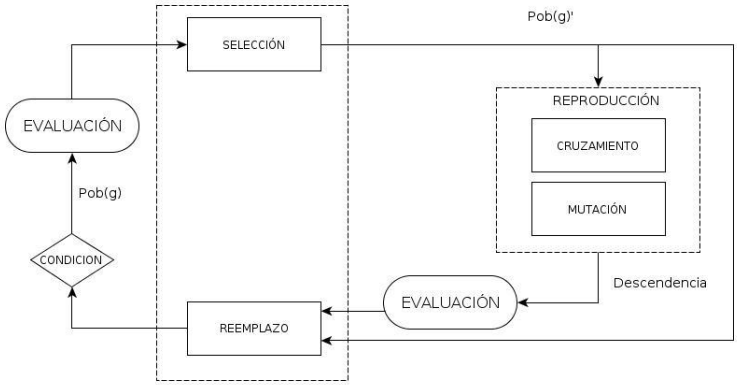


Fig 1. Funcionamiento de un GA básico

Existen dos operadores de reproducción, por un lado el operador de *recombinación* o *cruce*, el cual actúa sobre pares de individuos creando otro par de individuos descendientes. Este operador realiza un intercambio de información esperando que se exploten las mejores características presentes en la población actual. Por otro lado, el operador de *alteración* o *mutación*, actúa sobre un solo individuo. La mutación consiste en realizar una pequeña modificación en alguno de los genes del individuo, de esta manera se introduce cierto grado de diversidad para intentar alcanzar todos los puntos del espacio de búsqueda permitiendo explorar nuevos dominios de búsqueda. Por último se lleva a cabo el proceso de reemplazo sobre ciertos individuos de la población actual en comparación con los nuevos descendientes para determinar cuáles formarán parte de la población de la generación posterior. Del mismo modo que para el proceso de selección, aquí también existen distintos criterios para efectuar el reemplazo. Por ejemplo, una manera es reemplazar de forma inmediata los progenitores con los descendientes, otra opción es reemplazar a aquellos individuos de la población que posean características más similares a los descendientes o reemplazar aquellos individuos que posean los peores valores de fitness.

2.2 Evolución Diferencial

El algoritmo de Evolución Diferencial (DE) [6], a grandes rasgos, cuenta con etapas semejantes a las que involucran los GAs pero con relevantes diferencias. En la etapa de inicialización de DE, la población de soluciones candidatas se genera de manera aleatoria y distribuida uniformemente dentro del rango del problema. De esta manera, la población queda constituida por *Np* vectores, cada uno con *D* dimensiones que conforman a la población P_x, tal que se cumpla la expresión (1).

$$P_{x,g} = (x_{i,g}),\ \ i = 1,2,...,Np,\ g = 1,2,...,g_{\max},$$
$$x_{i,g} = (\times_{j,i,g}),\ j = 1,2,...,D\ . \qquad \textbf{(1)}$$

Donde g_{max} representa la cantidad máxima de generaciones. En DE, además de la población P_x , se manejan dos poblaciones adicionales denominadas P_v y P_u las cuales poseen las mismas características denotadas en la expresión (1). En cada una de estas poblaciones cada componente de los vectores representa una variable de decisión del problema. Posteriormente a la inicialización, los vectores son sometidos a procesos de mutación, recombinación y selección para cada generación.

En términos generales DE perturba la población mediante el concepto de diferencia de vectores, donde muta de forma aleatoria vectores de la población actual P_x para producir cada vector de la población intermedia P_v como se observa en la expresión (2).

$$v_{i,g} = x_{r0,g} + F \cdot (x_{r1,g} - x_{r2,g}),$$
$$\text{donde } i = 1,2,...,Np \text{ y } r1 \neq r2 \neq r3 \neq i\ . \qquad \textbf{(2)}$$

Existen varias estrategias para realizar el proceso de mutación. Éstas utilizan la notación *DE/x/y/z* donde "*x"* indica el vector a ser mutado (*rand* o *best*), "*y"* la cantidad de restas de vectores realizadas (1 o 2), y "*z"* denota el esquema de recombinación utilizado (*bin*: binomial o *exp*: exponencial). En la expresión (2) se puede observar la mutación correspondiente a la estrategia *DE/rand/1/bin* donde el factor de escala *F* es un número real en el rango [0,∞), si bien no tiene límite superior por lo general rara vez es mayor a 1.0 [6].

Posteriormente, cada parte del vector de la población actual P_x es recombinado con su correspondiente del vector de la población intermedia P_v (vectores mutados), para producir la población de prueba P_u. En esta operación entra en juego la probabilidad de recombinación *Cr,* para el caso de utilizarse el crossover o recombinación binomial.

$$u_{i,g} = u_{j,i,g} \begin{cases} v_{j,i,g} \text{ si } \left(rand_{\ j}[0,1] \leq Cr \text{ ó } j = j_{rand}\right) \\ x_{j,i,g} \text{ en otro caso .} \end{cases} \qquad \textbf{(3)}$$

Y por último, se efectúa la selección con el objetivo mantener en la población de la generación siguiente a aquellos individuos que posean mejores características, por lo tanto se evalúa para cada vector de prueba el valor de su función objetivo y se compara con su correspondiente de la población actual.

$$x_{i,g+1} = \begin{cases} u_{i,g} \text{ si } f\left(u_{i,g}\right) < f\left(x_{i,g}\right) \\ x_{i,g} \text{ en otro caso .} \end{cases} \qquad \textbf{(4)}$$

Cada uno de estos operadores son procesados en cada generación tal como puede observarse en el Algoritmo 2, el cual describe al algoritmo clásico de DE [10].

Algoritmo 2. Esquema básico de un algoritmo de Evolución Diferencial (DE)

```
INICIO
  INICIALIZACIÓN aleatoria de la población;
  MIENTRAS no se cumpla condición de parada HACER
      PARA i=0 hasta i<Np HACER
        r1 ← OBTENER aleatoriamente r1;
        r2 ← OBTENER aleatoriamente r2≠r1;
        r2 ← OBTENER aleatoriamente r3≠r1≠r2;
        jrand=floor(D*rand(0,1));
        PARA j=0 hasta j<D HACER
          SI rand(0,1)<=Cr ó j==jrand ENTONCES
            u_{j,i}=x_{j,r1}+F*(x_{j,r2}-x_{j,r3});
          SINO
            u_{j,i}=x_{j,i};
          FIN SI
        FIN PARA
      FIN PARA
      PARA i=0 hasta i<Np HACER
        SI f(u_i)<=f(x_i) ENTONCES
            x_i ← u_i;
        FIN SI
      FIN PARA
  FIN MIENTRAS
FIN
```

2.3 Optimización por Cúmulo de Partículas

La metaheurística conocida como Optimización por Cúmulo de Partículas (PSO) forma parte de la familia de algoritmos bioinspirados que mantienen analogía con distintos sistemas sociales o presentes en la naturaleza. Un ejemplo que puede citarse es la manera en que algunas especies comparten información para luego desplazarse a ubicaciones donde encuentren alimento, resguardo o mejor condición climática, donde el comportamiento de los mejores individuos afecta a toda la población [14].

PSO utiliza una población de partículas para explorar el espacio de búsqueda, de forma similar a las metaheurísticas anteriormente presentadas, cada miembro de la población representa una solución candidata del problema de optimización tratado. Las partículas poseen un valor de posición y de velocidad los cuales son actualizados en cada iteración del algoritmo. En términos generales, PSO maneja la población de soluciones como un cúmulo de partículas donde cada partícula *i* consta de tres componentes. Por un lado x_i representa la posición de partícula dentro del espacio de búsqueda, v_i describe la velocidad de la partícula y $pbest_i$ es la memoria de la partícula, lo cual representa la mejor posición encontrada hasta el momento. Por otro lado, el algoritmo maneja una componente social (o global a la población) denominada $pbest_g$,, que representa la mejor posición encontrada por alguna partícula en toda la población [15]. La velocidad de cada partícula y su posición son actualizadas en cada iteración del algoritmo de acuerdo a la expresión (5).

$$
\begin{aligned}
& v_i(t+1) = wv_i(t) + i\_local + i\_global, \\
& \text{donde} \begin{cases} i\_local = c_1 u_{1i}\left[p_i best(t) - x_i(t)\right], \\ i\_global = c_2 u_{2i}\left[p_g best(t) - x_i(t)\right], \end{cases} \\
& x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1)\ .
\end{aligned}
\qquad \textbf{(5)}
$$

Donde *i_local* (información local) representa el componente o factor cognitivo o personal e *i_global* (información global) el componente o factor social. Los factores c_1 y c_2 son pesos que regulan la contribución de la componente cognitiva, el primero, y de la componente social, el segundo. Los factores u_{1i} y u_{2i} corresponden a valores aleatorios distribuidos uniformemente en el rango [0,1]. Y por último el factor *w* equilibra las capacidades de búsqueda global y local [16], el factor de inercia *w* no forma parte del algoritmo básico PSO. Un esquema de un algoritmo PSO balanceado puede verse en el Algoritmo 3.

Algoritmo 3. Esquema básico de un algoritmo de Optimización por Cúmulo de Partículas (PSO)

```
1  INICIO
2    INICIALIZACIÓN aleatoria de la población de partículas S;
3    MIENTRAS no se cumpla condición de parada HACER
4         PARA i=0 hasta i<S HACER
5              /* guardar mejor posición personal */
6              SI f(xi)< f(pbesti) ENTONCES
7                 pbesti←xi;
8              FIN SI
9              /* guardar mejor posición global */
10             SI f(pbesti)< f(gbesti) ENTONCES
11                gbest←pbesti;
12             FIN SI
13        FIN PARA
14        PARA i=0 hasta i<S HACER
15             /* guardar mejor posición personal */
16             w←CALCULAR(factor_de_inercia);
17             ACTUALIZAR velocidad; /* Ecuación (5) */
18             ACTUALIZAR posición;  /* Ecuación (5) */
19        FIN PARA
20   FIN MIENTRAS
21 FIN
```

En el mismo se puede observar que en primer lugar la población es inicializada de forma aleatoria, luego mediante una función de evaluación (que no necesariamente debe coincidir con la función objetivo), se determina para cada partícula su nivel de aptitud. Este proceso iterativo mejora gradualmente la dirección que las partículas deben tomar, con el objetivo de encontrar la región del espacio de búsqueda que contiene las buenas soluciones.

3 Experimentación

En la presente sección se comentan los resultados obtenidos tras la comparación de las metaheurísticas comentadas en la sección 2. La comparación se ha llevado a cabo mediante distintas funciones de prueba de la sesión especial de optimización continua del IEEE CEC 2005 [17]. A continuación se presenta una breve descripción de las funciones que componen el benchmark como así también el criterio para llevar a cabo el análisis comparativo. Posteriormente se analizan los resultados obtenidos.

3.1 Descripción del benchmark y criterios de comparación

El benchmark utilizado está compuesto por cuatro funciones de diferente complejidad. Un listado de las principales características de las mismas puede observarse en la Tabla 1, donde la primera es la única unimodal (un único óptimo local y global), las dos siguientes son multimodales básicas (múltiples óptimos locales), y la última es multimodal extendida (con óptimos fuera del rango de inicialización). También es importante remarcar que las funciones se encuentran desplazadas para que no exista simetría, evitando así que la metaheurística se beneficie de esta característica. Cada una de las funciones representa un problema de minimización resuelto para dos dimensiones diferentes: $D = 30$ y $D = 50$.

El número máximo de evaluaciones de la función objetivo para cada una de las dimensiones está determinado por: D*10.000, por lo tanto para 30 dimensiones se podrán efectuar como máximo 300.000 evaluaciones de la función objetivo y 500.000 para 50 dimensiones (en la experimentación también se utilizan como valores intermedios D*100 y D*1.000).

La comparación consiste en verificar cuál de todos los algoritmos alcanza mejor desempeño, para cada función y dimensión en materia de precisión y tiempo de ejecución.

Tabla 1. Funciones utilizadas para la comparación de las metaheurísticas.

Función	*Nombre*	*Rango*	*Óptimo*
F1	Función Esfera, desplazada	[-100,100]	-450
F9	Función de Rastrigin, desplazada	[-5,5]	-330
F10	Función de Rastrigin , desplazada y rotada	[-5,5]	-330
F14	Función de Scaffer, expandida, extendida y rotada	[-100,100]	-300

3.2 Análisis de resultados

En las Tablas 2, 3 y 4 se muestran los resultados obtenidos tras efectuar 25 ejecuciones en 30 dimensiones de los benchmarks correspondientes para cada uno de los algoritmos: GA, DE y PSO respectivamente. Cada una de las tablas contiene los resultados tanto para 3.000, 30.000 y 300.000 evaluaciones de la función objetivo como umbral, donde se resalta en negrita el algoritmo que obtiene el valor de fitness

con mayor precisión y subrayado aquel que obtuvo el segundo mejor valor. Por ejemplo, para las funciones F1 y F9 en 30 dimensiones, el algoritmo de DE en 300.000 evaluaciones (Tabla 3), obtiene el mejor desempeño siendo para ambas funciones el menor valor de error alcanzado: 0,0000E+00. Esto quiere decir que DE para las funciones F1 y F9 ha alcanzado el valor óptimo en al menos una de las 25 ejecuciones efectuadas. Respecto al segundo mejor algoritmo para las mismas funciones, F1 y F9 en 30 dimensiones y 300.000 evaluaciones, es para la primera función PSO con un valor de error de 5,3700E-04 (Tabla 4) y para la segunda función el GA con un error de 1,4014E-02 (Tabla 2). En las Tablas 2 a 7, las mediciones hacen referencia a valores de error excepto el tiempo que se encuentra expresado en segundos.

Tabla 2. Valores alcanzados en 30 dimensiones para 3.000, 30.000 y 300.000 evaluaciones de la función objetivo para los problemas F1, F9, F10 y F14 con GA.

Cdad. Eval.		*F1*	*F9*	*F10*	*F14*
3.000	Mejor	**3,4927E+02**	**4,0861E+01**	**2,7401E+02**	1,3845E+01
	Mediana	3,5662E+02	4,5366E+01	3,0404E+02	1,3969E+01
	Peor	3,7398E+02	5,7240E+01	3,6453E+02	1,4004E+01
	Promedio	3,5825E+02	4,9395E+01	3,0735E+02	1,3935E+01
	Desviación	1,0482E+01	6,7250E+00	2,6506E+01	1,8396E-02
	Tiempo	9,1698E-02	9,6830E-02	9,6069E-02	1,0197E-01
30.000	Mejor	3,0353E+00	**1,3617E+00**	1,5678E+02	1,3290E+01
	Mediana	9,1895E+00	3,7942E+00	2,8035E+02	1,3559E+01
	Peor	1,3249E+01	4,9114E+00	4,2640E+02	1,3792E+01
	Promedio	8,8988E+00	3,4964E+00	2,9893E+02	1,3544E+01
	Desviación	2,6266E+00	1,0401E+00	5,9630E+01	1,8396E-02
	Tiempo	8,8022E-01	9,7247E-01	9,4400E-01	1,0284E+00
300.000	Mejor	2,1329E-02	1,4014E-02	**1,2342E+01**	1,2918E+01
	Mediana	5,8354E-02	2,2063E-02	2,6375E+01	1,3213E+01
	Peor	9,5947E-02	9,1207E-02	4,7997E+01	1,3442E+01
	Promedio	5,6260E-02	2,8635E-02	2,8016E+01	1,3228E+01
	Desviación	1,8396E-02	1,1031E-01	6,9226E+00	1,8396E-02
	Tiempo	9,0266E+00	9,4469E+00	9,3831E+00	1,0208E+01

El mismo criterio es utilizado en las Tablas 5, 6 y 7, donde se muestran los resultados obtenidos para las mismas funciones (F1, F9, F10 y F14), pero con 50 dimensiones en vez de 30. Cada tabla contiene los resultados tanto para 5.000, 50.000 y 500.000 evaluaciones de la función objetivo.

Con el objetivo de brindar un panorama general del rendimiento de cada algoritmo, se han confeccionado por un lado, la Figura 2, donde se puede apreciar para cada función el desempeño de todos los algoritmos para 30 dimensiones, también la Figura 3, que contiene los promedios de error para todas las funciones y cada metaheurística. Y por otro lado, en la Tabla 8, se puede observar un ranking para cada función, donde se indica qué algoritmo ha presentado mejor desempeño en términos de la precisión en las soluciones encontradas, como así también el tiempo consumido para alcanzarlas.

Tabla 3. Valores alcanzados en 30 dimensiones para 3.000, 30.000 y 300.000 evaluaciones de la función objetivo para los problemas F1, F9, F10 y F14 con DE.

Cdad. Eval.		*F1*	*F9*	*F10*	*F14*
3.000	Mejor	2,9123E+00	1,3693E+02	2,8183E+02	1,3596E+01
	Mediana	5,6752E+03	1,6624E+02	3,4796E+02	1,3921E+01
	Peor	1,21050.000	2,3034E+02	4,0947E+02	1,4253E+01
	Promedio	6,1770E+03	1,7107E+02	3,4726E+02	1,3953E+01
	Desviación	1,8396E-02	1,8396E-02	1,8396E-02	1,8396E-02
	Tiempo	9,8447E-02	9,9811E-02	1,2020E-01	1,0737E-01
30.000	Mejor	**1,4152E-01**	5,5180E+00	**1,5136E+02**	1,3348E+01
	Mediana	1,5636E+00	1,1428E+01	1,9168E+02	1,3690E+01
	Peor	3,4849E+01	2,0115E+01	2,2464E+02	1,3952E+01
	Promedio	7,4188E+00	1,2505E+01	1,8907E+02	1,3668E+01
	Desviación	1,8396E-02	1,8396E-02	1,8396E-02	1,8396E-02
	Tiempo	1,0731E+00	1,1325E+00	1,3254E+00	1,0295E+00
300.000	Mejor	**0,0000E+00**	**0,0000E+00**	1,6209E+01	1,3364E+01
	Mediana	0,0000E+00	0,0000E+00	2,6214E+01	1,3864E+01
	Peor	1,2636E-02	2,9849E+00	1,2973E+02	1,4040E+01
	Promedio	6,3868E-04	6,7657E-01	3,5589E+01	1,3837E+01
	Desviación	1,8396E-02	1,8396E-02	1,8396E-02	1,8396E-02
	Tiempo	1,2693E+01	1,7737E+01	1,7292E+01	1,7810E+01

Tabla 4. Valores alcanzados en 30 dimensiones para 3.000, 30.000 y 300.000 evaluaciones de la función objetivo para los problemas F1, F9, F10 y F14 con PSO.

Cdad. Eval.		*F1*	*F9*	*F10*	*F14*
3.000	Mejor	4,1427E+02	3,2925E+02	3,2593E+02	**7,5927E+00**
	Mediana	4,1598E+02	3,3060E+02	3,2903E+02	1,3895E+01
	Peor	4,1648E+02	3,3091E+02	3,3196E+02	1,3997E+01
	Promedio	4,1543E+02	3,3016E+02	3,2883E+02	1,2375E+01
	Desviación	1,8396E-02	1,8396E-02	1,8396E-02	1,8396E-02
	Tiempo	9,3112E-02	9,8759E-02	1,0218E-01	1,0777E-01
30.000	Mejor	5,7813E+01	1,1502E+02	3,2601E+02	**1,3087E+01**
	Mediana	1,2713E+02	2,0200E+02	3,3051E+02	1,3469E+01
	Peor	3,9243E+02	2,7460E+02	3,3370E+02	1,3889E+01
	Promedio	1,4088E+02	1,9960E+02	3,3051E+02	1,3442E+01
	Desviación	1,8396E-02	1,8396E-02	1,8396E-02	1,8396E-02
	Tiempo	9,1367E-01	9,8127E-01	9,7094E-01	1,0397E+00
300.000	Mejor	5,3700E-04	6,6294E+01	1,1625E+02	**1,2598E+01**
	Mediana	2,2325E-01	1,2567E+02	2,4222E+02	1,3490E+01
	Peor	1,7100E+01	1,9759E+02	2,9954E+02	1,3699E+01
	Promedio	3,2140E+00	1,2598E+02	2,3704E+02	1,3347E+01
	Desviación	1,8396E-02	1,8396E-02	1,8396E-02	1,8396E-02
	Tiempo	9,1557E+00	9,9515E+00	9,7325E+00	1,0381E+01

Tabla 5. Valores alcanzados en 50 dimensiones para 5.000, 50.000 y 500.000 evaluaciones de la función objetivo para los problemas F1, F9, F10 y F14 con GA.

Cdad. Eval.		*F1*	*F9*	*F10*	*F14*
5.000	Mejor	1,2770E+03	1,7991E+02	8,7090E+02	**2,3304E+01**
	Mediana	2,2451E+03	1,9124E+02	1,0611E+03	2,3671E+01
	Peor	3,1256E+03	2,5733E+02	1,3568E+03	2,3982E+01
	Promedio	2,0998E+03	2,0099E+02	1,0820E+03	2,3643E+01
	Desviación	1,8396E-02	1,8396E-02	1,8396E-02	1,8396E-02
	Tiempo	4,6554E-01	4,1754E-01	4,6336E-01	5,1569E-01
50.000	Mejor	**4,5293E+01**	1,3619E+01	3,4127E+02	2,3054E+01
	Mediana	7,9741E+01	1,9562E+01	4,4212E+02	2,3460E+01
	Peor	1,4922E+02	2,4616E+01	5,9930E+02	2,3694E+01
	Promedio	7,9560E+01	1,9171E+01	4,4492E+02	2,3435E+01
	Desviación	1,8396E-02	1,8396E-02	1,8396E-02	1,8396E-02
	Tiempo	4,3458E+00	4,1334E+00	5,3878E+00	5,4197E+00
500.000	Mejor	1,8269E-01	2,0891E-01	**7,9714E+01**	2,2424E+01
	Mediana	3,2361E-01	3,7735E-01	1,3310E+02	2,3286E+01
	Peor	5,4009E-01	6,5533E-01	2,3194E+02	2,3476E+01
	Promedio	3,2602E-01	4,0083E-01	1,3497E+02	2,3226E+01
	Desviación	1,8396E-02	1,8396E-02	1,8396E-02	1,8396E-02
	Tiempo	3,8958E+01	4,0813E+01	4,9704E+01	5,2112E+01

Tabla 6. Valores alcanzados en 50 dimensiones para 5.000, 50.000 y 500.000 evaluaciones de la función objetivo para los problemas F1, F9, F10 y F14 con DE.

Cdad. Eval.		*F1*	*F9*	*F10*	*F14*
5.000	Mejor	4,8532E+03	3,5092E+02	8,4713E+02	2,3375E+01
	Mediana	1,0188E+04	3,9231E+02	1,0794E+03	2,3811E+01
	Peor	2,25250.000	4,1634E+02	1,3428E+03	2,4051E+01
	Promedio	1,1581E+04	3,9083E+02	1,1333.000	2,3787E+01
	Desviación	1,8396E-02	1,8396E-02	1,8396E-02	1,8396E-02
	Tiempo	7,9967E-01	4,4623E-01	4,3479E-01	4,5627E-01
50.000	Mejor	2,3581E+02	4,4336E+01	**1,5767E+02**	2,2997E+01
	Mediana	2,8781E+02	5,7551E+01	3,3944E+02	2,3448E+01
	Peor	6,8358E+02	8,6780E+01	3,9822E+02	2,3710E+01
	Promedio	3,3412E+02	5,8734E+01	3,2759E+02	2,3425E+01
	Desviación	1,8396E-02	1,8396E-02	1,8396E-02	1,8396E-02
	Tiempo	4,2239E+00	4,9008E+00	4,9197E+00	4,9354E+00
500.000	Mejor	3,3424E+01	**0,0000E+00**	4,3524E+01	2,2633E+01
	Mediana	7,4720E+01	0,0000E+00	9,2866E+01	2,3012E+01
	Peor	1,4356E+02	9,9496E-01	2,7712E+02	2,3309E+01
	Promedio	7,9043E+01	1,1940E-01	1,2349E+02	2,3024E+01
	Desviación	1,8396E-02	1,8396E-02	1,8396E-02	1,8396E-02
	Tiempo	4,7519E+01	5,4547E+01	5,4899E+01	4,9357E+01

Tabla 7. Valores alcanzados en 50 dimensiones para 5.000, 50.000 y 500.000 evaluaciones de la función objetivo para los problemas F1, F9, F10 y F14 con PSO.

Cdad. Eval.		*F1*	*F9*	*F10*	*F14*
5.000	Mejor	**3,8525E+02**	**1,0412E+02**	**3,2419E+02**	2,3382E+01
	Mediana	4,1840E+02	1,4557E+02	3,2419E+02	2,3957E+01
	Peor	4,8548E+02	1,8264E+02	1,3295.000	2,9900E+02
	Promedio	4,3069E+02	1,4684E+02	6,4192E+02	1,3385E+02
	Desviación	1,8396E-02	1,8396E-02	1,8396E-02	1,8396E-02
	Tiempo	2,6093E-01	4,2135E-01	4,3223E-01	4,8855E-01
50.000	Mejor	3,8360E+02	**1,2110E+01**	3,2766E+02	**1,4007E+01**
	Mediana	4,5263E+02	1,7063E+01	3,3088E+02	1,4007E+01
	Peor	5,2373E+02	2,4104E+01	3,3362E+02	2,4232E+01
	Promedio	4,5546E+02	1,7403E+01	3,3053E+02	1,8528E+01
	Desviación	1,8396E-02	1,8396E-02	1,8396E-02	1,8396E-02
	Tiempo	4,0582E+00	4,1570E+00	4,4387E+00	4,3816E+00
500.000	Mejor	**0,0000E+00**	4,8515E-02	2,1876E+02	**2,2264E+01**
	Mediana	0,0000E+00	1,2694E-01	3,0122E+02	2,3404E+01
	Peor	2,0000E-06	2,2331E-01	4,2315E+02	2,3581E+01
	Promedio	8,0000E-08	1,3217E-01	2,9836E+02	2,3299E+01
	Desviación	1,8396E-02	1,8396E-02	1,8396E-02	1,8396E-02
	Tiempo	4,1270E+01	4,0949E+01	4,3062E+01	4,4143E+01

El ranking de precisión ha sido confeccionado, para cada función, tomando como mejor algoritmo aquel que ha alcanzado el mejor valor de fitness, o lo que es lo mismo, el menor error respecto al óptimo. Haciendo uso de la máxima cantidad de evaluaciones de la función objetivo permitida para la dimensión en consideración, se resalta en negrita si el algoritmo ha alcanzado el óptimo. Respecto al ranking de tiempo, éste considera aquel algoritmo que realiza la cantidad máxima de evaluaciones de la función objetivo en el menor tiempo posible, o sea independientemente del resultado obtenido. Ambas métricas son importantes, ya que en todo problema de optimización el objetivo no es sólo obtener la solución aceptable a dicho problema, sino también hacerlo dentro de plazos de tiempo razonables.

Tabla 8. Ranking de las metaheurísticas presentadas en función de la precisión alcanzada y el tiempo consumido.

Dimensión		*Ranking de precisión*				*Ranking de tiempo*			
		F1	*F9*	*F10*	*F14*	*F1*	*F9*	*F10*	*F14*
30	*1ro*	**DE**	**DE**	GA	PSO	PSO	PSO	PSO	PSO
	2do	PSO	GA	DE	DE	GA	GA	GA	GA
	3ro	GA	PSO	PSO	GA	DE	DE	DE	DE
50	*1ro*	**PSO**	**DE**	GA	PSO	GA	GA	PSO	PSO
	2do	GA	PSO	DE	GA	PSO	PSO	GA	DE
	3ro	DE	GA	PSO	DE	DE	DE	DE	GA

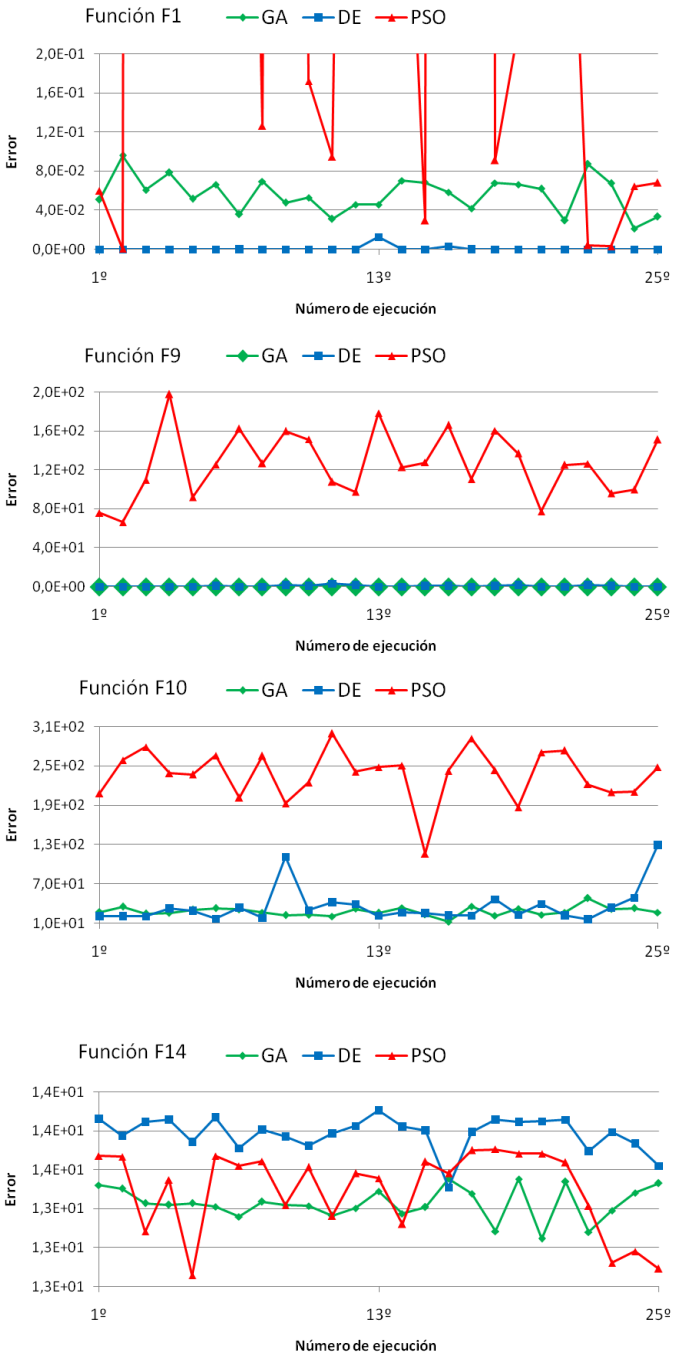


Fig 2. Valores de error para cada metaheurística en 30 dimensiones y 300.000 evaluaciones para cada función.

Como se puede observar en la Figura 3, los resultados son muy diversos ya que poseen gran dependencia de las características del problema, además de su dimensión. Por ejemplo, para la función F1 en 30 dimensiones el algoritmo de DE obtiene el mejor desempeño en términos de precisión alcanzando el óptimo, pero cuando se incrementa el tamaño del problema (de 30 dimensiones a 50) el mismo algoritmo presenta el peor desempeño siendo superado por los otros dos algoritmos. No sucede lo mismo con la función F9, donde DE se mantiene como el mejor algoritmo tanto para 30 como para 50 dimensiones. Lo mismo sucede con la función F10 y F14, donde GA y PSO respectivamente, obtienen el mejor desempeño para 30 y 50 dimensiones.

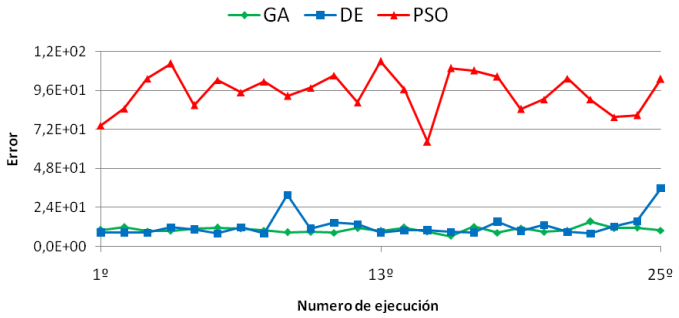


Fig 3. Valores de error promedio de todas las funciones para cada metaheurística en 30 dimensiones y 300.000 evaluaciones.

Respecto al tiempo consumido por los algoritmos, se observa que PSO posee el mejor tiempo de respuesta sin embargo en las gráficas se puede observar que la precisión del algoritmo no es buena y mantiene altos valores de desviación. Seguido a PSO se encuentra GA, que mantiene una precisión relativamente buena, sin alcanzar el óptimo. Por último se encuentra DE, que si bien presenta el mayor retardo, es el que mejor desempeño de precisión obtiene, alcanzando el óptimo en tres oportunidades del ranking. Además, es importante tener en cuenta que el tiempo consumido no varía demasiado de un algoritmo a otro, dada la baja complejidad y dimensión de los problemas aquí tratados.

4 Conclusiones

En este trabajo se ha realizado una comparación de tres metaheurísticas poblacionales donde se ha utilizado un benchmark compuesto por cuatro funciones conocidas y muy utilizadas para verificar el desempeño de distintas metaheurísticas. El objetivo es determinar cuál de las metaheurísticas puede ser utilizada para mejorar el funcionamiento del método de reducción de incertidumbre ESS, el cual actualmente se encuentra operando con AEs. Por los resultados obtenidos, y teniendo en cuenta que las versiones clásicas de los algoritmos utilizados podrían mejorarse, se observa que DE presenta muy buenas perspectivas, dada la precisión alcanzada y teniendo en

cuenta que los tiempos de convergencia para las dimensiones de problemas tratados son poco representativos. Por tales motivos, es esperable que esta metaheurística brinde mejoras al método actual.

Como trabajo futuro se pretende realizar una evaluación de estas metaheurísticas en un nivel más detallado, analizando diferentes versiones de cada una de ellas, con dimensiones mayores y realizar una calibración de los parámetros que determinan el comportamiento. Por otro lado, se analizarán alternativas de hibridación y la aplicación de éstas al ESS para verificar las mejoras del método.

Referencias

1. Talbi, E.: Metaheuristics: From Design to Implementation. John Wiley & Sons, Inc. (2009)
2. Crainic, TG, Toulouse, M.: Parallel strategies for metaheuristics. En: Glover, FW, Kochenberger, GA, (eds.), Handbook of Metaheuristics. Springer, 2003. pp. 475 a 513. Springer (2003)
3. Branke, J.: Evolutionary Optimization in Dynamic Environments. Journal of the Royal Statistical Society. 13(1), pp. 1 a 45 (2001)
4. Blum, C., Merkle, D.: Swarm Intelligence: Introduction and Applications. Springer (2008)
5. Goldberg, D.: Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning. Addison-Wesley Longman Publishing Co. Inc. Boston (1989)
6. Price, K., Stron, R., Lampinen, J.: Differential Evolution: A Practical Approach to Global Optimization. Springer (2005)
7. Engelbrecht A.: Fundamentals of Computational Swarm Intelligence. John Wiley & Sons, Ltd. (2005)
8. Kennedy J., Eberhart R.: Particle Swarm Optimization. En: Proceedings of the IEEE International Joint Conference on Neural Networks, pp. 1942 a 1948. IEEE Press (1995)
9. Bianchini, G., Méndez-Garabetti, M., Caymes Scutari, P.: Evolutionary-Statistical System for Uncertainty Reduction Problems in Wildfires. En: XVIII CACIC, XII Workshop de Procesamiento Distribuido y Paralelo (WPDP), pp. 230 a 238, Bahía Blanca (2012)
10. Bianchini, G., Caymes Scutari, P.: Uncertainty Reduction Method Based on Statitics and Parallel Evolutionary Algorithms. En: Proceedings of High-Performance Computing Symposium - 40 JAIIO. Córdoba (2011)
11. Cantú Paz, E.: A survey of Parallel Genetic Algorithms. Calculateurs Paralleles. En: Reseaux et Systems Repartis, pp. 141 a 171 (1998)
12. Darwin, C.: On the Origin of Species by Means of Natural Selection. Murray, London (1859)
13. Eiben, AE, Smith, JE: Introduction to Evolutionary Computing. Springer (2003)
14. Kennedy, J., Eberhart, R.: Particle swarm optimization. En: Proceedings. IEEE International Conference on (Volume:4), pp. 1942 a 1958 (1948)
15. Bartz-Beielstein, T., Blum, D., Branke, J.: Particle Swarm Optimization and Sequential Sampling in Noisly Environments. En: Metaheuristics, Progress in Complex Systems Optimization. Springer US, pp. 261 a 273 (2007)
16. Shi Y., Eberhart, R.: Parameter selection in particle swarm optimization. En Porto, V., Saravanan, N., Wagen, D., Eiben, A., (eds.), Evolutionary Programming, vol. 7, pp. 591 a 600. Springer, Berlin, Heidelberg, New York (1998)
17. Suganthan, P., Hansen, N, Liang, JJ, Deb, K., Chen, YP, Auger, A., Tiwari S.: Problem definitions and evaluation criteria for the cec 2005 special session on real parameter optimization. Tech. Rep., Nanyang Technological University (2005)

ÁREA VII EnIDI

TIC’s
Y
ELECTRÓNICA

RESÚMENES

Calibración de la Tasa de Migración para un Modelo Paralelo de Evolución Diferencial*

María Laura Tardivo[a,b,c], Paola Caymes Scutari[b,c], Miguel Mendez Garabetti[b,c], Germán Bianchini[b]

[a] Departamento de Computación, Universidad Nacional de Río Cuarto.
(X5804BYA) Río Cuarto, Córdoba, Argentina
lauratardivo@dc.exa.unrc.edu.ar

[b] Laboratorio de Investigación en Cómputo Paralelo/Distribuido (LICPaD)
Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información, Facultad Regional Mendoza,
Universidad Tecnológica Nacional. (M5502AJE) Mendoza, Argentina
pcaymesscutari@frm.utn.edu.ar, gbianchini@frm.utn.edu.ar,
miguelmendezgarabetti@gmail.com

[c] Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

Resumen. En diversas áreas de la Ciencia y la Ingeniería, existen numerosos problemas de optimización combinatoria (simulación de modelos predictivos, resolución de problemas de planeamiento o estimación de propiedades de materiales, etc.), los cuales son frecuentemente abordados por los científicos a través de diferentes herramientas computacionales, tales como el algoritmo Evolución Diferencial. Recientemente, en el marco de este trabajo, se han desarrollado dos versiones paralelas del mismo, logrando reducir el tiempo de ejecución del algoritmo clásico, y obteniendo buena calidad de soluciones. Una adecuada configuración de los parámetros de los algoritmos puede favorecer su desempeño final. Al introducir paralelismo, se hace necesaria la configuración de nuevos parámetros de control. El objetivo de esta comunicación es mostrar un estudio realizado sobre la calibración del parámetro correspondiente a la *tasa de migración*. En cierta etapa del proceso evolutivo, se realiza un intercambio de individuos entre los procesos involucrados en el cómputo. Si la tasa de migración es demasiado alta, el desempeño del algoritmo puede verse afectado debido a la sobrecarga producida por las comunicaciones. Por el contrario, si es demasiado baja, las soluciones obtenidas pueden ser de calidad pobre, dado que la migración introduce variabilidad al modelo paralelo. Este trabajo además muestra que, dependiendo del modelo comunicacional utilizado, existen ciertas características que influyen a la hora de establecer la tasa de migración, como por ejemplo, los tiempos de bloqueo entre procesos.

Palabras Clave: Evolución Diferencial, paralelismo, tasa de migración, calibración de parámetros.

* Este trabajo ha sido financiado por los proyectos PICT2010/12, UTN1585, y PRH PICT-2008-00242.

Una Aproximación Paralela para el Tratamiento Eficiente del Modelado de Flujo Vehicular en Zonas Urbanas

Paola Caymes Scutari[1], Julio Monetti[2]

[1] Laboratorio de Investigación en Cómputo Paralelo/Distribuido (LICPaD)
UTN-FRM, Rodríguez 273 (5500) Mendoza, Argentina
pcaymesscutari@frm.utn.edu.ar

[2] Grupo de Estudios sobre Dinámica Vehicular
UTN-FRM, Rodriguez 273 (5500) Mendoza, Argentina
jmonetti@frm.utn.edu.ar

Resumen. El análisis de la dinámica vehicular es una tarea compleja dada la cantidad y variedad de variables de análisis. Una forma de afrontar el mismo y poder realizar diversos análisis de sensibilidad de parámetros, es a través de las herramientas informáticas. Sin embargo, la obtención de datos es una tarea ardua y generalmente no sistematizada, para la que se han desarrollado varios algoritmos para la captura, procesamiento, e interpretación de los datos. Dado el volumen de los datos involucrados, dichas etapas poseen características intrínsecamente paralelizables que de ser explotadas permitirían acelerar el procesamiento de la información a la vez que harían una utilización más eficiente de los recursos. En el marco del presente trabajo, se han identificado mejoras que involucren características paralelas en las diversas fases del procesamiento de datos del sistema. Por un lado se propone explotar la independencia en el tratamiento de los registros de datos y los ficheros, y por otro lado se propone potenciar la eficiencia con la que se realizan consultas en la base de datos en la que el sistema almacena los puntos críticos o de interés, a partir de la definición de vecindarios y de la utilización de búsqueda en anchura y profundidad.

Palabras Clave: Paralelismo, HPC, Tránsito, Modelado, Dinámica Vehicular.

Pruebas Estructurales de Software Mediante Métodos Formales

Alejandro Vazquez[a], Carlos Olivera[a], Daniela Carbonari[a], Bruno Roberti[a], Luciano Lucero[a], Manuel Ortega[b], Alejandra Otazu[b], Luis Díaz[b]

[a] Laboratorio de Auditoría y Seguridad de TICs, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza, Rodríguez 273, (M5502AJE) Mendoza, Argentina.
avazquez@frm.utn.edu.ar, eciolivera@infovia.com.ar, dcarbonari@frm.utn.edu.ar, broberti@frm.utn.edu.ar, lucho77lu@hotmail.com

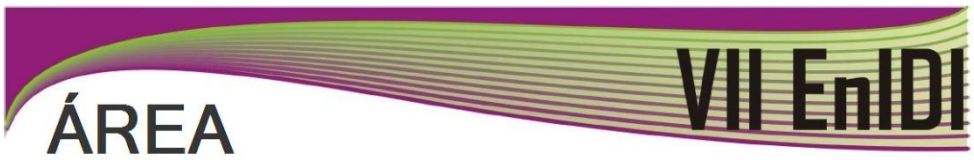
[b] Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de San Juan. Av. Ignacio de la Roza 590 (O), Complejo Universitario "Islas Malvinas", (J5402DCS), Rivadavia, San Juan, Argentina.
manuel.ortega@gmail.com, otazuale@yahoo.com.ar, luisdiazm@iinfo.unsj.edu.ar

Resumen. Un objetivo importante de la ingeniería del software es ayudar a los desarrolladores en la construcción de sistemas que operen de manera fiable a pesar de su complejidad y una forma de alcanzar este objetivo, es utilizando métodos formales.

El objetivo de la presente investigación es elaborar un método para ejecutar una prueba estructural de software con base en el algoritmo "Primero en profundidad" y la métrica de "Complejidad Ciclomática", desarrollar una herramienta gráfica que haga más intuitivo el proceso de pruebas, determinar la técnica o algoritmo metaheurístico que es más apropiado para la derivación del juego de pruebas con la metodología de "Caja Negra" que permita la ejecución de la prueba, y determinar la posibilidad de desarrollo de un oráculo de pruebas para decidir si el resultado de las mismas es aceptable o no, la cual está relacionada concretamente al problema de cómo derivar un juego de pruebas y proveer las salidas esperadas de cada caso de prueba dado

El proyecto es continuación de actividades de investigación sobre el tema que se venían desarrollando y en el presente trabajo se darán a conocer las actividades realizadas hasta el momento y los resultados obtenidos.

Palabras Clave: métodos formales, calidad de sistemas, pruebas estructurales de software, métodos de prueba, software testing.



INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJOS COMPLETOS

Análisis de las potencialidades de asociatividad de los Productores de Ciruela de Mendoza

Daniela N. Sorroche[1], Carlos A. Llorente, Felipe V. Genovese y Ricardo B. Romani

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Rafael.
Urquiza 314. San Rafael, Mendoza, Argentina.
Tel: +54 0260 4421078
[1]dsorroche@frsr.utn.edu.ar

Resumen. El entorno económico y social en el que se desenvuelve actualmente el sector agrícola demanda una mayor participación de los productores y la consolidación de sus organizaciones y formas de representación. En Mendoza, que concentra el 95% de la superficie plantada de ciruela para desecado de Argentina, de las cuales el 87% de la misma está en manos de pequeños productores quienes no superan las 5 hectáreas, resulta indispensable la asociación de los mismos en unidades comerciales de tamaño viable, eficaces e integradas, dado que, debido a su reducida escala, enfrentan dificultades para acceder a asesoramiento técnico, a financiamiento, adquisición de insumos a menor precio, venta de sus productos a mejor precio, acceso a información de actualidad, entre otros. En tal sentido, en este trabajo se presentan los resultados del análisis de las potencialidades de asociatividad entre los productores de ciruela desecada del sur de Mendoza.

Palabras Clave: asociación, productores, ciruela desecada, Mendoza.

1 Introducción

1.1 Análisis de contexto

San Rafael conforma, junto a los departamentos de General Alvear y Malargüe, la región del Sur Mendocino, la que abarca más de la mitad del territorio provincial. Ubicada a 240 Km de la Capital de Mendoza, la Ciudad de San Rafael es el segundo centro urbano más importante de la provincia.

El departamento, con una población total de 173.571 habitantes (Censo Nacional 2001) está compuesto por dieciocho distritos (Fig.1).

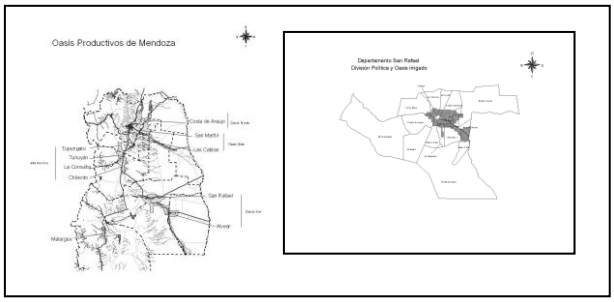


Fig. 1. Oasis productivos de Mendoza. Fuente: DEIE.

1.2 Perfil económico productivo

El sector agropecuario es uno de los más significativos económicamente para el departamento, lo cual se ve reflejado en la incidencia del mismo en el producto Bruto Geográfico del departamento (Figura 2), como así también a nivel provincial (ver Tabla 1).

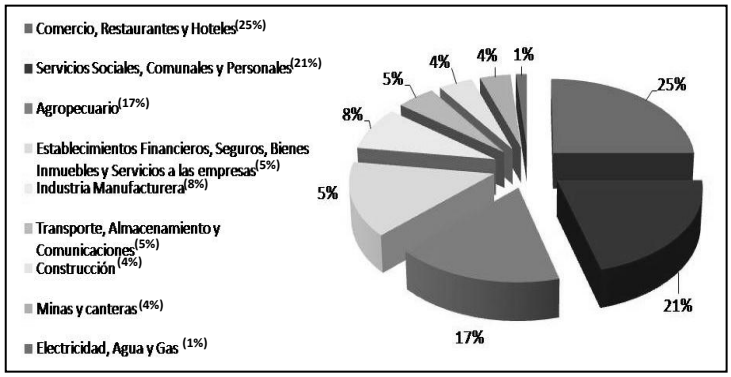


Fig. 2. Participación de los sectores económicos en el PBG departamental (en miles de pesos). Fuente: DEIE. Sistema Estadístico Municipal. 2007.

Las actividades agrícolas departamentales se desarrollan en las áreas irrigadas por las cuencas de los ríos Diamante y Atuel con una clara predominancia de dos grupos de cultivos perennes, los vitícolas y frutícolas y una menor participación de los cultivos hortícolas, forestales y forrajeros. Las principales explotaciones son de ciruelos 9.779 has, olivos 6602 has, duraznos 4.532 has, peras 1.822 has, damascos 1.203 has, membrillos 590 has, nogales 140 has y manzanos 88 has. Los viñedos ocupan 20.590 has.

Tabla 1. Producto Bruto Geográfico (en miles de pesos). Fuente: DEIE. Sistema Estadístico Municipal. 2007.

Sector	Total Provincial	Zona Sur	San Rafael	San Rafael / Mza.
Agropecuario	2.548.997	649.297	347.682	14%
Servicios Sociales, Comunales y Personales	3.693.391	603.710	422.501	11%
Establecimientos Financieros, Seguros, Bienes Inmuebles y Servicios a las empresas	3.059.375	388.142	293.333	10%
Comercio, Restaurantes y Hoteles	6.790.869	628.155	509.315	8%
Transporte, Almacenamiento y Comunicaciones	1.387.666	152.664	98.430	7%
Electricidad, Agua y Gas	471.371	37.868	27.744	6%
Construcción	1.749.458	188.809	87.281	5%
Industria Manufacturera	4.421.429	228.907	171.175	4%
Minas y canteras	6.787.806	3.773.633	78.309	1%
TOTALES	30.910.365	6.651.189	2.035.774	7%

Por otro lado, si bien el sector industrial representa sólo un 8 % en la estructura de producción económica, cabe mencionar que este sector provoca una fuerte incidencia en las exportaciones para las cuales se agrupa en dos grandes rubros: las denominadas "Manufacturas de Origen Agropecuario" (MOA - Vinos, Mostos, olivas, preparados y procesados de frutas y hortalizas) con importante predominio sobre las "Manufacturas de Origen Industrial" (MOI - Máquinas y equipos - productos plásticos - metales comunes - productos químicos).

1.3 Asociatividad y desarrollo: nuevos modelos de negocios

La globalización, la creciente competitividad de los mercados, los avances tecnológicos, los requerimientos de protección del ambiente, los cambios en la dinámica de los canales de distribución y el rol protagónico que asume el cliente han llevado a la creación de nuevos modelos de negocios. Estos modelos trascienden el dominio de una empresa, promoviendo la cooperación interempresarial a través de la creación de redes de valor agregado (CUYO EXPORTA, 2006). Es decir, la transformación requerida por las nuevas condiciones de la economía, con el fin de superar la insuficiencia de escalas individuales, se orienta a incentivar los procesos asociativos entre empresas.

Los agricultores no están ajenos a esta realidad. La incorporación de la agricultura familiar a una dinámica de desarrollo que facilite y mejore sus actuales niveles de rentabilidad y competitividad es esencial para las economías de los países. Para este fin es indispensable la asociación de los productores en unidades comerciales eficaces e integradas en unidades de tamaño viable, ya que por su reducida escala de producción, enfrentan dificultades para acceder a mercados crecientes en condiciones aceptables y, especialmente, sostenibles. No obstante, es necesario mencionar que a pesar de las bondades de esta nueva modalidad de cooperación, su viabilidad, se ve limitada por factores propios del ambiente donde se desarrolla.

En el ámbito internacional, la experiencia de actuación a través del enfoque de asociativismo es variada y con diferentes grados de éxito. En algunos casos, se han transformado en el determinante primordial del desarrollo de las regiones.

Se reconoce como uno de los principales antecedentes de la asociatividad al caso del norte italiano, más precisamente en el noroeste de Italia, donde se han llevado adelante desde la década del sesenta experiencias exitosas en materia de cooperación empresarial. En la actualidad en Italia existen cerca de 300 Consorcios para la Exportación que nuclean aproximadamente 5000 empresas. Al igual que en Italia existen experiencias exitosas en países tales como Alemania, España, Chile, Colombia, entre otros (ELIZALDE HEVIA, 2003).

En el ámbito nacional, el desarrollo de asociaciones productivas es todo un desafío puesto que suponen, en primer lugar, vencer el individualismo empresarial, característica imperante en nuestro país. Por otro lado es necesaria la interacción entre el sector público y el privado y la existencia de políticas adecuadas y apoyo institucional.

Uno de los primeros ejemplos modernos de asociatividad en nuestro país aparece con el desarrollo de los Grupos Crea. Esta experiencia cuenta con 40 años de trabajo. Otra modalidad asociativa que se viene desarrollando en nuestro país bajo la forma de

cooperación empresarial, es la relacionada con la formación de grupos empresarios orientados a alcanzar mercados externos.

Es importante destacar que en la actualidad, las experiencias en esta materia en nuestro país no han sido demasiado numerosas y no han alcanzado aún un alto grado de difusión y estímulo. Un esfuerzo a destacar en la región es la creación de la Corporación Vitivinícola Argentina Coviar, que tiene como objetivo gestionar y coordinar la implementación del denominado Plan Estratégico Argentina Vitivinícola 2020.

1.4 Los productores de ciruela para desecado en Mendoza

A mediados de la década de 1980, el sector ciruelero entró en un círculo vicioso que terminó con el abandono de gran parte de los montes. Esto se debió a que los malos precios internacionales se reflejaron en bajos precios a los productores, y los bajos precios en una reducción de las prácticas agronómicas aplicadas.

A principio de la década actual, el aumento de los precios internacionales y la posibilidad de incursionar en nuevos mercados facilitó el ingreso del sector en un proceso de mejoramiento que se manifiesta en la mayor calidad comercial de la fruta y el aumento de los precios al productor, pero esta situación no tiene un carácter estable y podría decaer en los próximos años puesto que hemos estado claramente en un mercado de déficit de producción en las dos últimas temporadas porque EEUU tuvo dos cosechas consecutivas malas y va a ser muy difícil que estos precios se mantengan.

En este marco, cuando la oferta se regularice debido a la recomposición de la cosecha de EEUU, los precios decaigan y se encuentren en producción todas las nuevas hectáreas plantadas, la demanda por parte de los industriales priorizarán a aquellos productores que cumplan con los requisitos de calidad demandada y que puedan mantenerla en el tiempo. Por tal motivo resulta imperante la necesidad de organizar el sector ciruelero generando mecanismos de asociación y cooperación para la solución de problemas comunes originados fundamentalmente por falta de escala, de manera tal mantener la rentabilidad del sector para todos los actores de la cadena de manera sostenible en el tiempo.

Con este objeto, la Provincia de Mendoza, que concentra el 95% de la superficie plantada en Argentina, se propuso crear una Asociación de Productores, quedando constituida el 26 de Septiembre de 2005 como la Asociación de Productores de Ciruela para Desecado de Mendoza.

1.5 Descripción del sector ciruela desecada

Producción primaria

Tal como se observa en la figura 3, Argentina es el cuarto productor del mundo de ciruela para deshidratar, ya que tiene una superficie de 12.864 hectáreas plantadas.

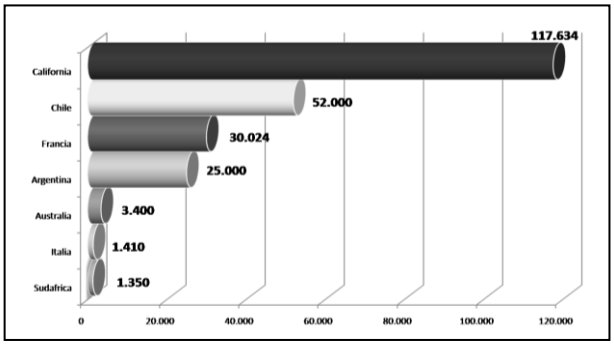


Fig. 3. Producción primaria (Tn). Fuente: IPA, 2009.

El 95% de la superficie plantada se encuentra en la provincia de Mendoza, y el 5 % restante se produce en San Juan, Neuquén y La Rioja.

Dentro de Mendoza, el 75%, unas 9598.5 hectáreas, de la superficie plantada se encuentra en el Oasis Sur (Fig. 4), de las cuales el 77% está en San Rafael con 7391 hectáreas, y el 23%, unas 2207 hectáreas, se producen en General Alvear.

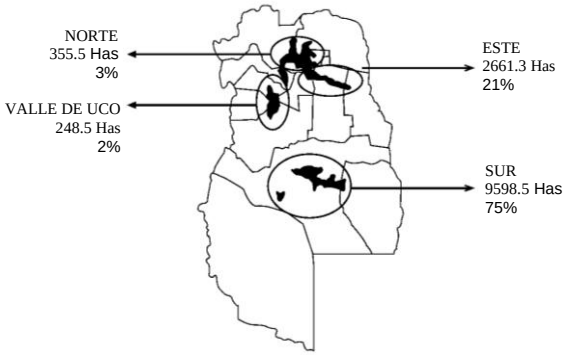


Fig. 4. Distribución de la superficie cultivada con ciruela para desecar (Has). Fuente: IDR, 2005.

No obstante la concentración de la producción nacional en la provincia de Mendoza, a nivel local la producción está atomizada en pequeños productores tal como se observa en la Tabla 2, acentuándose aún más esta situación en el oasis sur.

Tabla 2. Ocupación de las fincas productoras de ciruela para desecar. Fuente: Censo de Productores de Ciruela para Industria de Mendoza. IDR, 2005.

Tamaño de las fincas en Has.	<0.5	0.51-1	1.01-5	5.01-10	10.01-50	>50	Total
Cant. de fincas con ciruela para desecar	917	837	1.833	371	188	8	4.154
Porcentaje de fincas por estrato (%)	22,1	20,1	44,1	8,9	4,5	0,2	100,0
Sup. total ocupada con ciruela para desecar	298	772	4.876	2.713	3.583	621	12.863
Porcentaje de sup. Ocupada (%)	2,3	6,0	37,9	21,1	27,9	4,8	100

Exportaciones

Nuestro país es el tercer exportador mundial de ciruela seca (ver Fig. 5), y aún puede crecer más si se aumenta la producción y si se cumple con las exigencias de los nuevos compradores.

Tradicionalmente, el principal comprador era Brasil con más del 85% del total, que correspondía a la ciruela tipo americana con carozo.

En los últimos años, el mercado se ha ampliado y bajó la participación de Brasil en el total de lo vendido, pero no porque este país comprara menos, sino porque se vendió más a otros países.

Los nuevos países compradores son por ejemplo España, Francia y Alemania, que consumen principalmente con ciruela tiernizada, con y sin carozo, de calibres medios a grandes, y algunos países del este europeo como Lituania, Estonia, Polonia, Letonia y Rusia, con el mismo tipo de producto pero de calibres pequeños y/o con defectos provocados por el granizo.

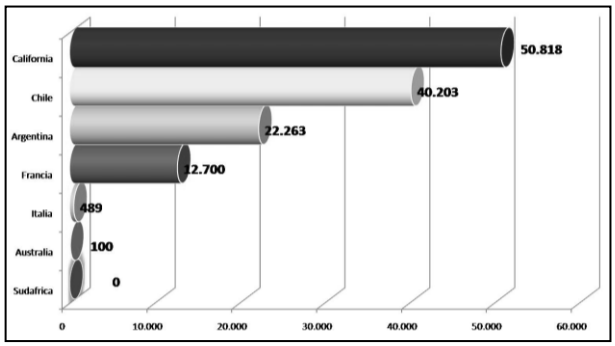


Fig. 5. Exportaciones de ciruela desecada (Tn). Fuente: IPA, 2009.

Consumo

El principal consumidor de ciruela desecada es California con 60.655 toneladas por año, seguido por Francia con 29.100 tn/año, valores que analizados en gr/hab/año, alcanzan a 540 gr/hab/año en Francia y 330 gr/hab/año en EEUU.

Argentina no tiene hábito de consumo del producto, limitándose a utilizarlo en compotas. El total de 40 gr/hab/año representa de 1.000 a 1.400 ton., lo cual medido en ciruelas corresponde a 3 ciruelas pasas por hab/año (Ver Fig. 6).

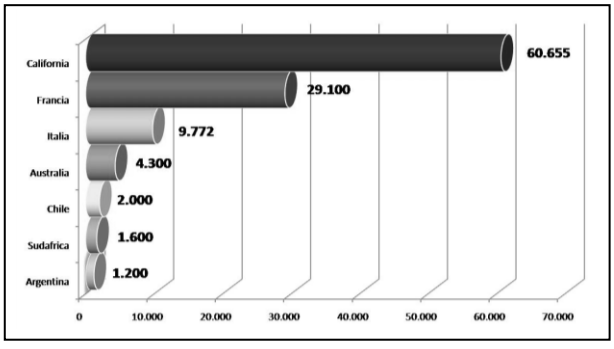


Figura 6. Consumo Interno (%) Fuente: IPA, 2009.

Diagnóstico del sector

En virtud de lo expuesto anteriormente, se puede decir que en este momento la producción de ciruela desecada se encuentra en un período de expansión debido a las mejores condiciones del mercado y a la recuperación de los montes productivos.

Por otra parte, el sector es sumamente importante para la economía mendocina dado su nivel de exportación. Además, la disminución de la oferta mundial de ciruela seca por erradicación de montes en los principales países productores colocaría a la Argentina en una posición estratégica si el producto se adecuara a las exigencias del mercado internacional (IDR, 2006).

Fortalezas

- Mendoza concentra más del 90% de la producción nacional
- El producto es no perecedero
- Buenas condiciones agroclimáticas
- Posibilidades agroecológicas para lograr productos orgánicos
- Producto benéfico para la salud
- Disponibilidad de información estadística

Debilidades

- Venta de ciruela fresca por parte de los productores
- Atomización de la producción de ciruela a nivel local
- Inexistencia de contratos entre productores e industriales que regulen la calidad y la forma de pago
- Escasa difusión de las características organolépticas y beneficios para la salud
- Exportación de los productos con un bajo valor agregado
- Ausencia de estrategias de marketing y promoción empresarial
- Falta de diversificación de los productos terminados (confituras, utilización en alimentos energéticos, etc)
- Carencia de estándares de calidad
- Accidentes climáticos
- Escaso consumo en el mercado interno

Oportunidades

- Apertura de nuevos mercados
- Integración a la IPA (International Prune Association – Asociación Internacional de Productores de Ciruela)
- Escaso consumo en el mercado interno e introducción a nuevos mercados a nivel internacional
- Competitividad en el mercado internacional por menores costos de producción
- Disminuciones en las producciones a nivel mundial (EEUU) en los últimos años

Amenazas

- Barreras paraarancelarias
- Subsidios a la producción y transformación en mercados del hemisferio norte
- Presencia de un competidor muy fuerte en el hemisferio sur (Chile)
- Caída del precio (por aumento de la oferta)

2 Desarrollo

2.1 Investigación documental de experiencias asociativas exitosas

Para el caso se analizaron fuentes secundarias (ver referencias) con el objeto de aumentar el espectro de conocimiento en el tema, a través de la confección de fichas bibliográficas, hemerográficas y de trabajo, utilizando éstas últimas para transcribir la información bibliográfica y hemerográfica del material de referencia.

2.2 Investigación de campo de experiencias asociativas exitosas

En toda experiencia asociativa existen factores que facilitan y otros que obstaculizan su desarrollo, los cuales varían tanto por las características propias de los productores como por el entorno político, social y económico en el cual se desarrolla la experiencia.

En este sentido, con el objeto de visualizar tendencias y problemáticas para con el asociativismo de productores con entornos similares, por ejemplo que pertenecen a una misma zona árida, que se encuentran en un marco de similitud de reglas de juego, semejanza de niveles culturales, prácticamente iguales condiciones geopolíticas, se estudiaron además, a través de entrevistas y talleres, tres casos asociativos significativos en la Provincia de Mendoza, tales como la Cooperativa Vitivinícola Argentina (COVIAR), en la cual los productores e industriales vitivinícolas mendocinos tienen una fuerte participación por ser esta provincia una de las principales productoras de vinos del país, la Asociación de Apicultores del Sur de la Provincia de Mendoza (APISUR) y la Asociación de Productores de Durazno de Mendoza (APDM).

2.3 Recopilación y análisis de información del comportamiento de los productores de ciruela, como caso de estudio

La recopilación y análisis de información del comportamiento de los productores de ciruela para desecado de Mendoza se realizó a través de un formulario, previamente preparado, basado en preguntas cerradas, con algunas opciones abiertas y opciones por categorías.

La muestra se construyó de forma probabilística, estratificada, cuyos estratos fueron determinados según la siguiente escala, en virtud de la cantidad de hectáreas de producción: Pequeño productor (P): 0 – 5 Hectáreas; Mediano Productor (M): 6 – 20 Hectáreas y Gran Productor (G): más de 20 Hectáreas.

Cantidad de encuestas por estrato

P (0-5 Has.)	M (6-20 has)	G (> 20)
95	13	2

3 Resultados

3.1 Investigación documental de experiencias asociativas exitosas

La investigación documental acerca de investigaciones realizadas sobre la materia, permitió identificar varios trabajos interesantes realizados en distintos países de América Latina tales como Chile (ODEPA, 2004), Bolivia, Ecuador, Perú, Colombia, Honduras y San Salvador, como así también en Argentina, cuyos principales resultados se exponen a continuación.

El estudio realizado por la Plataforma Ruralter a lo largo del año 2004 y 2005, sobre el tema de las Empresas Asociativas Rurales (EMARs), en 7 países de Latinoamérica, con la finalidad de reconocer en base a 35 estudios de casos de EMARs exitosas, los factores de éxito y con ello alimentar el diseño de estrategias y políticas futuras, concluyó que las experiencias realmente exitosas y en cierto grado de consolidación son realmente pocas a pesar de la cantidad de programas de fomento que se han implementado (RURALTER, 2005; RURALTER, 2007).

A pesar de las diferencias del entorno, el estudio demuestra que los factores de éxito para las EMARs son similares en todos los países estudiados, lo que se agrupa básicamente en tres temas:

1. El proceso de una Empresa Asociativa Rural se puede volver sostenible únicamente si hay un anclaje adecuado y dinámico a una demanda específica del mercado con precios atractivos, y ventajas comparativas para los pequeños productores, que permiten que todos los esfuerzos e inversiones de los/as productores/as tengan una retribución en beneficios de diverso tipo (ingresos, acceso a mercados, servicios, seguridad, etc.).
2. El desafío de la asociatividad de los pequeños productores para acceder de mejor forma al mercado es evidente y se ratifica en todos los casos. Requiere de un equilibrio entre los beneficios para los socios – productores y la rentabilidad de la empresa. Esto es automático y requiere de una estrategia orientada a la construcción social, a la gestión socio-organizativa: incluyendo aspectos como: liderazgo, motivación, comunicación e información, concertación, manejo de conflictos, normas consensuadas, es decir una estrategia de construcción de capital social.
3. Tampoco se puede alcanzar el éxito quedándose solamente en este ámbito de la asociatividad. Se requiere al mismo tiempo una gestión empresarial moderna y liderazgo de la empresa a nivel técnico-productivo, administrativo y comercial. Esto implica contar con personal profesional y preparado, lo que implica costos de funcionamiento que solo son posibles de asumir para empresas con cierta dimensión.

Esta experiencia permitió identificar 10 factores centrales de éxito, los cuales están interrelacionados entre si y se enmarcan de alguna forma en los 3 grandes temas mencionados arriba. Estos factores son:

1. Inserción cercana y estable en mercados diferenciados (productos, financiero, tecnológicos, servicios, etc.).
2. Rubros rentables para la pequeña agricultura (ventajas comparativas) y aprovechamiento de nichos de mercados.

3. Desarrollo permanente de la innovación, la competitividad, escala apropiada y la participación en actividades creadoras de valor.
4. Proceso asociativo con liderazgo (legitimidad interna y externa, renovación generacional, confianza) en condiciones propicias y voluntad interna.
5. Gestión profesional e información actualizada de mercados y, flexibilidad para adaptarse y reaccionar a sus cambios.
6. Funcionamiento democrático de la empresa (Reglas del juego internas compartidas, transparencia, comunicación, principios, disciplina, sanciones, capacidad de control).
7. Equilibrio en beneficios de los socios en su rol individual como proveedores y como socios miembro de un colectivo (acumulación social de la empresa).
8. Capacidades de captar subsidios externos iniciales (públicos o privados) y generar acumulación propia.
9. Capacidad de desarrollar alianzas, y formas de asociación con diferentes agentes del mercado.
10. Entorno favorable (infraestructura, institucional, marco legal, normativo, instrumentos de fomento, etc.).

Estos 10 factores de éxitos identificados, no son factores fáciles de conseguir y por lo tanto la probabilidad de éxito de este tipo de empresas resulta ser muy reducida. Sin embargo los casos exitosos estudiados demuestran que este tipo de empresas pueden ser instrumentos muy valiosos de lucha contra la pobreza ya que pueden contribuir de manera significativa en el mejoramiento de los ingresos de sus socios, no solamente por el mejoramiento de las condiciones de comercialización (precios) pero también por una serie de servicios anexos (asistencia técnica, crédito, seguros, etc.) que pueden desarrollar estas empresas en pro del desarrollo de sus socios.

Considerando que promover la creación y consolidación de una Empresa Asociativa Rural es todo un reto, se debería orientar los escasos recursos disponibles para este tipo de proyecto a los sectores que tienen mayor probabilidad de salir adelante con tales propuestas. Por todas las razones antes señaladas consideramos que este tipo de iniciativas requieren de condiciones previas que no reúnen todos los pequeños productores rurales. Entre las condiciones previas más importantes consideramos:

- Productos con nichos de mercados diferenciados que permiten generar precios e ingresos más altos.
- Productores con volúmenes de producción que permiten alcanzar rápidamente una masa crítica exigida por el mercado.
- Socios fundadores con capacidad de asumir un mínimo de riesgos económicos, lo que implica que generalmente no son las familias en situación de mayor pobreza.
- Productores que han sido vinculados a experiencias socio-organizativas previas y que tienen lazos de confianza.
- Presencia de líderes con legitimidad y capacidad de convencimiento y de gestión
- Zonas rurales que benefician de un entorno socio-económico que sea mínimamente favorable con accesos a carreteras, servicios básicos (luz, teléfono, agua potable), posibilidades de articularse con otros actores de la cadena, paz social.

El alcance de la intervención de la EMAR en la cadena deberá dimensionarse en función a la capacidad real de los actores involucrados. El liderazgo es vital en este tema y debe permitir evaluar la capacidad de gestión del grupo, y empujarlos a

aceptar retos alcanzables y establecer las alianzas necesarias para asumir otras tareas (de la cadena) difícilmente alcanzables.

También es importante que estas iniciativas puedan tener acceso a fuentes de subsidio y a un apoyo técnico durante un periodo mínimo que será calculado en función del alcance del punto de equilibrio de la empresa. Muchos fracasos ocurren por los plazos demasiado cortos de los proyectos de la cooperación o de las entidades de apoyo que no se ajustan a los plazos mínimos para que la EMAR pueda alcanzar su punto de equilibrio.

Frente a la complejidad que representa la creación de Empresas Asociativas Rurales, se considera que estas iniciativas deben tener un tamaño que asegure un nivel de impacto significativo sobre el entorno local. No cuesta mucho más promover empresas asociativas de carácter mediano o grande que empresas de carácter micro mientras los resultados son más aceptables desde el punto de vista costo / beneficio.

Por otra parte, Jorge Echenique, en su estudio sobre factores de éxitos de empresas asociativas rurales chilenas, define un total de cinco factores que fueron identificados como las causales de éxito con mayor frecuencia en las empresas estudiadas, aunque estos tienen diferente jerarquía o nivel de importancia (ECHENIQUE, 2005). Los dos primeros pueden considerarse como los principales, en el sentido que se repiten en todos o casi todos los casos y son, además, diferenciadores respecto a los elementos observados en los casos no exitosos, a saber:

1. Adecuada inserción en mercados más estables y relación cercana con los mismos.
2. Profesionalización en la gestión administrativa, comercial y técnica.
3. Compromiso asociativo
4. Inversiones y capital de trabajo, con apoyo externo
5. Flexibilidad y capacidad de adecuación

En el caso de los productores frutícolas de la norpatagonia que han participado en experiencias asociativas con el objeto expreso de la asociación para la comercialización conjunta (ALEMANY, 2003), en el marco del programa Cambio Rural[1], los factores propios de los chacareros y de las políticas públicas aplicadas en la región que permitieron avances concretos de experiencias asociativas, son:

1. El capital social[2] alcanzado por algunos chacareros, -que se nutre de la energía de las relaciones, redes y vínculos sociales para satisfacer propósitos de

[1] Cambio Rural: una propuesta de intervención pública innovadora. De la nueva política de intervención nacional, el Programa Federal de Reconversión Productiva para la Pequeña y Mediana Empresa Agropecuaria "Cambio Rural", constituye el intento más ambicioso del Estado para facilitar a los pequeños y medianos productores su participación en procesos de reconversión productiva y su adaptación a las nuevas reglas del juego impuestas por el ajuste estructural y el tipo de inserción elegido por Argentina en el mundo globalizado. Cambio Rural se creó el 4 de mayo de 1993, y sus objetivos específicos más relevantes fueron: capacitar y entrenar a los actores sociales responsables de viabilizar los cambios necesarios en el ámbito de las Pymes agropecuarias; asistir al productor agropecuario en todos los aspectos vinculados con la intensificación y/o reconversión productiva e integración al desarrollo agroindustrial; crear condiciones básicas que promuevan y faciliten el financiamiento del desarrollo agropecuario; generar capacidad intelectual, organizacional y operativa para consolidar e institucionalizar el proceso de cambio (INTA, 1993).

[2] Entendiendo por capital social, como la acumulación de vínculos asociativos que se han construido entre los miembros de una sociedad, dentro de lo que permiten sus marcos organizacionales e institucionales. De esta manera, se concibe al capital social como los aspectos de la organización social, tales como la confianza, las reglas y las redes que mejoran significativamente la eficiencia de la sociedad y ayudan a superar los dilemas de la acción colectiva (Putnam,1993).

supervivencia, reproducción y calidad de vida-, es fundamental como elemento movilizador de la acción colectiva (BERDEGUE, 2000).
2. A través de la reflexión permanente sobre la gestión colectiva se aumentan las capacidades de los actores que permiten mejorar procesos de autogestión, negociación y reapropiación de instrumentos para su empoderamiento, y el desarrollo de nuevas vinculaciones institucionales, redes y relaciones sociales y el fortalecimiento de las preexistentes.
3. Algunas políticas públicas pueden actuar como facilitadoras de procesos de construcción de capital social de actores subordinados.

Asimismo, los obstáculos percibidos por los chacareros sin duda, tienen que ver con las condiciones contextuales –destacan la falta de apoyo económico, impositivo, crediticio y fiscal a la asociación de productores para la comercialización, como las complejidades jurídicas que obstaculizan el agrupamiento-, pero también hacen referencia a las dificultades propias de los productores familiares de la región para poder concretar experiencias asociativas "...lo que pasa con nosotros los chacareros, es que siempre fuimos terriblemente individualistas....", "....los galponeros nos engañan y dividen como a los chicos", "....en el fondo desconfiamos más entre nosotros, que en el que finalmente nos roba.....".

3.2 Investigación de campo de experiencias asociativas exitosas

La investigación de campo de experiencias asociativas de productores con entornos similares exitosas, nos permitió identificar los siguientes elementos causales de sus fortalezas y buenos resultados:
1. Fuerte liderazgo, legítimo y visionario.
2. La presencia de al menos un profesional en el equipo de gestión empresarial, autofinanciado por la asociación.
3. La obtención de recursos externos, subsidios, acceso a créditos, etc.
4. El desarrollo de vínculos y mecanismos de articulación con organizaciones intermedias vinculadas al sector, con quienes han realizado actividades de asistencia técnica, capacitación, etc.
5. Políticas sectoriales de fomento e incentivo a la asociatividad (instrumentos legales, líneas de financiamiento, entre otros).

No obstante, la construcción de una cultura asociativa al interior de estas Asociaciones no ha sido un proceso fácil. La superación de las desconfianzas, la instauración de estructuras y normas para administrar y resolver los conflictos, la superación de las tensiones entre los intereses individuales de los socios y la generación de excedentes sociales para asegurar la sustentación de la asociación, son entre otros, los logros posibilitados por la vigencia de un compromiso asociativo entre los afiliados a las mismas.

3.3 El caso de los productores de ciruela del sur de Mendoza

El estudio realizado a los productores de ciruela para desecado de Mendoza, en particular, nos permitió identificar los siguientes factores que influyen negativamente en el proceso asociativo de los mismos:
- Ausencia de líderes legítimos.

- Los productores no participan en las reuniones.
- La comisión directiva carece de una gestión organizativa eficaz.
- Sólo se interesan en participar cuando las condiciones del mercado son desfavorables.
- Temor y dudas ante lo desconocido.
- Falta de financiamiento para llevar adelante las tareas propias de la Asociación.
- Los productores no se sienten representados por las autoridades de la Asociación.
- Ausencia de una ley que regule el sector.
- Temor a ser controlado por los demás.
- Falta de capacitación y "gimnasia" para el trabajo en Equipo.
- Falta interrelación con otras organizaciones para acciones comunes.
- Conflictos entre los socios.
- Prejuicios asociativos por anteriores frustraciones.
- Temor a tomar decisiones fuera del ámbito familiar.
- Temor a exponerse ante otras personas.
- Influencia negativa a partir de "consejos" de terceros.

Sin bien la mayoría no ha participado activamente en actividades asociativas de ninguna índole, tienen fuertes prejuicios respecto de éstas. Este es el caso del setenta y nueve por ciento (79%) de los productores encuestados. No obstante, manifestaron considerar la posibilidad de asociarse en caso de que la Asociación en cuestión les brinde los siguientes servicios, según orden de importancia:

- Capacitación
- Acceso a mayor información del mercado
- Apoyo en la comercialización de los productos
- Facilidades para la compra de insumos
- Acceso a créditos agropecuarios
- Acceso a financiamiento de proyectos
- Asistencia técnica
- Representatividad frente a terceros

4 Conclusiones

La experiencia de actuación a través del enfoque de asociativismo es variada y con diferentes grados de éxito. En algunos casos se han transformado en el determinante primordial del desarrollo del sector productivo involucrado.

Dado el nivel de desorganización e incertidumbre que actualmente existe en el sector ciruelero de Mendoza, resulta imperante la necesidad de organizar el sector generando mecanismos de asociación y cooperación para la solución de problemas comunes que permitan la consolidación del mismo dentro del esquema nacional e internacional.

Los productores de ciruela de Mendoza han desarrollado tradicionalmente un espíritu competitivo. En consecuencia, esta falta de cultura asociativa es el principal inconveniente para consolidar la Asociación de Productores de Ciruela para Desecado de Mendoza.

A la fecha la asociación de productores de ciruela para desecado de Mendoza carece de líderes legítimos y con capacidad de convencimiento y de gestión, factor clave de éxito para el desarrollo de este tipo de emprendimientos.

Así mismo, sus socios fundadores no poseen capacidad, a lo que agregaríamos verdadera intención, de asumir un mínimo de riesgos económicos.

El mercado objetivo de esta actividad no se trata de uno cercano, ni estable.

Estos son, por citar sólo algunos, los factores claves de éxito identificados en la presente investigación, que aún no reúnen los productores de ciruela para desecado de Mendoza.

5 Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a los alumnos Denis Guardia y Andrés Juárez Rodríguez por su participación en el trabajo y a los Ingenieros Constanza Gil y Damián Sorroche, por su colaboración.

6 Referencias

1. Publicación oficial de la Cámara de Comercio Exterior de Cuyo: CUYO EXPORTA, Nº84, 12-15, Mayo/Junio 2006.
2. Elizalde Hevia, Antonio. Planificación estratégica territorial y políticas públicas para el desarrollo local. En: Serie gestión pública / Comisión Económica para América Latina y El Caribe No. 29. Santiago, Chile (2003).
3. International Prune Association (IPA). estadísticas anuales de producción y comercio, 2009.
4. Instituto de Desarrollo Rural (IDR). Plan estratégico de la ciruela desecada 2006. Comité Provincial de la Ciruela Desecada. Mendoza (2006).
5. Oficina de estudios y políticas agrarias (ODEPA). Inserción de la agricultura chilena en los mercados internacionales. Documento de trabajo, Serie Comercio Exterior. Santiago, Chile (2004).
6. RURALTER. Camacho Patricia (Intercooperation), Marlin Christian (SNV) y Zambrano Carlos (RURALTER). Estudio regional de factores de éxito de empresas asociativas rurales. Plataforma Regional Andina. Quito, Ecuador (2005).
7. RURALTER. Camacho Patricia (Intercooperation), Marlin Christian (SNV) y Zambrano Carlos (RURALTER). Elementos orientadores para la gestión de empresas asociativas rurales - EMARs. Plataforma Regional Andina. Quito, Ecuador (2007).
8. Echenique L., Jorge. Estudio Regional Andino sobre factores de éxitos de empresas asociativas rurales. BID (2005).
9. Alemany, Carlos. Políticas públicas y experiencias asociativas de los chacareros en la norpatagonia. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Buenos Aires, Argentina (2003).
10. Berdegué, Julio. Cooperando para competir factores de éxito de las empresas asociativas campesinas. Red internacional de metodología de investigación - sistemas de producción. (2000).

Programa de Desarrollo Distrital del Oasis San Rafael: diseño metodológico de diagnóstico y planificación. Estudio de caso.

Felipe Genovese[a], Andrea Roldán[a], Daniela Sorroche[a]

[a] Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Rafael.
Urquiza 314. San Rafael, Mendoza, Argentina.
Tel: +54 02627 421078
fgenovese@frsr.utne.edu.ar, aroldan@frsr.utn.edu.ar; dsorroche@frsr.utn.edu.ar

Resumen. En los dos últimos años, la Provincia de Mendoza, Argentina, ha venido trabajando en la planificación estratégica provincial, para lo cual sancionó la Ley Provincial N°8051/2009. En el marco de esta ley, cada Municipio debe definir sus propias estrategias de desarrollo, de acuerdo a particularidades, recursos, necesidades y visiones concertadas bajo el manto de las estrategias provinciales.
El Programa de Desarrollo Distrital del Oasis San Rafael surge entonces con el objeto de brindar herramientas para la elaboración del citado plan, que permitan la identificación de líneas de acción prioritarias, que contribuyan a la organización del equipamiento e infraestructura, a una evolución positiva del capital social, local y regional, necesarios para cada uno de los distritos, y por ende del Departamento San Rafael en su conjunto.
Dada la extensión del territorio, a los efectos del trabajo se llevó adelante un estudio de caso de tal modo de aplicar la metodología proyectada a los efectos de su evaluación, y desarrollar una herramienta como insumo de conocimiento, para posteriormente hacerlo extensivo al resto de los distritos de la zona irrigada del departamento, debiendo ajustarse luego a las características de los ubicados en la zona desértica o de secano.

Palabras Clave: desarrollo territorial, desarrollo local, Mendoza.

1 Introducción

Argentina es el segundo país más extenso de América Latina después de Brasil, con una superficie de 2.767.000km2. Tiene un volumen de población de 38,4 millones de habitantes y la densidad de población es significativamente baja, registrando 13 habitantes por km2. Se caracteriza por ser un país macro cefálico, con una concentración de la población en la capital, donde se registran 13 millones de habitantes, es decir aproximadamente el 34% de la población total. Es una república federal, constituida por 23 estados y la capital federal (Ciudad Autónoma de Buenos Aires). Este sistema de organización administrativa configura la centralización del poder político, económico y social en la capital.

A diferencia de la mayoría de los países latinoamericanos, el 95 % de su población es de raza blanca, con un 85% de descendientes de europeos (principalmente de italianos y españoles). Sus raíces culturales europeas se ven reflejadas en su arquitectura, música, literatura y estilo de vida.

Argentina mantiene una dualidad económica y social, que se observa en el denominado cinturón del Gran Buenos Aires y en las provincias del noroeste y noreste del país, que son las zonas con menor índice de desarrollo.

En estos momentos el principal desafío es la reducción de las desigualdades de renta, la cohesión social, la erradicación de los desequilibrios regionales y la garantía de la inclusión social de la población más desfavorecida.

Por su parte, la Provincia de Mendoza cuenta con una vasta superficie (148.827 km2). Según el último censo (año 2001), su población es de 1.474.961 habitantes. En la zona del Gran Mendoza residen más del 54% del total de los habitantes. Sólo el 19% habita en la zona montañosa y áreas rurales. La transformación de esta tierra árida en oasis se debe a la mano del hombre. Los primeros habitantes, los Huarpes, desarrollaron sobre su suelo, los canales de riego que aún hoy proveen de vida a todo su territorio y que con el correr del tiempo han ido ampliándose y dotándose, a través de tecnologías, de otras aplicaciones, como la generación de energía eléctrica.

La idiosincrasia de sus pobladores y la riqueza de su geografía, la ubican entre las regiones argentinas con mayor desarrollo humano.

Su territorio se encuentra dividido políticamente en 18 departamentos que por las diferencias o similitudes geográficas poseen realidades socio económicas heterogéneas.

En los dos últimos años, la Provincia de Mendoza, Argentina, ha venido trabajando en la planificación estratégica provincial, para lo cual sancionó la Ley Provincial N°8051/2009, la cual prevé tres etapas consecutivas de acciones de planificación:

a) Elaboración del Plan Estratégico Provincial, a ejecutar por el órgano ejecutivo de la provincia.
b) Plan de Ordenamiento Territorial de la Provincia, a ejecutar por el órgano ejecutivo de la provincia.
c) Los Planes Municipales de Ordenamiento Territorial, a ejecutar por el órgano ejecutivo de los municipios, para luego definir programas y proyectos específicos.

En el marco de esta ley, actualmente la provincia se encuentra en la fase de diagnóstico, para posteriormente, a través del Poder Ejecutivo Provincial, elaborar su Plan Estratégico de Desarrollo y a partir de él su Plan de Ordenamiento Territorial, a los cuales deben ajustarse los municipios con sus planes de ordenamiento territoriales.

Dado que cada municipio debe definir sus propias estrategias de desarrollo, de acuerdo a particularidades, recursos, necesidades y visiones concertadas bajo el manto de las estrategias provinciales, el Programa de Desarrollo Distrital del Oasis San Rafael surge con el objeto de brindar herramientas para la elaboración del citado plan, que permitan la identificación de líneas de acción prioritarias, que contribuyan a la organización del equipamiento e infraestructura, a una evolución positiva del capital social, local y regional, necesarios para cada uno de los distritos, y por ende del Departamento San Rafael en su conjunto.

En virtud de que el Departamento San Rafael, en la Provincia de Mendoza, está constituido geopolíticamente de dieciocho distritos (Ciudad, El Cerrito, El Sosneado,

Cuadro Nacional, Las Malvinas, Las Paredes, La Llave, El Sosneado, Cuadro Benegas, Cañada Seca, Goudge, Jaime Prats, Monte Comán, Rama Caída, Real del Padre, Punta del Agua, Villa Atuel y Villa 25 de Mayo) de acuerdo a la organización institucional emanada de la Carta Orgánica Provincial y que dependen institucionalmente del municipio, lo que se persigue entonces a través de este proyecto es aportar al desarrollo metodológico de diagnóstico y de planificación a los efectos de considerar las particularidades de cada uno de los distritos del departamento, de tal modo de identificar las necesidades y definir las estrategias de desarrollo de los distritos, que sumados a la visión del conjunto den forma al Plan Estratégico de Desarrollo del Departamento, y en base a él definir el Plan Municipal de Ordenamiento Territorial del Departamento San Rafael.

Dada la extensión del territorio, a los efectos del trabajo se llevó adelante un estudio de caso de tal modo de aplicar la metodología proyectada a los efectos de su evaluación, y posteriormente hacerlo extensivo al resto de los distritos de la zona irrigada del departamento, debiendo ajustarse luego a las características de los ubicados en la zona desértica o de secano.

2 Desarrollo

En el trabajo se incorpora los fundamentos y marco teórico que hacen a la planificación del desarrollo local territorial y rural, relacionándolo con las instancias y características de nuestra zona, en especial de la rural distrital, que conjuga el objeto del trabajo, considerando las instancias del contexto institucional departamental, la significancia de los aspectos intangibles, las condiciones tangibles y de sustentabilidad ambiental, como así también el tema de participación y concertación de prioridades y de acciones.

La metodología desarrollada considera como dimensiones de análisis las que han sido acordadas en el diagnóstico del PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA PROVINCIA DE MENDOZA el cual plantea un abordaje integral de la realidad de los departamentos de la citada provincia. Con ello se pretende superar los enfoques sesgados o parciales que sólo logran aproximaciones limitadas, incompletas o fragmentarias al conocimiento de la complejidad y diversidad de elementos que definen el diagnóstico, así como de los factores que intervienen en la proyección de sus potencialidades y posibilidades de desarrollo en el mediano y largo plazo. En virtud de esto, se pretende alinear y fortalecer el citado plan desagregando las dimensiones de estudio definidas, a nivel distrital.

En este sentido, en cuanto a la materia que constituye el objeto de análisis, se consideran, incluyen e integran todos los aspectos relevantes de la realidad departamental para el desarrollo distrital, organizándolos en cuatro dimensiones: (1) la dimensión del desarrollo humano y social, (2) la política e institucional, (3) la dimensión ambiental territorial y (4) la dimensión económica y productiva.

Dimensión del desarrollo humano y social. Tal dimensión asocia el desarrollo directamente con el progreso de la vida y el bienestar humano, con el fortalecimiento de capacidades relacionadas con todas las cosas que una persona puede ser y hacer en su vida en forma plena y en todos los terrenos. Los grandes temas que involucra este

ítem son: cultura, salud, educación, vivienda, identidad, seguridad social, integración comunitaria y asociativismo.

Política e institucional. Esta dimensión se refiere al conjunto de interacciones estables a través de las cuales se ejerce la política en un contexto limitado. Está formada por agentes, instituciones, organizaciones, comportamientos, creencias, normas, actitudes, ideales, valores y sus respectivas interacciones, que mantienen o modifican el orden político y social de una comunidad. Abarca los siguientes temas: política, participación ciudadana, gobierno, justicia, legislación y liderazgo.

Dimensión ambiental territorial. Esta dimensión implica las temáticas relacionadas a las infraestructuras existentes que posibilitan el desarrollo territorial, su vinculación con el mismo, los requerimientos de nuevas infraestructuras, su estado y mantenimiento, como así los requerimientos para posibilitar las potencialidades de desarrollo del territorio. Asimismo se refiere a la sustentabilidad de los recursos naturales, el ecosistema, la utilización sostenible de los recursos existentes, deteniendo los procesos de deterioro de los mismos y propiciando la restauración de los que se encuentran en procesos de degradación. Es decir satisfacer "las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las propias".

Dimensión económica y productiva. Esta dimensión comprende los hechos que incentivan o fomentan innovaciones e inversiones con el propósito de crear un eficiente sistema de producción y un sistema de distribución para los bienes y los servicios. Incluye los siguientes ítems: empleo, marcos regulatorios, producción, comercio, industria, turismo, financiamiento/crédito, inversión, estructura impositiva, innovación o novedades tecnológicas.

Esta perspectiva multidimensional pretende ser eficazmente abarcativa, no sólo desde el punto de vista del conjunto de elementos y factores de la realidad que se incorporan al proceso planificador, sino también y principalmente desde la comprensión de los vínculos e interrelaciones que entre ellos se establecen.

Definidos el marco teórico y la metodología, y considerando que la planificación requiere tener presente las características generales y particulares del territorio, se realizó una descripción general del Departamento San Rafael, avanzando luego sobre el diagnóstico del distrito seleccionado.

Con el objeto de desarrollar una Metodología de Planificación de Desarrollo Distrital que pueda ser transferida a otros casos, las características del distrito seleccionado como caso de estudio debe permitir una generalización analítica de los resultados.

En este sentido, se realizó la evaluación de cada uno de los distritos que conforman el departamento a través de una matriz de ponderación, considerando lineamientos generales de las cuatro dimensiones de análisis que constituyen el eje conceptual del estudio: social – desarrollo humano, política – institucional, territorial – ambiental y económica – productiva; análisis que nos permitió captar adecuadamente la heterogeneidad y el rango de variación existente entre las situaciones y realidades particulares de cada distrito.

El resultado del presente ejercicio nos arrojó que el Distrito Goudge, como caso de estudio, manifiesta una condición generalista, de modo tal que los resultados del estudio del mismo pueden extrapolarse a otros que presentan condiciones teóricas

similares, tales como El Cerrito, Rama Caída, Cuadro Nacional, Cuadro Benegas, Cañada Seca, Las Malvinas, Real del Padre, La Llave, Jaime Prats y Villa Atuel.

Por su parte, los distritos Villa 25 de Mayo, Punta del Agua, Monte Comán, El Sosneado y El Nihuil, fueron identificados como casos distintivos, con realidades muy específicas. Así mismo, el Distrito Ciudad, presenta las características propias de la mayor concentración poblacional del departamento, como consecuencia de su rol de cabecera departamental, situación que está avanzando sobre el Distrito Las Paredes, ubicado al oeste de la misma. Estos casos particulares, que se desvían de las generalizaciones, ameritan ser estudiados específicamente con el objeto de obtener información sobre éstos como casos atípicos.

En síntesis, GOUDGE fue el distrito seleccionado como caso de estudio.

Con el diagnóstico realizado, se elaboró la planificación de desarrollo distrital, considerada como preliminar, puesto que no se llevaron a cabo las acciones de internalización y pertinencia, concertación, y definiciones de responsabilidades y roles, con los locales y con las instituciones intervinientes de carácter público y privado. No obstante ello, avanzamos en la proposición de metodología de implementación, en la definición preliminar de la visión, de los programas y de los proyectos, en los fundamentos de los pasos siguientes como la validación comunitaria, y una vez definido y puesto en marcha, el financiamiento, la observación y el seguimiento.

Como el carácter del trabajo es aportar a una metodología de implementación para la planificación del desarrollo en áreas rurales distritales, se elaboraron además algunas reflexiones y recomendaciones generales, considerando los criterios generales de implementación, y relacionándolos con las características locales de la sociedad y de su institucionalidad, a los efectos de posibilitar a los posibles ejecutores una visión general del desafío que significa aportar al desarrollo rural sostenible, y de las potencialidades que este tipo de acciones implican sobre todo en la reducción de la pobreza y en el anhelo de lograr de mejores condiciones de vida para la población rural.

3 Resultados: Plan Territorial Preliminar

3.1. Metodología propuesta

Se planteó una metodología de interacción con los pobladores y referentes, a llevar a cabo por un grupo de acción local y de técnicos especialistas, que posibiliten el desarrollo de los documentos y la participación efectiva. La formación de estos grupos se plantea se organice en cada zona, para que diseñen los programas y proyectos que sean priorizados a partir de una metodología acordada con la comunidad de actores intervinientes.

Se trata, de motivar la planificación de abajo hacia arriba, con la iniciativa y el protagonismo de los beneficiarios. En general, las situaciones de inercia del *statu quo* de las comunidades rurales, originadas por diversas razones, hacen que se requiera del impulso y acompañamiento de un grupo promotor que incentive a los actores, con la voluntad de alcanzar la visión a mediano y largo plazo establecida en la planificación concertada.

Sin dudas uno de los criterios a fortalecer a los efectos de lograr un Desarrollo Local Sustentable (DLS) requiere, además de la base sustantiva del Capital Social Local, tanto de la transformación o fortalecimiento productivo, según sea el caso, como del desarrollo institucional. Por ello, las instancias de compromiso y responsabilidad institucional de los actores de decisión meso y macroeconómico, tanto públicos como privados, tiene un rol protagónico en la evolución de los programas y los proyectos.

La metodología propuesta para llevar a cabo el Plan Territorial, consta de las siguientes etapas:

i. Elaboración de documentación de base

Diagnóstico preliminar de base

Planificación de base de objetivos, programas y proyecto

ii. Elaboración del diagnóstico de base definitivo y elaboración del plan a concertar

Formación del Consejo Local

Talleres temáticos participativos (Introducción y motivación; Objetivos generales y específicos; Diagnóstico participativo; Criterios para la priorización de proyectos; Líneas de acción o programas, y proyectos asociados)

iii. **Redacción del plan (Elaboración del documento preliminar del plan)**

Definición de la magnitud y alcance en los cuales se desarrollará. (¿Cuánto?)

Definir metodología de ejecución (¿Cómo?)

Identificación de recursos (¿Con qué?)

Identificación de los responsables intervinientes en la gestión y en ejecución. (¿Quiénes?)

Definir el lugar (¿Dónde?)

Definir metas temporales de ejecución (¿Cuándo?)

iv. Validación y documento final

Puesta en consideración y validación de los intervinientes

Alcanzar concertaciones responsables

Rectificación de las observaciones recibidas

Redacción del documento final, considerándolo como dinámico, y sujeto de revisiones periódicas. Establecer los mecanismos.

v. Instrumentos legales

Elaboración de las herramientas institucionales, que permitan las acciones institucionales, presupuestarias y de compromisos correspondientes, tanto para el ámbito público como el privado, generando los convenios y/o contratos, según las figuras legales de los actores, que validen lo concertado.

vi. Observación y seguimiento

Se requiere la observación crítica y permanente para evaluar las conveniencias del cambio de rumbo o de incorporación de nuevos parámetros. Por la complejidad de multiplicidad de acciones simultáneas, que necesita de apoyaturas o correcciones que sean necesarias para conseguir los objetivos en los tiempos previstos, y de evaluaciones permanentes a los efectos de verificar sus evoluciones y avances, se requiere disponer de un programa de **seguimiento,** que debe ser de gestión permanente.

En el presente trabajo, se llegó a definir la primera instancia de la metodología, dado que las posteriores requieren de un nivel de institucionalidad fuera del alcance del estudio. No obstante ello, para la prosecución de la metodología, se considera pertinente la propuesta desarrollada en la Ref. 1, acerca de la conformación de los Centros de Gestión (CEGE) en cada uno de los distritos del departamento, o zonas de definidas como homogéneas al efecto de la planificación territorial. Se plantea la conveniencia de incorporar en dichas unidades operativas a técnicos capacitados y a jóvenes estudiantes locales de nivel terciario o universitario, o hasta de nivel secundario, que sean los futuros gestores territoriales, a medida que vayan incorporando capacitación y experiencia.

El grupo técnico asesor multidisciplinar de apoyatura actuaría para los distintos CEGE locales de cada distrito operando a nivel departamental, y conformaría de una Unidad de Coordinación de Desarrollo Distrital, dependiendo de una entidad conformada por los distintos actores públicos y privados involucrados en el desarrollo local del departamento.

Este modelo es similar al marcado como exitoso en el Programa Relaciones entre Actividades de Desarrollo de la Economía Rural (LEADER) de la Unión Europea a través de los Grupos de Acción Local – GAL, que ha sido empleado en distintas regiones de España, y financiado por la UE.

3.2. La visión y los objetivos

Para lograr una planificación concertada es de importancia la visualización futura que se desea conseguir del lugar. Esta visión por parte de los actores intervinientes en el territorio constituye una meta a seguir en el transcurso del tiempo planteado en la planificación que debe resultar la motorización del plan. Deberán evaluarse con los pobladores de cada distrito, las metas a nivel local similares a las de nivel departamental, a cuales adhieren y cuales agregan en base a sus expectativas, experiencias y particularidades locales.

Se transcriben a continuación la visión y los objetivos generales propuestos como documentación de base de discusión, denominando a la planificación como Plan de Desarrollo Distrital de Goudge 2026 - PDD GD 2026.

La visión:

Dimensión Social – Desarrollo Humano

- Una sociedad con equidad social y sin discriminación.
- Una población educada, justa y solidaria. Creativa y participativa.
- Un distrito siempre proyectado hacia un futuro mejor.
- Un lugar que se distinga por haber explotado y destacado sus cualidades propias, su identidad y su historia.

Dimensión Política Institucional

- Con integración y articulación efectiva con San Rafael, y con los distritos.
- Un lugar en el que dé gusto vivir. Seguro y próspero.

Dimensión Económica Productiva

- Con desarrollo pleno y dinámico: agrícola, industrial, turístico y nuevas actividades
- Con un desarrollo local integral sustentable y sostenible.
- Con suficientes fuentes de trabajo genuinas y alternativas.

Dimensión Territorial – Ambiental

- Un distrito ordenado, moderno, agradable.
- Con un aprovechamiento integral y sostenible de sus recursos naturales.
- Un distrito conectado integralmente.

Los 10 objetivos generales

1. Desarrollar el distrito para mejorar la calidad de vida de sus habitantes.
2. Impulsar un modelo de sociedad más participativo y organizado.
3. Fomentar la igualdad de oportunidades y un desarrollo social equitativo.
4. Mantener las condiciones ambientales óptimas, con un mejor uso del suelo y el agua.
5. Redefinir el perfil productivo, apuntando a las actividades con alto valor agregado.
6. Potenciar el emprendedorismo, la asociatividad, y la micro, pequeña y mediana empresa.
7. Potenciar el vínculo de sectores del conocimiento y la investigación y lo productivo.
8. Desarrollar la infraestructura necesaria para acompañar el desarrollo del distrito.
9. Potenciar la integración y articulación con San Rafael e interdistrital, y con el sur mendocino como marco del desarrollo socioeconómico.
10. Promover la articulación y fortalecimiento de las instituciones a los efectos de lograr presencia y eficiencia en las gestiones locales.

3.3. Los programas y los proyectos

Se ha propuesto definir programas en base a las cuatro dimensiones consignadas en la metodología considerado su afinidad con los objetivos generales, y considerando la metodología de priorización de proyectos propuesta en el presente trabajo.

Criterios propuestos para la priorización de programas y de proyectos

A los efectos de la priorización de los proyectos se ha considerado una propuesta de criterios que permite ir calificándolos en un ranking que tendrá en cuenta los fundamentos de la planificación del desarrollo local sustentable y un ordenamiento territorial adecuado a los lineamientos tomados por la Ley de Uso del Suelo Provincial. Se han considerado criterios comunes a las distintas dimensiones, y otros que le son específicos a cada una.

A los efectos de ejemplificar, como criterios comunes se consideró si los proyectos guardan consistencia con los objetivos, si los proyectos son factibles de financiamiento, si atienden las necesidades de desarrollo de las personas y su nivel de oportunidad.

En cuanto a los criterios específicos, se tomaron por dimensión. Podemos indicar que para la Dimensión Social y Desarrollo Humano, se consideró si el proyecto favorece directamente a la población de extrema pobreza o a grupos vulnerables, Si tiene cofinanciamiento de la población, si articula con sectores y programas de salud y/o de educación y si promueve las instancias de intercambio de experiencia y el asociativismo.

Para la Dimensión Política Institucional, si genera capacidades para ahorro y uso eficiente de recursos, si promueve la articulación institucional y la descentralización de acciones y recursos en base al principio de subsidiaridad. En la dimensión Territorial Ambiental, la proporción del territorio involucrado, si promueve la

conservación de los recursos naturales, si generan condiciones para la ocupación ordenada del territorio.

En cuanto a la dimensión Económica Productiva, que porcentaje de población de la zona del proyecto que se beneficiará con él, el incentivo el empleo de mano de obra local, y del empleo de recursos propios de la localidad o región y la promoción de la incorporación de nuevas tecnologías o innovaciones.

En base a estos criterios es que se ha conformado una matriz de priorización de programas y proyectos que permite visualizar la importancia que cada uno de ellos impone en la visión y los objetivos generales definidos para el PEOT 2026 de Goudge.

Matriz de criterios para la priorización de proyectos

Criterio	DIMENSIONES CONSIDERADAS											
	Sociales – Desarrollo Humano		**Políticas – Institucionales**				**Territorial – ambiental**				**Económica – Productiva**			
Plan Estratégico Concertado	¿Guarda consistencia con los objetivos del PDD 2026?		¿Guarda consistencia con los objetivos del PDD 2026?				¿Guarda consistencia con los objetivos del PDD 2026?				¿Guarda consistencia con los objetivos del PDD 2026?			
	Sí	No	Sí		No		Sí		No		Sí		No	
Población beneficiada	¿Favorece directamente a la población de extrema pobreza o a grupos vulnerables (niños, madres gestantes, ancianos, personas de capacidades diferentes, comunidades nativas)?.		¿Promueve la interacción y preparación de los funcionarios públicos de los Gbnos. Locales y / o representantes de la Sociedad Civil capacitados?.				Proporción del territorio involucrado.				Porcentaje de la población de la zona del proyecto que se verá beneficiada.			
	Sí	No	Entre 0% y 19%	Entre 20% y 39%	Entre 40% y 59%	Entre 60% y 100%	Entre 0% y 19%	Entre 20% y 39%	Entre 40% y 59%	Entre 60% y 100%	Entre 0% y 19%	Entre 20% y 39%	Entre 40% y 59%	Entre 60% y 100%
	7 ptos.	0 pto.	1 pto.	3 ptos.	5 ptos.	7 ptos.	1 pto.	3 ptos.	5 ptos.	7 ptos.	1 pto.	3 ptos.	5 ptos.	7 ptos.
Financiamiento	¿Tiene financiamiento de alguna ONG u otra, de fuentes nacionales o internacionales?.		¿Tiene financiamiento de alguna ONG u otro de fuentes nacionales o internacionales?.				¿Tiene financiamiento de alguna ONG u otro de fuentes nacionales o internacionales?.				¿Tiene financiamiento de alguna ONG u otro de fuentes nacionales o internacionales?.			
	Sí	No	Sí		No		Sí		No		Sí		No	
	3 ptos.	0 pto.	3 ptos.		0 pto.		3 ptos.		0 pto.		3 ptos.		0 pto.	
Indicadores específicos	¿Tiene cofinanciamiento de la población?.		¿Genera capacidades para ahorro y uso eficiente de recursos?.				¿Promueve la conservación y uso adecuado y eficiente de los recursos naturales?.				¿Incentiva el empleo de mano de obra local?.			
	Sí	No	Sí		No		Sí		No		Sí		No	
	3 ptos.	1 pto.	3 ptos.		1 pto.		3 ptos.		0 pto.		3 ptos.		0 pto.	
	¿Promueve la articulación con sectores y programas de salud y/o de educación?.		¿Promueve la articulación institucional y modernización de las entidades públicas y/o privadas?.				¿Genera condiciones para la ocupación ordenada del territorio?.				¿Incentiva el empleo de recursos propios de la localidad o región?.			
	Sí	No	Sí		No		Sí		No		Sí		No	
	3 ptos.	0 pto.	2 ptos.		0 ptos.		2 ptos.		0 ptos.		2 ptos.		0 ptos.	
	¿Promueve las instancias de intercambio de experiencias y el asociativismo?.		¿Promueve la descentralización de acciones y recursos en base al ppio. de subsidiaridad?.				¿Promueve las instancias de vinculación y conectividad?.				¿Promueve la incorporación de nuevas tecnologías o innovaciones?.			
	Sí	No	Sí		No		Sí		No		Sí		No	
	3 ptos.	0 pto.	3 ptos.		0 ptos.		3 ptos.		0 ptos.		3 ptos.		0 pto.	

Los programas y proyectos preliminares de Goudge

La totalidad de los programas y proyectos, identificados en el marco de las cuatro dimensiones analizadas en el diagnóstico, y en coincidencia con los objetivos, tendrán que ser sometidos a la metodología de priorización que sea consensuada con el Consejo Local. No obstante ello, y a los efectos de iniciar los talleres de profundización de temas y debates, y a los efectos de ejercitar las metodologías propuestas, es que se ha desarrollado una base de programas y proyectos que denominamos preliminares por su citado carácter. A modo de ejemplo, ya que su extensión impide incorporar a todos, se transcribe un cuadro con los programas y solo 2 proyectos por área de los detectados por el equipo de trabajo, para el inicio de la puesta en común participativa.

Algunos ejemplos de Programas y proyectos

Dimensión	Programas	Proyectos	Obj.
Social y Desarrollo Humano	Salud	Atención permanente en el Centro de Salud.	1 2
		Incorporación de ambulancia local.	1 2
	Seguridad	Incorporación de mejoras en la comisaría.	1
		Incorporación de mayor cantidad de efectivos.	1
	Capacitación	Capacitación en tareas rurales agríc. y en el uso del agua.	2
		Capacitación en oficios tradicionales e innovadores.	2 3 5
	Pobreza Cero	Gpo. de Pobreza Cero: diag. de base y plan de acción.	3
		Aclarar roles de la sociedad en su conjunto para propiciar la convivencia.	3
Política Institucional	Participación ciudadana	Conformación del Consejo Local y Grupos específicos.	1 2 3 6
		Conformación del Centro de Gestión.	2 3 6 9 10
		Convocatoria a voluntariado para asistencia social local.	1 2
Económico Productivo	Nuevas Actividades económicas	Eval. de nuevas actividades econ. y sus potenc. locales.	3 5 6 7
		Diversificación agrícola: especies no radicionales.	3579 10
	Territorial	Proyecto Grupo del Ordenamiento Territorial.	4
		Generación del banco de tierras a unificar en zona rural.	4
		Definición de usos de la tierra en Goudge.	2 3 4 5 7 10
	Riego	Potenciar la partic. en Inspección de Cauce (I.C.)	2 5
		La asociación de la I.C. con otras I.C. vecinas.	245 10
	Industrias	Identif.de potenc.de desarrollo industrial local.	5
		Evaluar innovaciones en actividades actuales.	5679 10
	Producción	Cámara de frío para la cadena frutícola a construir en forma asociativa por los productores locales.	5 6 8
		Evaluar nuevos productos agropecuarios adecuados a las dimensiones parcelarias.	5 6 7
Infraestructura	Servicios	Const.de red de gas nat. en la zona urbana y rural.	1 8
		Inmediato: mejoras en la distrib. de gas envasado.	1 8
	Viviendas	Proyecto de vivienda social	1 23 8
		Proyecto de barrios en casco urbano	1 8
	Conectividad	Desvío de carga pesada	1 8
		Vinc. Norte Sur: puente sobre canal Babacce	1 8
	munitaria	Pot.Sala de Usos Múltiples del Centro de Jubilados	1 2 8
		Posibilitar el pago de impuestos y servicios	3 8
	Mejoramiento urbano	Mejoras en el diseño vial del Sector Norte: demarcación de calles, ejecución de banquinas, puentes y rampas para discapacitados,	3 8
		Incorp. una zona parque de juegos para niños.	3 8
	Educativa	Mej. edilicias en escuelas prim.y secundarias	3 8
		Fortalecer las orientaciones actuales y generar nuevas orientaciones de las secundarias	3 8
	Hídrica	Mejoras en Infraest. en obras de distribución	4 5 8
		Revestimiento de canales e hijuelas.	4 5 8

4 Conclusiones

Para elaborar un plan territorial de **desarrollo distrital integral** es necesario analizar todos y cada uno de los distritos del departamento; pero en virtud de los recursos disponibles y considerando la extensión del territorio estudiado, la investigación se llevó adelante a través del método de estudio de caso, de tal modo de obtener una metodología de aplicación al resto de los distritos del departamento.

Como resultado del diagnóstico se identificó la necesidad de un Programa de Desarrollo Territorial equilibrado del departamento, existiendo necesidades básicas importantes, pero sin perder la visión de que toda nuestra geografía tiene ventajas para el desarrollo agrícola e industrial, potenciado a partir de las nuevas tecnologías, pero además con la posibilidad de agregar valor a nuestros productos, o repensar en nuevos productos. El perfil de zonas agrícolas de nuestro oasis hace que nos sea difícil pensar en otras actividades industriales, más que las de procesamiento de los productos agropecuarios, pero no debemos descartar que la mayoría de las potencias industriales son también potencias agrarias que los consideran sectores interactuantes y clientes recíprocos, generando productos que complementan la totalidad de los eslabones de su cadena, con mucho valor, que implican mejoras en las disponibilidades de bienestar de la población, apuntando a contar con desarrollo integrado y sostenible.

Los estudios preliminares realizados pusieron de manifiesto la necesaria acción coordinada para revertir la situación actual de los residentes rurales, considerando la complejidad de componentes que inciden en ello.

Las características de disponibilidades de infraestructura en los Distritos del oasis irrigado guardan un alto grado de similitud, considerando que para aquellos ubicados en las zonas desérticas, denominadas comúnmente de secano, se debieran incorporar los aspectos relativos a las características de desenvolvimiento que allí se verifican, bastante disímiles de los anteriores.

El caso piloto se utilizó para comprobar y depurar, la planificación de la recogida de datos y los procedimientos a seguir, determinando así la adecuación del diseño de la investigación. Por tanto, como paso previo a la recopilación de los datos, su utilidad se refleja tanto en la posible revisión de las proposiciones teóricas a contrastar -aspectos esenciales del estudio- como en las cuestiones de campo relevantes y la logística de la investigación de campo -aspectos metodológicos-.

Podemos señalar que para la verificación de un desarrollo rural distrital con posibilidades de éxito, se deben incorporar acciones dirigidas hacia elementos clave y relevantes, intentando cubrir estos elementos en la medida de las posibilidades.

Entre ellos, señalamos los siguientes:

- La competitividad determinada por el progreso técnico y el conocimiento.
- La solvencia de las unidades productivas.
- La capacidad de generar nuevos y mejores empleos, incluido el autoempleo.
- La innovación tecnológica en procesos, en productos y en gestión, para conseguir mayor productividad del trabajo.
- La demanda externa al territorio, asociada a los vínculos urbano – rurales.
- El desarrollo institucional.
- Las relaciones sociales que generan pertinencia e identidad.

Consideramos que habiendo consultado diversos autores, se encuentra coincidencia y lógica en algunos criterios operativos de implementación de planes de desarrollo territorial rural, sobre todo considerando que estas planificaciones deben tener presente que en el ámbito rural, la presencia de niveles de pobreza es significativa y se pretende, a partir de una planificación concertada, revertir estas situaciones críticas.

Si bien la diversidad de cada territorio, hace que cada caso sea distintivo del resto, y haya que evaluar las condiciones de cada uno para poder planificar acciones coordinadas que hagan al desarrollo, diversos autores han tratado de expresar de alguna manera los criterios a tener en cuenta al momento de implementar acciones sobre el desarrollo rural. En todos los casos se considera indispensable la participación e internalización en la planificación por parte de los actores locales. También todos los autores hacen referencia a la necesaria actividad de los gobiernos locales articulados con las instituciones que de algún modo tienen injerencia en los aspectos relacionados, a los efectos de asistir en la planificación, de impulsar acciones y proyectos y, necesariamente, de hacer la observación y el seguimiento de la evolución, sin perder de vista la complejidad de mantener estas acciones en el mediano y largo plazo.

Uno de los desafíos de importancia, es la necesaria evolución y sostenimiento de la denominada arquitectura institucional, requiriendo de políticas públicas orientadas hacia un desarrollo distrital rural efectivo. En ello vemos como dificultades la incorporación de la responsabilidad en sus programas de acción, del necesario apoyo presupuestario, de la flexibilidad de la articulación institucional sobre todo en aquellas instituciones donde se solapan las responsabilidades e injerencias, del diseño de las herramientas legales y jurídicas y de la incorporación de los programas y proyectos como propios al momento del accionar.

Es condición, para llevar a cabo las apoyaturas político institucionales, el considerar que los gobiernos locales deben contar con las atribuciones y capacidades en las dimensiones técnicas, administrativas y políticas, para lo cual se requiere un accionar articulado entre los niveles de gobierno nacional, provincial y municipal. Además de lograr la inclusión de las organizaciones económicas y de la sociedad civil, conjugados por espacios y mecanismos de concertación y de manejo de conflictos entre actores.

Uno de los aspectos a distinguir en esta componente crítica, es la continuidad de las políticas públicas, al considerar que estos procesos deben ser de largo plazo, de más de una década, y las renovaciones dependientes de las instituciones estatales están fijadas por los períodos electorales. No obstante ello, depende en gran medida de la participación y fortaleza que los pobladores locales desarrollen, sobre todo si las planificaciones se desenvuelven en varios territorios o distritos, y actúan articuladamente, generando bases de políticas públicas que exceden las necesidades electorales, y se transforman en políticas de desarrollo que suman a todos.

Por ello el construir una visión de cambio acordada y que implique los compromisos asumidos, en forma conjunta con la comunidad, incluida la de la cabecera departamental, permite el desarrollo de capacidades sociales que posibilitan ir satisfaciendo las demandas de la sociedad, de modo participativo, integrador y sostenible.

En virtud de los resultados alcanzados se puede concluir que la experiencia resultó ampliamente satisfactoria y enriquecedora, la cual nos permitió conocer en mayor

profundidad la realidad distrital y entablar una red de relaciones humanas.

Esta experiencia ha demostrado que la clave del éxito de este tipo de proyectos ha sido la presencia de eficientes estructuras intermedias: cámaras empresariales y de comercio, los niveles de gobierno local, universidades, escuelas técnicas y centros de investigación, capaces de brindar apoyo en cuestiones claves para el desarrollo.

Finalmente, cabe resaltar la importancia de la cooperación española para la consecución de los objetivos planteados, en virtud de las relaciones personales y de estrechamiento de vínculos entre ambos países, y muy particularmente entre los actores intervinientes del presente proyecto tanto de la Facultad Regional San Rafael de la Universidad Tecnológica Nacional (Argentina) como de la Escuela Universitaria de Estudios Empresariales de Huesca de la Universidad de Zaragoza (España).

5 Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo en el marco del Programa de Cooperación Interuniversitaria e Investigación Científica (Código de proyecto: A/023797/09; BOE - A - 2010 – 708) y la Universidad Tecnológica Nacional.

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Sra. Isabel Saz Gil y al Sr. Luis Carús, investigadores de la Universidad de Zaragoza – Campus de Huesca, por su participación en el trabajo.

6 Referencias

1. ALBURQUERQUE, Francisco. La importancia del enfoque del desarrollo económico local. http://www.flacsoandes.org/web/imagesFTP/1251775440.Alburquerque_La_Importancia_del_enfoque_del_desarrollo_local_2001.pdf
2. DE FRANCO, Augusto. ¿Por qué precisamos de un desarrollo local integrado y sostenible? http://participar.org/documentos/De_Franco.pdf
3. LECHNER, Norbert. Las Sombras del mañana La dimensión subjetiva de la política. LOM, Santiago de Chile, 2002.
4. LECHNER, Norbert. "Desafíos de un Desarrollo Humano: individualización y capital social" – Contribución al Foro Desarrollo y Cultura organizado por Science Po para Asamblea General del Banco Interamericano de Desarrollo BID. Paris, marzo de 1999 – pág. 11.
5. Ley provincial N° 5961/1992. Provincia de Mendoza, Argentina.
6. MADOERY Oscar y VAZQUEZ BARQUERO A. Transformaciones globales, instituciones y políticas de desarrollo local, Homo Sapiens, Rosario, 2001.
7. MEADOWCROFT, James. Participación y estrategias para el desarrollo sostenible - University of Sheffield.
8. MEYER-STAMER, Jörg . ¿Qué es el desarrollo económico local? ¿Por qué es tan difícil? - Mesopartner, Duisburg, 04/2003
9. SUBIRATS, Joan. La construcción de lo público desde la sociedad civil. "¿Usted preferiría un gobierno autoritario si ese gobierno resolviese sus problemas?" - Foro iberoamericano

haciendo política juntos. http://www.ligaiberoamericana.org/foro2006/ponencias/Dr.%20Joan%20Subirats.pdf
10. VÁZQUEZ BARQUERO, Antonio. Desarrollo endógeno. Universidad Autónoma de Madrid – 2002
11. Ley Provincial de Uso del Suelo N°8051/2009. Provincia de Mendoza, Argentina.

ÁREA

VII EnIDI

INGENIERÍA INDUSTRIAL

RESÚMENES

El Mejor Lugar para Trabajar

Lucía Brottier (1), Carlos Nallim (2) Claudia Sosa, (3), Elena Bernal (4)

(1) Profesora Titular Gestión de las Personas – Fac. de Ingeniería –
UNCuyo.lbrottier@fing.uncu.edu.ar –
(2) cnallim@fing.uncu.edu.ar
(3) csosa@fing.uncu.edu.ar
(4) elenabernal@hotmail.com

Resumen. El ambiente laboral y en su sentido más amplio, el clima laboral, constituye la base para el desempeño armónico de las personas de una organización. La responsabilidad por la calidad del clima laboral, es tanto de la organización misma, a través de sus políticas de gestión, como de las personas que la constituyen. Cada persona, desde su puesto y más aún, aquellas que tienen responsabilidades de gestión y personal a cargo – muy posiblemente los futuros ingenieros egresados de nuestras carreras-, tienen el compromiso y la posibilidad de colaborar a través de diferentes herramientas, en la construcción de un ambiente laboral, que permita que cada uno, dé lo mejor de sí mismo, no sólo en el logro de los objetivos comunes de la organización, sino también en el cumplimiento de sus metas y anhelos personales. El objeto de esta investigación ha sido la identificación de los valores que se esperan y la posibilidad de contar con propuestas para el desarrollo de los mismos. Aceptar que se puede influir en el ambiente de trabajo, es el primer paso para construir un espacio mejor en el compartir diario de la jornada, con el desarrollo de las potencialidades personales.

Palabras Clave: Administración. Gestión de Recursos Humanos. Fomento de Valores.

Competencias de Emprendedores

Lucía Brottier (1), Carlos Nallim (2) Claudia Sosa, (3), Elena Bernal (4)

(1) – Profesora Titular Gestión de las Personas – Fac. de Ingeniería – UNCuyo.lbrottier@fing.uncu.edu.ar
(2) cnallim@fing.uncu.edu.ar
(3) csosa@fing.uncu.edu.ar
(4) elenabernal@hotmail.com

Resumen. Los emprendimientos se constituyen cada vez más en una parte relevante de la cadena de valor económico. ¿Se hace o se nace emprendedor? Un emprendedor busca el cambio, responde a él y explota sus oportunidades. La innovación es una herramienta específica de un emprendedor, por ende en emprendedor efectivo convierte una fuente en un recurso. El emprendedor ya sea en forma individual o dentro de una organización (intrapreneur) tiene motivaciones particulares y definidas. El objeto de esta investigación ha sido detectar las principales competencias de los emprendedores como así también las restricciones con las que se encuentran y determinar cuáles de esas competencias pueden ser incorporadas desde los planes de estudio y las prácticas en el desarrollo de las carreras de ingeniería. Más allá de los conocimientos específicos hay actitudes y competencias que deben desarrollarse y que requieren del ejercicio de las mismas. A través de Entrevistas con más de 40 emprendedores relevamos estas competencias como así también algunos de sus procesos de aprendizaje.

Palabras Clave: Administración. Gestión de Recursos Humanos. Competencias. Emprendedorismo.

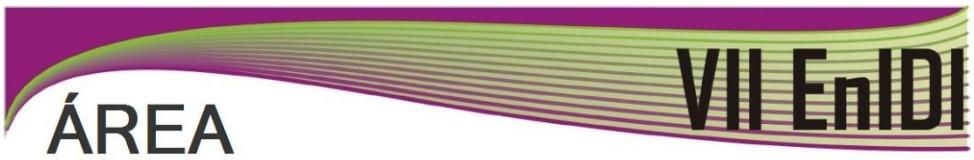
Modelado Numérico de Flujos Cavitantes, Aplicación al Diseño en Ingeniería

E. Franco Cappa, Flavio H. Moll, Miguel G. Coussirat

Grupo LAMA- Universidad Tecnológica Nacional-Facultad Regional Mendoza, Argentina.
eduardo.cappa@alumnos.frm.utn.edu.ar

Resumen. Los flujos cavitantes se corresponden a una estructura turbulenta de flujo, combinada con una estructura bifásica (líquido-vapor) cuando la presión del líquido disminuye hasta su presión de vapor. La aparición y el posterior colapso de cavidades de vapor, generan pulsos de presión de alta frecuencia que ocasionan la falla por fatiga del material sólido, y pérdida de rendimiento y daño mecánico en turbomáquinas.
Para prevenir el daño mecánico, es necesario definir materiales resistentes realizando ensayos en los que se estudia el daño en probetas. Debido al alto costo de éstos, es de interés identificar mediante modelado numérico (DFC: dinámica de fluidos computacional) las estructuras del flujo cavitante, que producen más daño para así optimizar la operación del banco de ensayos experimental, identificando las zonas de vaporización/colapso de las burbujas. Para usar estas herramientas numéricas adecuadamente es necesario su calibración/validación antes de aplicarla a estudios de ingeniería ya que este tipo de flujo muestra una gran complejidad en su modelado, debido a su estado bifásico y turbulento del flujo. En este trabajo se presentan resultados tanto de calibración/validación como de aplicación para buscar luego la condición más ventajosa para realizar los ensayos experimentales. Se discutirán conclusiones obtenidas de cara a futuras aplicaciones en el diseño de turbomaquinaria.

Palabras Clave: En esta sección debe sugerir las palabras clave de su trabajo.



ELÉCTRICA, MECÁNICA Y MECATRÓNICA

TRABAJOS COMPLETOS

Validación de un Modelo para los Factores de Concentración de Esfuerzo en Ejes Escalonados Sometidos a Flexión

Heber Ferri, Carlos Bello, Alfredo Amico, Miguel Mattolini

Grupo Diseño y Desarrollo de Maquinas y Equipos, Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Mendoza, Rodríguez 273, Mendoza, Argentina.
cab@frm.utn.edu.ar

Resumen. El propósito de este trabajo fue hacer un modelo numérico y validarlo con los modelos clásicos de la distribución de tensiones en ejes escalonados sometidos a flexión, que presentan condiciones de entalla concentradoras de tensiones. El modelo numérico se desarrolló mediante software de cálculo utilizando los Elementos Finitos. Se estudiaron varios modelos clásicos establecidos en la bibliografía y se simuló un problema existente para comparar los resultados, esto se hizo mediante Solid-Works con el modulo de cálculo COSMOS. La validación del modelo numérico se hizo mediante criterios de convergencia y contrastación con experiencias existentes sobre el tipo de entalla que han dado los resultados de las investigaciones de Leven y Hartman, Wilson y White y S. M. Tipton, J. R. Sorem y R. D. Rolovic. Esto permitió determinar parámetros válidos de construcción del modelo y que permite guiar el diseño de árboles, para evaluar distintas soluciones a situaciones de entalla que surgen de la condición geométrica, en aplicaciones como es el montaje de rodamientos, poleas, engranajes, manguitos y anillos de retención entre otros. Además este trabajo forma parte del trabajo de práctica profesional supervisada que se llevan a cabo dentro de actividades I+D del grupo DIDEME para introducir la utilización de métodos numéricos en los alumnos de la carrera de ingeniería Electromecánica.

Palabras Clave: Flexión, métodos numéricos, factor concentración de esfuerzo, simulación.

1 Introducción

En la práctica de la ingeniería cuando se diseñan elementos de máquinas, la determinación de la forma de los componentes impone cambios de sección, lo que crea condiciones de solicitaciones muy cambiantes. En el caso de los árboles y ejes, la combinación de los principales esfuerzos a que están sometidos, tales como flexión y torsión, generan en estas discontinuidades propias del diseño, zonas donde los esfuerzos se concentran y adquieren valores significativamente superiores a los de secciones contiguas.

El caso de estudio que se abordó es solo para la solicitación de flexión simple con las discontinuidades debida al cambio de diámetro. La aplicación del teorema de superposición de los efectos permite hacer los análisis de cada efecto simple y luego hacer una integración los mismos por trabajar en la zona lineal de la función que relaciona tensiones con deformaciones.

La ciencia de la resistencia de materiales ha utilizado estrategias diversas para

evaluar los coeficientes de magnificación de las tensiones, posibilitando el análisis de las condiciones de solicitación al momento de dimensionar los componentes.

El método matemático para determinar las tensiones localizadas se sustenta en la teoría matemática de la elasticidad y en general requiere de ecuaciones diferenciales de difícil solución. Cabe destacar que los modelos matemáticos suponen hipótesis simplificadoras tales como que la pieza es de un material homogéneo, isótropo y totalmente elástico, por lo que el valor de la tensión obtenida depende sólo de la forma geométrica. Esto implica que el efecto de las discontinuidades de los materiales reales no se tienen en cuenta, considerando a esta hipótesis como posible por ser pequeños los errores inducidos.

Son muy usadas otras estrategias tales cómo los métodos experimentales para determinar el efecto de la concentración de tensiones, estos permiten validar los modelos matemáticos y definir las restricciones propias del uso de dichos modelos. Algunos de estos procedimientos utilizados son, por ejemplo, los estudios de fotoelasticidad y las analogías con membrana elástica.

En muchos casos no se desarrollaron modelos matemáticos para las discontinuidades por ser muy eficientes algunas estrategias empíricas de obtención de coeficientes, que luego se aplican a los modelos sencillos de cálculo. El caso de los árboles sometidos a flexión es uno de ellos, ya que es muy simple la utilización de la ecuación de flexión encontrada por la ciencia de resistencia de materiales. Por ello, al disponer de los coeficientes a aplicar en las discontinuidades, el dimensionamiento se vuelve un procedimiento de fácil aplicación.

El objetivo principal del trabajo fue comparar distintas configuraciones de modelización para el programa utilizado, tales como tipos de mallado y método de cálculo, con modelos existentes que han dado los mejores resultados.

Se demostró que la utilización de métodos numéricos permite desarrollar modelos que describen en forma eficiente las solicitaciones producidas en entallas de escalón en árboles sometidos a flexión y dan resultados comparables a los obtenidos por métodos clásicos con un costo razonable de proceso.

2 Modelos que describen la entalla

Se ha revisado y utilizado las experiencias especificas existentes sobre los coeficientes de concentración de tensiones para árboles sometidos a flexión simple, que presentan discontinuidades, estas se encuentra en la bibliografía específica sobre el diseño de máquinas (Seely, 1967), como así también en la los criterios para el diseño de elementos de máquinas que plantea Norton (Norton, 2011), también el compendio de estudios de concentración de tensiones que hizo Peterson (Peterson, 1974), los estudios de Leven y Hartman, Wilson y White, basados en estudios foto elásticos y de Tipton y otros (Tipton, Sorem, & Rolovic, 1996).

Para el caso analizado se utilizó entonces el gráfico de los factores de concentración de tensiones en función de la relación de diámetros existentes en un árbol sometido a flexión simple, que se muestra en la Fig. Nº1, este gráfico nos permite encontrar el ordenadas el K_t también llamado coeficiente de concentración de esfuerzo para un árbol escalonado sometido a flexión donde se representan las

relaciones de diámetros a ambos lados del escalón y la dependencia al radio de acuerdo en relación al diámetro menor.

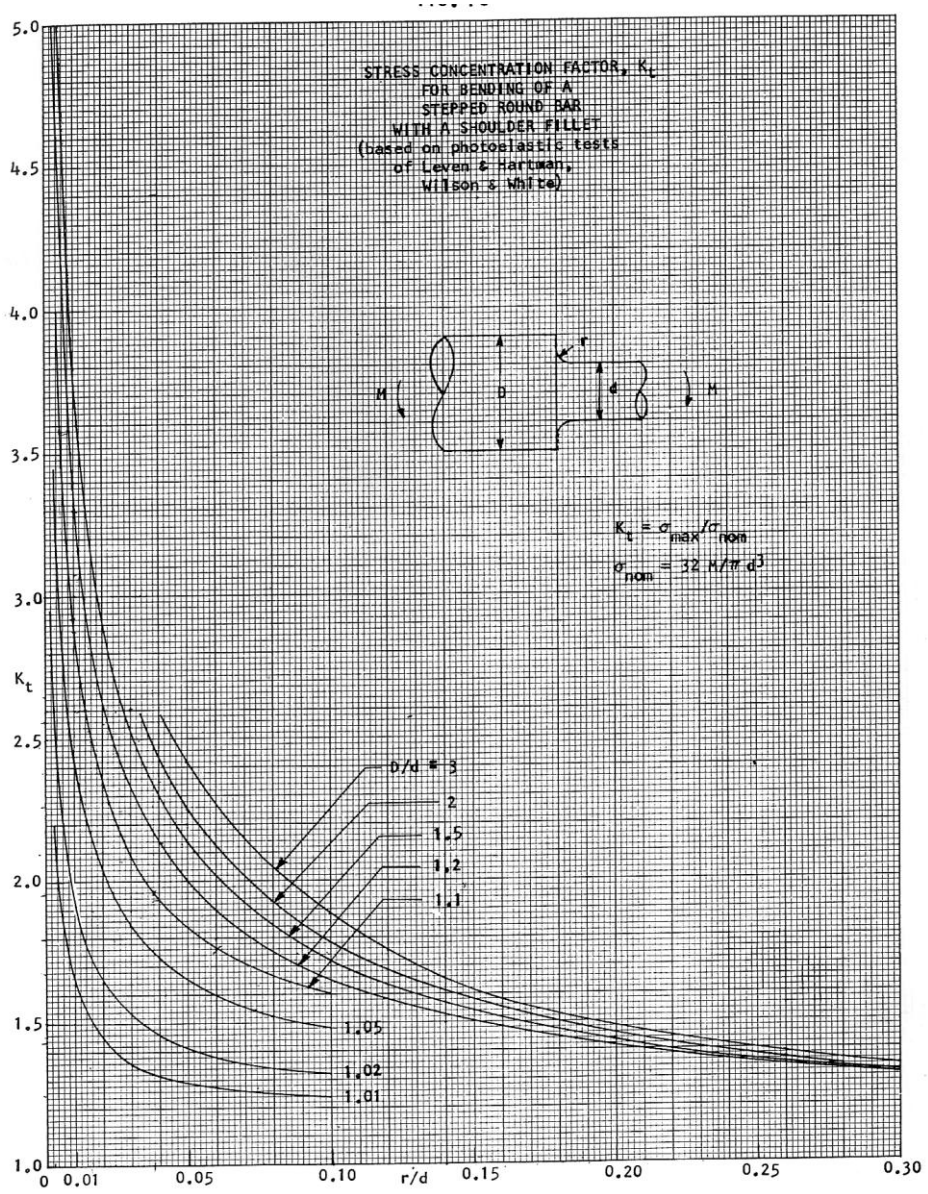


Fig. 1. Factor de concentración de esfuerzo en función de la relación de diámetros y el radio de acuerdo, fuente: Leven y Hartman, Wilson y White

La carta utilizada mostrada en la Fig. 1, se encuentra en la bibliografía (Peterson, 1974, pag. 103), permitió obtener los valores de Kts de referencia, para ello se utilizó

una tabla en Excel que permitió graficar resultados y hacer comparaciones, también se calcularon mediante Excel los valores de Kts según las fórmulas publicadas en la revista ASME Journal (Tipton, Sorem, & Rolovic, 1996), estos valores de cálculo son resultados del modelo que la ASME ha desarrollado mediante una función y que permitió usar de referencia para validar los valores calculados, emergentes de la simulación numérica mediante el programa Solid-Works. Este programa incluye un módulo de cálculo denominado COSMOS mediante el método de cálculo por elementos finitos (MEF), (FEA en inglés).

De la carta de la Fig. Nº1 y a través de las formulas citadas, se obtuvieron los valores correspondientes de abscisas (r/d) y ordenadas (Kts), que volcados a la planilla de cálculo, permitieran la reproducción electrónica de dichas curvas con la mayor fidelidad posible. Esto con el fin de facilitar la posterior comparación.

Si bien se relevaron todas las curvas de la carta, se utilizó solo la curva con la relación D/d =1,2, ya que resulta un valor muy utilizado en la práctica y es una de las curvas con mayor cantidad de datos disponibles. Es de notar que valores de D/d mayores al valor referenciado, tratan de no ser utilizados, por generar condiciones muy severas de concentración de tensiones. Se calcularon los valores de Kts. según la fórmula de la ASME para esta relación D/d =1,2 con la ecuación Nº1.

$$K_t = 0{,}622 + 0{,}38\left(\frac{D}{d}\right)^{-4{,}3} + \left(\frac{r}{d}\right)^{-0{,}5}\sqrt{\frac{-0{,}322 - 0{,}277(D/d)^2 + 0{,}599(D/d)^4}{1 - 2{,}55(D/d)^2 + 5{,}27(D/d)^4}} \qquad (1)$$

Factor de concentración de tensión relacionado con la Tensión de Von Mises Máxima. $(\sigma`)_{máx}=K_t\ \sigma_{0,}$ fuente: ASME Journal

Tabla 1. Valores obtenidos de la carta y los calculados mediante ASME, fuente de la tabulación: propia.

D/d = 1,2	**Peterson**	**ASME Journal**
r/d	**K_t**	**K_t**
0,002	5,22	6,414
0,018	2,72	2,668
0,034	2,25	2,158
0,05	2	1,919
0,066	1,845	1,774
0,082	1,74	1,673
0,098	1,66	1,598
0,114	1,6	1,540
0,13	1,555	1,492
0,146	1,515	1,453
0,162	1,475	1,420
0,178	1,447	1,391
0,194	1,423	1,366

Estos valores obtenidos, por cálculo utilizando el criterio de ASME y los relevados de la carta de Peterson pueden graficarse como se muestra en la figura siguiente (Ver Fig. Nº2)

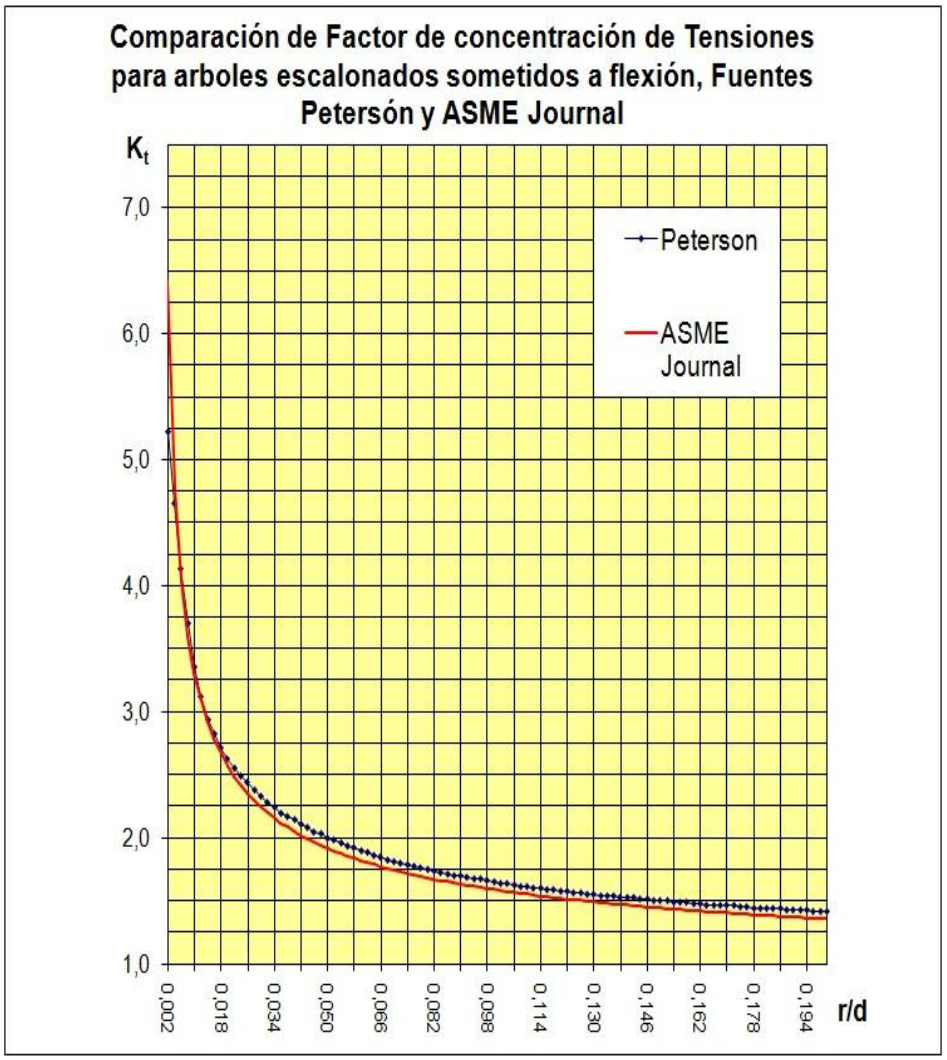


Fig. 2: Comparación de factores de concentración de tensiones, criterios de ASME versus estudios utilizando la técnica de fotoelasticidad, fuente propia.

Se puede observar como la función de la ASME acompaña a los valores obtenidos mediante la técnica de la fotoelasticidad, aparece una diferencia solamente para valores muy bajos de r/D donde ASME determina valores mayores para las relaciones

muy bajas considerándose como más conservadora esta solución, la técnica de la fotoelasticidad trabaja en ese intervalo en el límite de la interpretación. En general ambos modelos dan resultados comparables y se adecuan para validar modelos nuevos que utilicen otras técnicas como es el caso analizado.

3 Diseño del modelo mediante FEA

Para la construcción del modelo se probaron varias alternativas, determinándose la configuración más adecuada en dimensiones que limitara los números de elementos a un valor suficientemente elevado que permita obtener precisión pero que no sobre exigiera al equipamiento que lo procesaba.

Finalmente se optó por una pieza con d=20mm, longitud L=5d y el escalón ubicado en L/2. Se hizo necesario alejar la discontinuidad de los extremos donde se aplican las condiciones de restricciones y solicitaciones para evitar los errores que se introducen por las condiciones de contorno.

Para la relación D/d=1,2 la variable es el radio de acuerdo modificando la relación r/d (el diámetro menor d permanece constante); la cantidad de modelos virtuales ensayados fue de 12, es decir se obtuvieron 12 puntos para trazar cada curva. El material seleccionado para la simulación es un acero AISI 1010 laminado en caliente (E=2100000 kgf/cm2 y μ=0,3), este dato es necesario porque el modulo de cálculo tiene definidos los valores de E y μ.

Debe aclararse que este estudios de modelación por elementos finitos tienen base en las ecuaciones diferenciales de la elástica de deformación, por lo que esto se hace valido para todos los materiales que responden linealmente, para los aceros al carbono de baja y media aleación el valor del coeficiente de elasticidad E es prácticamente constante, estudios donde no se cumple esta condición son posibles pero utilizan otros criterios que no se simularon ni se tuvieron en cuenta en este trabajo.

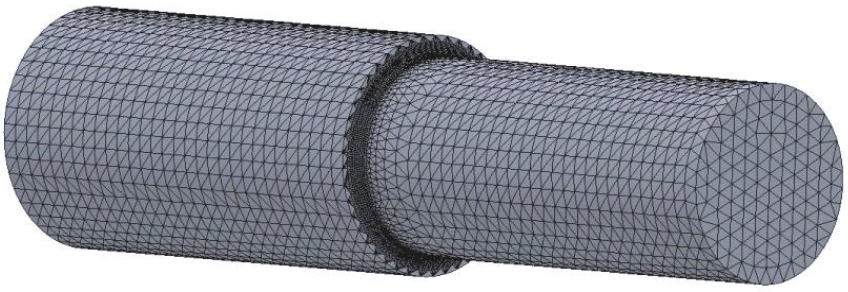
Diseñado el prototipo, se aplicaron las condiciones de restricción y de solicitación, el vínculo de empotramiento en el extremo de mayor diámetro y una solicitación de torsión T=2000kgf/cm2 en el extremo de menor diámetro, perpendicular al eje. Se discretizó el sólido mediante tres métodos de mallado, a continuación se indican los parámetros de cada uno:

Tabla 2. Parámetros de discretización para los mallados de simulación, fuente de la tabulación propia.

1º Mallado		
Parámetros de Mallado	Tipo	Estándar
	Tam. Max. del Elem.	1.68637mm
	Tam. Min.. del Elem.	0.0126497mm
Control de Mallado	Puntos jacobianos	4
	Tam. Max. Del Elem.	0.252994mm
	a/b	1,5
Solución Adaptativa	Método	h
	Nivel de Precisión	98%
	Máximo Nº de bucles	3
	Reducir el nº de elem.	Si

2º Mallado		
Parámetros de Mallado	Tipo	Estándar
	Tam. Max. del Elem.	1.011822mm
	Tam. Min.. del Elem.	0.0505911mm
	Puntos jacobianos	4
Control de Mallado	Tam. Max. Del Elem.	0.1012mm
	a/b	1,5
	Método	h
Solución Adaptativa	Nivel de Precisión	98%
	Máximo Nº de bucles	5
	Reducir el nº de elem.	Si
3º Mallado		
Parámetros de Mallado	Tipo	Basado en curvatura
	Tam. Max. del Elem.	6.7465mm
	Tam. Min.. del Elem.	1.36493mm
	Nº Min. Elem. en un Círculo	8
	Cociente de Crecimiento	1,6
Control de Mallado	Puntos jacobianos	4
	Tam. Max. Del Elem.	0.1012mm
	a/b	1,5
	Método	h
Solución Adaptativa	Nivel de Precisión	98%
	Máximo Nº de bucles	5
	Reducir el nº de elem.	Si

Estas condiciones de simulación generaron los mallados que se muestran en la fig. 4, donde se pueden observar la aplicación de los distintos criterios de discretización. La simulación con el mallado adaptativo utiliza el criterio de iteraciones guiadas por la variación de tensión encontrada en el cálculo, cambiando la malla según estos, para aumentar la densidad de elementos en los lugares de alta variación y disminuir los mismos donde no hay variación, obteniéndose una optimización de elementos y por consiguiente del tiempo de proceso.



1º MALLADO

2º MALLADO

3º MALLADO

Fig. 4. Mallados del sólido de ensayo, modelización en Solid-Works y utilización del módulo de cálculo COSMOS, fuente propia.

4 Resultados de la simulación

Como se trata de la utilización de un material tenaz de respuesta dúctil se ha utilizado el criterio de Von Misses, el modulo de cálculo resuelve y determina los valores de tensión punto a punto y además muestras valores máximos y su ubicación para las condiciones de ensayo (valores de D/d y r/d). La determinación del Kts se obtiene de la definición del mismo del gráfico de Figura 1 para hacer comparables los resultados.

En la Fig. 5 pueden observarse los grafismos para la visualización de las tensiones resultados del proceso de cálculo iterativo, donde para los valores de las tensiones se utilizan colores, en este caso de variación discreta y para su configuración espacial, líneas de isotensión. Las opciones de pos-proceso permiten visualizar un corte, en este caso con un plano vertical coincidente con el eje geométrico de la pieza y muestra en el extremo izquierdo las condiciones de restricción, a la derecha, las solicitaciones que generan la flexión simple y sobre el plano de corte las líneas de isotensión.

Se puede observar la configuración de la distribución en las zonas que rodean el

escalón y sobre esa zona la determinación del lugar de máxima solicitación, la escala de la derecha muestra los valores que se han asignado y los colores de referencia

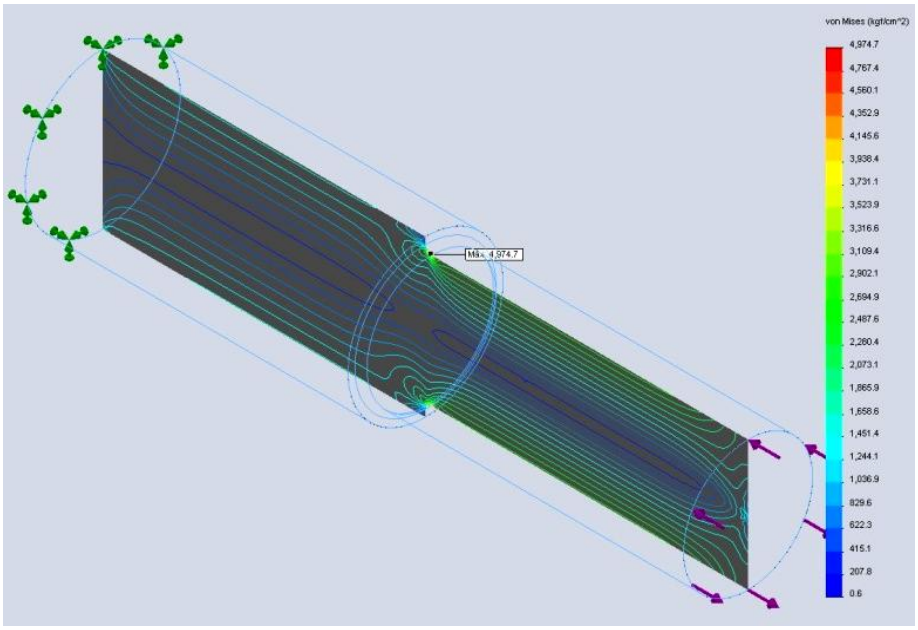


Fig. 5a: Configuración de tensiones mediante líneas de isotensión y valores de las solicitaciones.

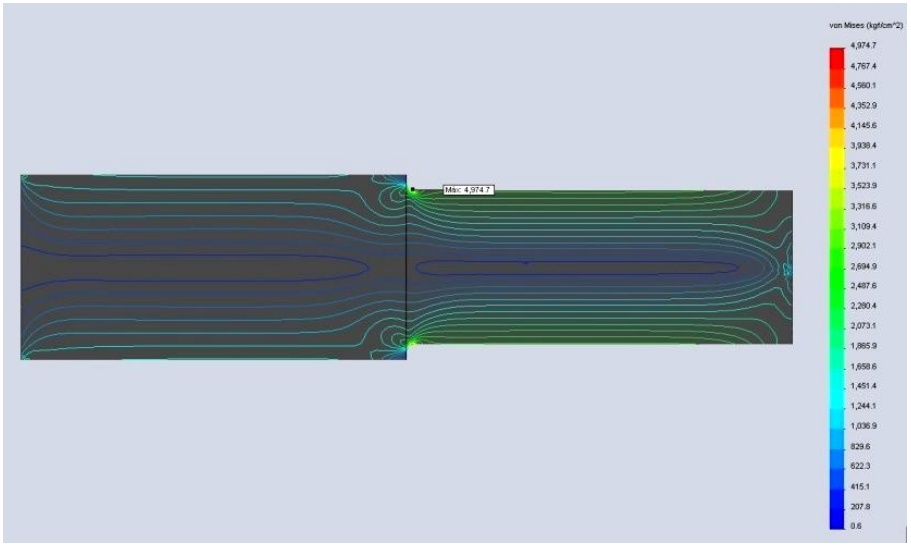


Fig. 5b: Vista frontal del corte longitudinal

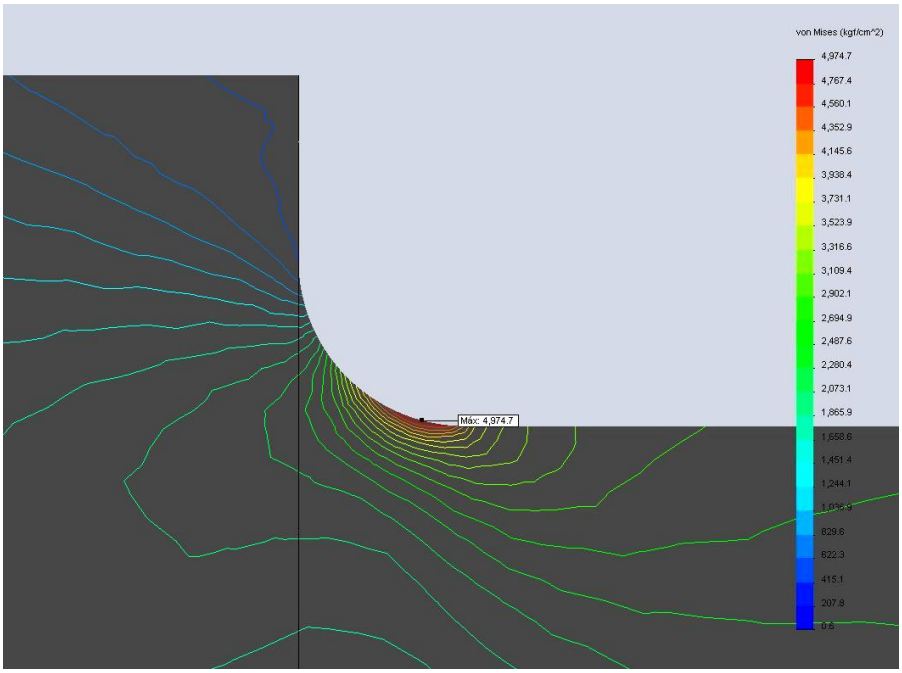


Fig. 5c: Detalle de la configuración de tensiones en el acuerdo

Fig. 5: Valores y distribución de tensiones, graficas de pos-proceso utilizando cortes y líneas de isotensión para la descripción de las configuración de tensiones, simulación mediante modulo COSMOS de Solid-Works, fuente propia.

En los diagramas puede observarse además el resultado de haber tomado las distancias suficientemente grandes a las restricciones y las solicitaciones, las líneas de isotensión muestran una configuración estable y continua lo que evita errores por proximidad de irregularidades asociadas a la condición de contorno, distancias más cortas podrían introducir condiciones de contorno que harían al modelo inválido por las variaciones que generan la distribución longitudinal afectada por rigidez de la restricción y de la superficie de aplicación de la carga.

De los valores obtenidos mediante la simulación se pueden tabular los resultados en la tabla para las distintas configuraciones de parámetros, es de notar que esta tabla representa doce modelos de cálculo para cada uno de los tres mallados, ver la Tabla 3.

Estos resultados se pueden comparar gráficamente con los relevados anteriormente de la carta de Peterson y los calculados mediante la función de la ASME, como se muestra en la Fig. 6.

Tabla 3. Resumen de resultados para las distintas simulaciones, valores de Kts. Fuente propia

Nº	D/d = 1,2	d = 20mm	k_t		
	r/d	r	1º Mallado	2º Mallado	3º Mallado
1	0,014	0,28	2,7323888	3,0419143	2,9334665
2	0,02235	0,447	2,4296143	2,4863305	2,4788338
3	0,0307	0,614	2,2409788	2,2365043	2,221707
4	0,03905	0,781	2,0706338	2,0761288	2,0648248
5	0,0474	0,948	1,9974718	1,9525698	1,93895
6	0,05575	1,115	1,8900053	1,85888	1,848675
7	0,0641	1,282	1,8338778	1,784776	1,7812828
8	0,07245	1,449	1,7587925	1,7246843	1,7223685
9	0,0808	1,616	1,7084348	1,675033	1,6662803
10	0,08915	1,783	1,6721285	1,631387	1,6219278
11	0,0975	1,95	1,6307198	1,594021	1,5857393
12	0,099995	1,9999	1,6255388	1,5837375	1,58099

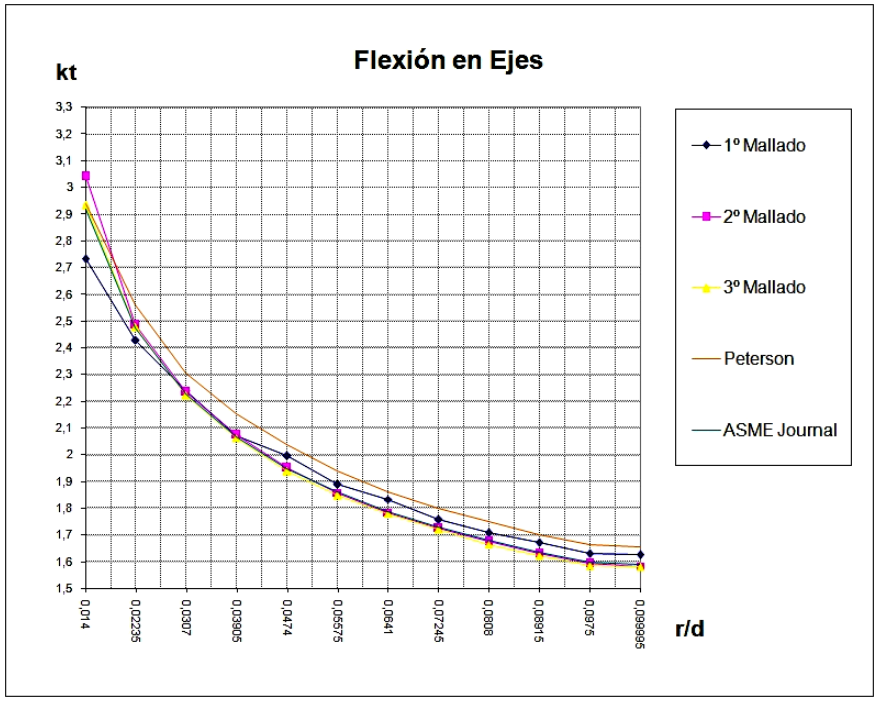


Fig.6: Factor de concentración de tensiones Kts para flexión en un árbol escalonado. Valores obtenidos por MEF versus datos relevados de Leven y Hartman, Wilson y White (Peterson) y S. M. Tipton, J. R. Sorem y R. D. Rolovic (ASME Journal)

5 Discusión de resultados.

El modelo que se está validando es el de la simulación numérica, siendo los valores de referencia los obtenidos empíricamente por el algoritmo de correspondencia del método point matching (Denton: 2002, 18-26). Este utiliza un programa de análisis gráfico de imágenes obtenidas por fotoelasticidad y que se han utilizado eficientemente con excelentes resultados durante los últimos 50 años.

Se observa una similitud significativa entre las curvas generadas por los valores de los tres mallados, con respecto a la curva publicada por ASME Journal, siendo el segundo mallado el que mejores valores arroja para relaciones de r/d superiores a 0,4 con una variación promedio respecto de la curva de ASME Journal de un 0,25%. Para estos mismos valores de r/d el tercer mallado arroja una variación del 0,63% y el primero un 2,05%. Para valores de r/d inferiores a 0,04, el tercer mallado arroja los mejores resultados en comparación con la curva de ASME Journal, con una variación promedio del 0,26%, el primer y segundo mallado varían, en promedio, un 2,36% y un 1,34% respectivamente.

Los valores que arroja el tercer mallado se mantienen en gran medida entre las curvas relevadas de Peterson y ASME Journal, pero para valores de r/d inferiores a 0,065 presenta un comportamiento más errático.

Valores más bajos de Kts tienen la connotación de dar como resultado esfuerzos cortantes menores en el cálculo de la concentración de tensiones y significa la utilización de secciones menores. En el caso contrario, usar valores más altos genera un aumento de las secciones, haciendo consideraciones de mayor seguridad de la pieza resultante.

Hay que mencionar que en el diseño de árboles escalonados, las relaciones de diámetros D/d más usuales son pequeñas, generalmente se encuentran entre 1 y 1,2.

6 Conclusiones

El primer mallado genera un cálculo más rápido y simple que, para valores de r/d superiores a 0,047, se encuentra del lado de la seguridad, si se desea un cálculo de mayor precisión, para estos valores de r/d, se deberá mallar con condiciones similares a las del segundo o tercer mallado.

Con relaciones de r/d inferiores a 0,04 se deberá realizar un mallado de mayor calidad y basado en curvatura, ya que en los valores límites de r/d menores de 0,015 se observan variaciones importantes mallados de menor calidad, por lo resulta necesario aplicar un control de mallado sobre la zona de concentración de tensiones para obtener valores dentro de los parámetros deseados.

El modelado realizado con Solid-Works, permite simular piezas mecánicas eficazmente y los sistemas de visualización del módulo COSMOS se mostraron muy eficientes al mostrar los resultados.

El modelo se valida siempre que se utilice el debido mallado que tenga un número de elementos importante distribuidos en el radio de acuerdo de la entalla. Deben descartarse mallados que presentes poco elementos en las entallas.

Agradecimientos

Este trabajo es impulsado y financiado por los grupos IEMI y DIDEME como estrategia de capacitación de recursos humanos e introducción de métodos numéricos como herramientas de ingeniería. Responde a criterios trabajados en los proyectos de investigación 25/J053, 25/J067 y 25/J080 y forma parte de la Práctica Profesional Supervisada que se desarrollan en el DIDEME.

Referencias

1. Herrerías, A., & Bello, C. (2013). Validación de un modelo matemático para los factores de concentración de esfuerzo en árboles escalonados sometidos a torsión. En E. 2. trabajos, Enseñanza de ciencia empírica en carreras de ingeniería (En prensa). Mendoza: Cuadrado, G. & Gomez, L. editores.
2. Norton, R. L. (2011). Diseño de Máquinas. Un enfoque integrado. Barcelona: Pearson Edaucación.
3. Peterson, R. E. (1974). Stress concentration factors. Nueva York: JonWiley & Sons Inc.
4. Pilkey, W. D. (1997). Peterson`s stress concentration factors (2ª ed.). Nueva York: John Wiley & Sons Inc.
5. Seely, F. &. (1967). Curso superior de resistencia de materiales. Buenos Aires: Nigar.
6. Shigley, E. (2004). Diseño en Ingeniería Mecánica. México D.F.: Mc Graw Hill.
7. Tipton, S. M., Sorem, J. R., & Rolovic, R. D. (1996). Updated Stress-Concentration Factors for Filleted Shafts in Bending and Tension. ASME Journal of Mechanical Desing, vol 118, núm. 3 , 321-327.

ÁREA VII EnIDI

NUEVAS TECNOLOGÍAS

TRABAJOS COMPLETOS

Método para detección de Giros y Puntos de Interés a partir de Trayectorias de un Móvil Capturadas por GPS

Mariana Brachetta, Julio Monetti, Oscar Leon

Departamento de Ingenieria Sistemas de Informacion, Facultad Regional Mendoza - UTN,
Rodriguez 273,
5500 Mendoza, Argentina
{mariana.brachetta,jmonetti,oleon}@frm.utn.edu.ar

Resumen. El presente trabajo describe un método para detectar y proyectar esquinas (cruces de calles), a partir de un conjunto de trayectorias de vehículos (trazas), capturadas desde un dispositivo GPS. Dicho método, se basa en el uso de dos algoritmos complementarios. Un primer algoritmo para la detección de giros (esquinas potenciales) y un segundo algoritmo de consolidación de esquinas que analiza conjuntamente todos los puntos identificados como esquinas potenciales, para todo el conjunto de trazas capturadas, a fin de consolidar una base de coordenadas de esquinas reales. Entendiendo por "esquina real", una coordenada que al proyectarla sobre un plano satelital, se aproxime a un cruce concreto en un radio preestablecido (por ejemplo +/-5mts.). Complementariamente en cada esquina real proyectada, el algoritmo permite identificar los posibles sentidos de circulación permitidos en dicho punto. De esta manera y bajo ciertas restricciones, es factible construir planos de tránsito para una ciudad, tomando como único insumo las trayectorias de vehículos capturadas por dispositivos GPS.

Palabras Clave: Ingeniería de Tránsito – GPS – Azimut – Flujo Vehicular

1. Introducción

El presente trabajo, enmarcado en el proyecto de investigación "Automatización en la captura de datos para el modelado de flujo vehicular en zonas urbanas" [1], desarrollado en la Facultad Regional Mendoza de la UTN, presenta resultados sobre la investigación de métodos y construcción de algoritmos que permiten identificar giros de un automóvil, procesando la traza de su trayectoria, capturada desde un dispositivo GPS. Para completar escenarios de simulación, se torna necesario obtener datos sobre los giros de un vehículo en movimiento, que por sus características, describan un posible cruce de calles (*Esquina Potencial*). Como resultado de dicho trabajo, se implementan y prueban dos algoritmos alternativos. Algoritmo 1: Uso del Angulo de Azimut. Algoritmo 2: Método de las diferencias [2] que conducen a resultados satisfactorios en términos de encontrar un conjunto de coordenadas que representan esquinas potenciales.

Se presenta a partir de esto el desarrollo de un algoritmo que permite analizar conjuntamente todos los puntos identificados como esquinas potenciales, para todo el conjunto de trazas capturadas, a fin de consolidar una base de datos de coordenadas que refieren a esquinas reales. Entendiendo por "esquina real" una coordenada que al

proyectarla sobre un plano satelital, se aproxima a un cruce concreto en un radio preestablecido (por ejemplo +/-5mts.). Complementariamente en cada esquina real proyectada se pueden identificar los posibles sentidos de circulación permitidos en dicho punto.

Como se mencionó anteriormente, toda esta información debe obtenerse a partir del procesamiento de los datos capturados por un GPS sobre las trayectorias de un móvil, sin agregar ninguna otra información adicional. De forma tal que, en la medida que se alimenta la base de datos con nuevos datos, se va construyendo un plano real a partir de las trazas capturadas.

En la sección 2 se explican los fundamentos que sustentan el algoritmo de proyección de esquinas potenciales mediante la comparación de sucesivos *azimutes* [3] y [4], junto a una descripción detallada de los problemas que deben analizarse y resolverse para satisfacer la construcción de los mismos, y luego llegar a obtener resultados útiles y confiables para realizar futuros modelos.

Se describe el uso de algunos conceptos topográficos utilizados en las tareas de pre-procesamiento de trazas para adecuar los datos capturados por dispositivos GPS. Dicho procesamiento produce una normalización de los datos, disponiéndolos en función de las medidas utilizadas (coordenadas, ángulos, etc.) y luego garantizando que estos resulten útiles y conduzcan a resultados consistentes en relación al objetivo de proyección de esquinas reales.

Luego, en la sección 3 se aborda el desarrollo del algoritmo de consolidación de esquinas, mediante una explicación genérica de los pasos involucrados en el mismo, sus entradas y salidas.

Finalmente se presentan e ilustran resultados concretos de la aplicación del método a un conjunto de trazas capturadas por dispositivos GPS en el Gran Mendoza; a partir de lo cual se documentan las conclusiones generales del trabajo.

2. Método de detección de esquinas potenciales: Algoritmo del Angulo de Azimut

El Azimut es el ángulo descripto entre el meridiano 0 (cero) y la dirección que lleva un móvil, tomado desde el norte. Es decir, el ángulo que se forma entre el norte geográfico[1] y la dirección de marcha del móvil, medido en el sentido de las agujas del reloj. En general, se lo denomina Azimut topográfico o Azimut verdadero (*Azv*) para diferenciarlo del rumbo[2].

La siguiente tabla, describe la dirección de un móvil según su Azimut topográfico:

[1] Norte Geográfico (Polo Norte): Es el extremo superior del eje imaginario alrededor del cual, gira la tierra.

[2] En ciertas disciplinas como la Náutica se considera el azimut como sinónimo del rumbo. Sin embargo, se debe tener claro que este último (también llamado azimut magnético) es el que determina la aguja de la brújula, al señalar al norte magnético, que difiere del norte geográfico.

Tabla 1. Dirección de un móvil según su Azimut

Norte 0° o 360°	Sur 180°
Este 90°	Oeste 270°

La figura 1 muestra algunos ejemplos de *Azimutes* de acuerdo a los valores presentados en la tabla 1.

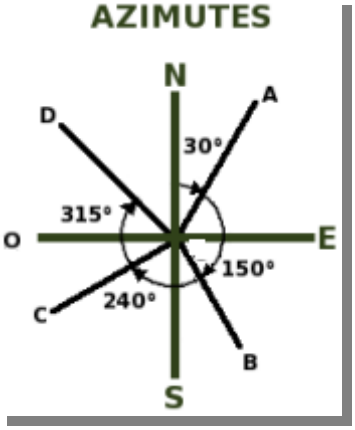


Fig. 1. Azimuts Topográficos. Corresponde a la relación entre el grado del azimut en un punto y la dirección del móvil en ese punto.

Muchos dispositivos GPS proporcionan en tiempo real, entre otros datos y medidas, el ángulo de azimut. El algoritmo propuesto en este trabajo se vale de este dato para procesar adecuadamente un conjunto de trazas, generadas por la circulación de un vehículo en la ciudad, y comparar los *azimutes* sucesivos con el objeto de detectar cambios de dirección que superen un ángulo previamente establecido como parámetro. En aquellos casos en que la variación entre dos *azimutes* consecutivos supere el parámetro indicado (al cual en adelante se menciona como *variaciónAzimut*), el algoritmo supone la existencia de una esquina potencial. Se debe tener en cuenta, en este punto, que los grados del GPS son cartográficos, es decir decimales. Se describe a continuación la estructura lógica del algoritmo.

Descripción preliminar del algoritmo

Entradas: archivo de texto con una traza capturada por dispositivo GPS. De este archivo se toman como datos de entrada al método, las coordenadas de cada punto y el ángulo de azimut en ese punto.

Salidas: arreglo con las coordenadas de los puntos que se han determinado como esquinas potenciales para la traza de entrada.

Paso 1: Para cada par de puntos a y b consecutivos en la traza, obtener:

Azv (a) = Azimut en el punto a //ángulo de azimut provisto por el GPS en la coordenada correspondiente al punto a.

Δzb (b) = Azimut en el punto b //ángulo de azimut provisto por el GPS en la coordenada correspondiente al punto b.

Paso 2: Comparar la variación entre Azimuts consecutivos en términos absolutos

a. Si *(|Azv(a) – Azv(b)| > variaciónAzimut)* entonces tomar como coordenada de aproximación de la esquina potencial el punto *b*.

Paso 3: Si se procesaron todos los puntos de la traza, finalizar y devolver el arreglo de esquinas potenciales proyectadas. Sino volver al Paso 1.

En síntesis, la lógica que sustenta el algoritmo es muy sencilla y propone: si la diferencia entre los *azimutes* de dos puntos consecutivos en una traza supera el ángulo de giro establecido como parámetro, entonces se produce un cambio de dirección que puede, potencialmente, corresponder a una esquina.

Luego de aplicar el algoritmo a múltiples trazas y mapear los resultados en Google Maps [7], se realiza un primer ajuste al parámetro *variaciónAzimut*, concluyendo que para el conjunto de pruebas el mismo debe oscilar entre los 60° y los 90°.

Problemas encontrados

Al comprobar empíricamente la aplicación del algoritmo, se detectan que en función de diferencias en la captura de datos, las trazas incluyen una serie de inconsistencias que conducen a *falsos positivos* en la proyección de las potenciales esquinas identificadas. Estos falsos positivos generan conflictos graves al aplicar luego métodos de interpolación en la nube de puntos generada, para identificar una esquina real. También se observan situaciones de *esquinas no detectadas*: puntos en los que el móvil ha girado describiendo una esquina potencial, pero el algoritmo no lo detecta como tal. Estos casos producen un vacío de información para el método de consolidación de esquinas.

Se mencionan a continuación algunas situaciones puntuales identificadas, a fin de ilustrar mejor cada caso:

- Falsos positivos: Un análisis detallado de las trazas permite identificar ocasiones en que la variación del ángulo de azimut entre dos puntos implica un cambio de sentido del móvil (giro de 180 ° o superior). No obstante, al proyectar estos puntos sobre el plano satelital se verifica que no existe una esquina real. Un análisis detallado de múltiples casos similares, permite concluir que estos casos evidencian errores de captura del GPS al calcular el *azimut* en determinados puntos. También deben ser depurados por un algoritmo en tiempo de pre-procesamiento movimientos del móvil marcha atrás, o giros en U. Como dato adicional, cabe destacar que estos errores se producen en trazas donde el móvil presenta una trayectoria definida en un único sentido de circulación.
- Falsos positivos por azimut en 0°: también se identifican casos donde existen variaciones del ángulo de *azimut*, calculado para un móvil que prácticamente no se ha movido (Por ej. Solo avanzó 1 metro. Pero el azimut varió en más de 90°). Se identifica que cuando la velocidad del móvil tiende a cero, el GPS calcula un *azimut* de 0°. Por ello, en una primera versión del algoritmo, las coordenadas con *azimutes* en 0° se excluyen de la traza bajo análisis, dado que se entiende implicaban puntos en los que el móvil se encuentra detenido. No obstante, luego de analizar múltiples casos, se identifica que simplemente ignorar los puntos con *azimutes* en 0° puede conducir a errores en la identificación de esquinas potenciales; puesto que en muchos casos un *azimut* en 0° indica que el móvil se dirige hacia un norte exacto y este valor debe ser tenido en cuenta por el algoritmo.

Solución propuesta

En función de los problemas analizados, se resuelve que el primer trabajo a realizar es hallar criterios adecuados para el pre-procesamiento de las trazas, a fin de que los datos considerados luego, tanto por los algoritmos de cálculo de esquinas potenciales, como por el algoritmo de consolidación de esquinas y detección de sentido resulten consistentes y arrojen resultados correctos.

Recién al obtener resultados satisfactorios se aborda nuevamente el desarrollo e implementación del algoritmo de consolidación de esquinas y detección del sentido de circulación del móvil en cada esquina real.

En particular, se realizan las siguientes mejoras al algoritmo de cálculo de esquinas por *azimut*:

a. Se busca una esquina potencial comparando que la *variaciónAzimut* entre dos puntos, esté comprendida entre un ángulo mínimo (en general funciona bien con un ángulo de 70°) y un ángulo máximo (en general funciona bien con un ángulo de 270°). El mínimo asegura que no se consideren giros que no llegan a ser una esquina. El máximo garantiza que no se halla invertido totalmente el sentido (por ejemplo: el móvil se dirigía hacia el norte y de pronto se dirige hacia el sur). Se detectan este tipo de situaciones en algunas

trazas, en la cuales el recorrido tiene claramente un sentido. Por ello, al considerarse que son diferencias no esperadas en las mediciones del GPS al calcular el *azimut* en determinados puntos, o que el móvil pudo hacer marcha atrás, o girar en U; estas situaciones son depreciadas.

b. Se trabaja sólo sobre puntos que mantienen una distancia mínima (*parámetro_distancia_mínima* en metros) entre sí. Aquellos puntos que no se encuentran a una distancia mínima del punto anterior, simplemente se descartan. Esto se tiene en cuenta para cubrir el caso de variaciones significativas del ángulo de azimut entre dos puntos, calculado para un móvil que prácticamente no se ha movido; lo que evidencia claramente un *azimut* erróneo.
c. Se agrega al algoritmo de cálculo de esquinas por *Azimut*, la capacidad de detectar el sentido de circulación del móvil en cada esquina potencial. La siguiente tabla, ilustra las condiciones establecidas en este sentido.

Tabla 2. Condiciones de sentido del móvil según su Azimut

* Si azv>350 || azv<= 10 --> Norte
* Si azv> 10 &&azv<=80 -->Nor-Este
* Si azv> 80 &&azv<=100 --> Este
* Si azv>100 &&azv<=170 --> Sur-Este
* Si azv>170 &&azv<=190 --> Sur
* Si azv>190 &&azv<=260 --> Sur-Oeste
* Si azv>260 &&azv<=280 --> Oeste
* Si azv>280 &&azv<=350 -->Nor-Oeste

Una vez introducidas estas mejoras y comprobados los resultados satisfactorios en la proyección de esquinas potenciales, se abordó nuevamente el desarrollo del algoritmo de consolidación de esquinas.

3. Algoritmo de consolidación de esquinas

El algoritmo de consolidación de esquinas parte de una base de coordenadas que representan esquinas potenciales, las ordena y agrupa por proximidad; y luego, a partir de un trabajo de interpolación en nube de puntos, proyecta esquinas reales.

Básicamente, el método propone que si muchos puntos (detectados como esquinas potenciales: giros de un móvil que presentan características de una posible esquina), caen en un radio de +/- *x* cantidad de metros, entonces, se verifican condiciones suficientes para determinar que existe allí un cruce de calles o esquina real.

Entradas: archivo de texto con todas las esquinas potenciales detectadas.
Salidas: archivo de texto con las coordenadas de los puntos que se han determinado como esquinas consolidadas con los sentidos de circulación posible en dicho punto.

Descripción del algoritmo

Paso 1: Agrupar esquinas potenciales

Leer el archivo de entrada y cargarlo en un arreglo. Dicho arreglo contendrá entonces las esquinas potenciales detectadas por el algoritmo de azimut, cargadas tal como se leyeron del archivo sin ningún orden preestablecido.
Agrupar las coordenadas por proximidad, construyendo una matriz, en la que cada fila representa todos los puntos que caen dentro de un radio determinado, tomando ese radio a partir del primer punto que se procesa, en cada grupo.

Paso 2: Consolidar esquinas

Procesar cada una de las filas de la matriz construida en el Paso 1 (conjunto de coordenadas próximas - que caen dentro de un radio preestablecido). De cada fila, obtener una nueva coordenada que se propondrá como esquina consolidada (esquina real). Esta nueva coordenada es el punto medio de cada grupo (fila), calculada del siguiente modo:

1. Se ordenan los puntos del grupo de menor a mayor por latitud y se busca el punto medio como: *MenorLatitud + (MayorLatitud - MenorLatitud)/2*
2. Se ordenan los puntos del grupo de menor a mayor por longitud y se busca el punto medio como: *MenorLongitud + (MayorLongitud - MenorLongitud)/2*
3. Cada esquina consolidada se va guardando como un elemento del arreglo de esquinas que devuelve el método, el cuál finalmente se persiste en un archivo de texto.

Se debe tener en cuenta que se trabaja sobre una matriz cuadrada.

4. Base tecnológica utilizada para la programación de los algoritmos

Obtención de Datos

Para la obtención de datos se utiliza un dispositivo GPS GARMIN Etrex Vista HCx, el cual resulta adecuado para la captura de datos, los cuales se ajustan tanto a las variables de medición para el posterior modelado, como así también al tiempo medio mínimo de tiempo necesario entre trazas.

Por su grado de generalidad y acceso también se analizó la aplicación de *Smartphones* para la adquisición masiva de datos, encontrándose que los mismos son extremadamente dependientes del software que poseen, no encontrando estándares que permitan una obtención de datos homogéneamente confiables.

Codificación de Algoritmos

Los autores codifican los algoritmos mencionados en lenguaje Java, bajo el entorno de desarrollo Netbeans. Las clases centrales del modelo, orientado a objetos, son:

Clase Coordenada: entidad que describe a un punto capturado por el GPS en la traza. Una coordenada está descripta por su latitud y longitud.

```
abstract class Coordenada {
    float latitud;
    float longitud;

    float distanciaLineal(Coordenada C){
        ...
    }
}
```

Fig. 2. Se describe un tipo de dato abstracto en Java para encapsular toda la funcionalidad necesaria relacionada con una Coordenada. (Se ejemplifica un método para obtener la distancia lineal entre dos coordenadas, y se omiten detalles de implementación de otros métodos).

Clase CoordenadaAzimut: Este tipo de datos abstracto es una especificación del anterior, y agrega funcionalidad hereda de la clase *Coordenada* y suma el ángulo de *azimut* capturado por el GPS para la coordenada.

```
class CoordenadaAzimut extends Coordenada{

public Vector limpiarTraza(Vector coordenadas,double
                                factorDeVariacion){...}
public void setAzimut(int angulo){...}
...
}
```

Fig. 3. El tipo de dato abstracto (clase Java) *CoordenadaAzimut*, extiende las capacidades provistas por la clase *Coordenada*, añadiendo funcionalidad específica para el trabajo con ángulos de *azimut*.

Clase Cruce: en ella se implementan métodos para leer coordenadas de las trazas y escribir archivos con las esquinas proyectadas. También se implementa aquí el algoritmo de azimut y el algoritmo de consolidación de esquinas.

```
class Cruce {
public Vector agrupar_EsquinasPotenciales(Vector coordenadas) {...}
public Vector consolidar_Esquinas(Vector grupos) {...}
...
}
```

Fig. 4. La clase *Cruce* presenta, entre otras tareas, la funcionalidad suficiente para disponer en nuevas estructuras de datos la información sobre puntos de interés ya consolidados y verificados.

De las figuras 2 a 4 se evidencia que el grupo ha adoptado una metodología de desarrollo que tiene por objeto una fuerte abstracción de la realidad, adoptando los tipos de datos necesarios para el modelado de flujo vehicular. Se utiliza el lenguaje Java, considerado el adecuado para un desarrollo ágil del sistema acá propuesto.

A través de los tipos de datos descritos, y otros más específicos, el sistema tiene la posibilidad de procesar, clasificando, sumarizando y extrayendo datos específicos de las diferentes trazas. Esto permite obtener datos en crudo que son analizados por los algoritmos de detección de esquinas para *proponer* potenciales esquinas o puntos de interés.

Luego, las esquinas proyectadas son mapeadas sobre *googlemaps*, haciendo uso del lenguaje PHP [5] y [6] y la API de Google Maps [googlemaps].

La definición de nuevos tipos de datos que acompañen y se adecuen a los algoritmos propuestos permite crear una mejor abstracción del sistema de información propuesto. En particular, resulta conveniente la determinación de nuevos tipos de datos que permitan abstraer la realidad que se intenta simular.

5. Resultados Obtenidos

Se aplica en primer lugar el algoritmo de cálculo de esquinas potenciales por comparación de *azimutes* sobre todo el conjunto de trazas disponibles (Recorridos de un móvil en el gran Mendoza). A partir de ello se conforma una base de esquinas potenciales. Luego se aplica el método de consolidación de esquinas sobre la base de esquinas potenciales obtenida en el punto anterior.

El resultado es una base de esquinas reales, que proyectadas en *googlemaps* arroja un plano con identificación de esquinas (puntos de interés). De dicho plano se extraen, con fines ilustrativos, los siguientes recortes:

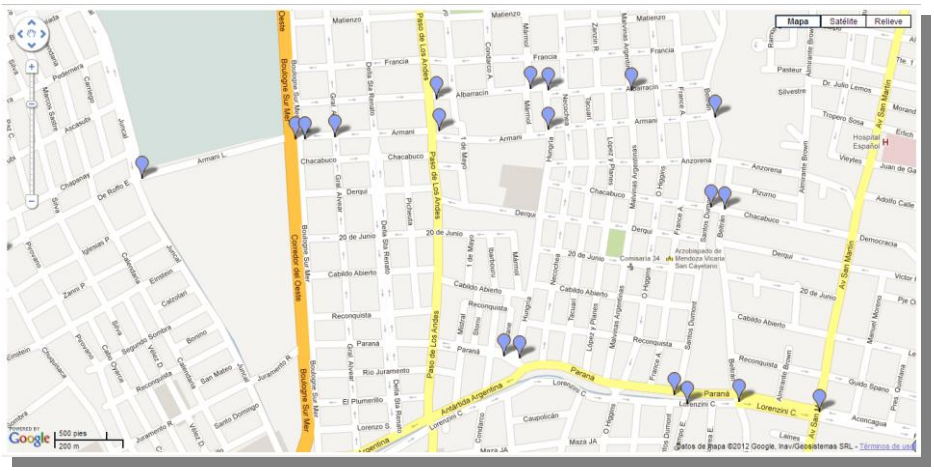


Fig. 5. Plano de localización de esquinas reales proyectadas.

En la Figura 5 se puede aprecia las esquinas consolidadas, proyectadas sobre *googlemaps*, luego de procesar 30 trazas con diferentes recorridos en un sector acotado del Gran Mendoza. La Figura 6 amplia una porción de este plano para que pueda observarse con mayor precisión la ubicación de esquinas.

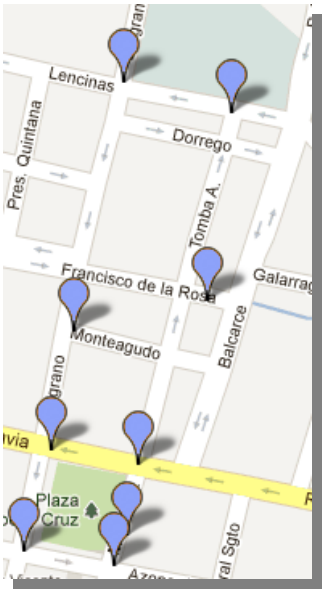


Fig. 6. Ampliación de un sector del plano de proyección de esquinas reales.

Cada globo azul en el mapa, representa la coordenada de una esquina calculada por el método propuesto. Como puede observarse en las figuras precedentes, las cuáles son un recorte representativo del plano construido para el Gran Mendoza, el método arroja resultados satisfactorios a partir de un mecanismo de cálculo muy sencillo y de bajo costo. No obstante, como puede observarse en la siguiente figura, aún resta resolver algunas situaciones especiales como el tratamiento en rotondas y/o retornos.

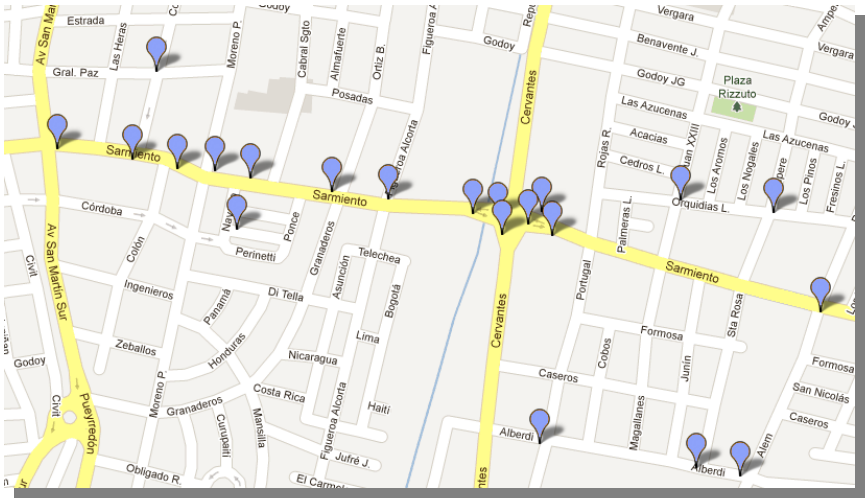


Fig. 7. Comportamiento del algoritmo en situaciones especiales, bajo áreas de estudio irregulares, como por ejemplo rotondas.

En la Figura 7 pueden observarse que la proyección de esquinas falla cuando el móvil gira en una rotonda.

6. Validación de Datos Obtenidos

La obtención de nuevos datos permite la creación de una base de datos con las coordenadas de los puntos de interés. A partir de la misma, se realizan tareas de mantenimiento y auditoría para validar la nueva información.

Cada nuevo punto de interés (o esquina) es dispuesto en una clase Java, la cual por sus características permite funcionalidades útiles para la verificación de datos, como resultan por ejemplo la función *distancia(Coordenada1, Coordenada2)* , para la obtención de distancias entre puntos de interés.

Luego, cada clase cuenta con la posibilidad de persistirse, previa validación, en la base de datos de nuevos puntos de interés. Esta base de datos será explotada por aquellos sistemas que intentan modelar diferentes escenarios de tránsito.

Conclusiones

Los autores se encontraron oportunamente con un problema al tratar de obtener datos sobre mapas digitalizados con información georeferencial. En función del trabajo realizado, se concluye que es factible la identificación de cruces vehiculares e identificación del sentido de circulación a través de datos obtenidos en tiempo real, con un nivel de precisión de *+/-10* metros, tomando como único insumo de información las trayectorias del móvil capturadas por un GPS (trazas).

Los algoritmos desarrollados arrojan resultados satisfactorios en la mayor parte de los casos, para las trazas procesadas. Resta aún resolver algunos casos puntuales que generan falsos positivos. En particular, de 155 esquinas reales calculadas, sobre un total de 90 trazas capturadas, solo 15 fueron falsos positivos y 12 más correspondieron a falsos positivos (en zonas menos regulares, como por ejemplo rotondas). Esto evidencia que en el 83% de los casos la proyección fue exitosa. Se estima que este número mejoraría significativamente en la medida que se agregaran más colecciones de trazas al cálculo de esquinas potenciales. Es decir, a mayor cantidad de datos de entrada, mejores resultados.

Se propone como trabajo futuro la identificación de nuevos criterios para el pre-procesamiento y depuración de los datos capturados, lo que permita excluir del análisis, situaciones puntuales de conflicto como grandes avenidas, rotondas, rulos, etc.

Se concluye que el trabajo realizado resulta de suma utilidad a los fines de proveer información al proyecto de investigación del flujo vehicular en el que se enmarca, así como también propone un recurso creativo para la reconstrucción de planos de ciudades a partir de capturas de trazas que pudieran colectarse colaborativamente desde los vehículos que recorran las ciudades.

Agradecimientos

Se agradece al Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información y a la Facultad Regional Mendoza de la UTN por proveer las posibilidades y el marco para la realización de la presente investigación.

Referencias

1. Monetti, Julio. (2011) Informe Interno de Avance: “Modelo de Capas para una librería de funciones destinada al procesamiento de datos provenientes de un dispositivo GPS”. Mendoza. Facultad Regional Mendoza–UTN. Documento electrónico disponible en: http://grid2.frm.utn.edu.ar/proyecto/informe1.
2. Brachetta, M. & Otros. Informe Interno de Investigación. Grupo de Investigación sobre Dinámica Vehicular, disponible en http://grid2.frm.utn.edu.ar/wikitransito.
3. Strang, G., Borre, K.: Linear Algebra, Geodesy, and GPS. Wellesley-Cambridge Press. USA (1997). ISBN 0-9614088-6-3.
4. Wolf, Paul & Ghilani Charles (2009) Topografía. 11a Edición. Editorial: Alfaomega Grupo Editorial. ISBN: 9789701513347.
5. Converse T., Morgan C.: Php 5 and Mysql Bible. Wiley Publishing Inc. USA (2004). ISBN: 0-7645-5746-7.
6. Lerdorf, R., Tatroe, K.: Programming PHP. O’Reilly. USA (2002). ISBN: 1-56592-610-2
7. Googlemaps. Disponible en https://developers.google.com/maps/?hl=es

Análisis de datos Provenientes de Pruebas Sensoriales del Vino, Utilizando la Lógica Borrosa

Matilde Césari [a] , Ricardo Césari [b], Adriana Gámbaro [c], Enrique Arnau[d],

[a] Cátedra de Ingenieria Sistemas Basados En Conocimiento, Facultad Facultad Regional Mendoza- Universidad Tecnologica Nacional Rodriguez 273- (5500) Mendoza, Argentina. matilde.cesari@frm.utn.edu.ar

[b] Grupo LECER , Facultad Regional Mendoza- Universidad Tecnologica Nacional ricardocesari@ymail.com

[c] Sección Evaluación Sensorial Cátedra de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Facultad de Química Universidad de la República Avda. Gral. Flores 2124, C.P.11800, Montevideo, Uruguay agambaro@fq.edu.uy

[d] Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jujuy. Gorriti Nº 237 San Salvador de Jujuy, Argentina. earnau@arnet.com.ar

Resumen. Catadores o consumidores, en las pruebas sensoriales, valoran una serie de productos para determinar sus características las cuales conducen a recoger datos sensoriales voluminosos; los métodos multivariados, reunidos bajo el nombre de sensometría, juegan un papel importante en el análisis de dichos datos. Se hace imprescindible buscar técnicas más objetivas para medir, representar y analizar estos datos; por tanto, surge la necesidad de estudiar la aplicación de la "lógica borrosa" en la representación y agregación de los datos sensoriales. Gracias a la facilidad de aplicación de esta y de los métodos multivariados, se realizaron estudios en el marco de un proyecto PID UTN (1584/2012), con la idea de establecer un esquema metodológico, mediante la caracterización de muestras de vino Malbec de diferentes regiones de Mendoza. De esta manera, se proponen tecnologías que combinan procedimientos de clasificación, agrupamiento y validación estadística; con el enfoque de la Escuela Estadística Francesa sobre escalas lingüísticas borrosas, aportando mejoras en la técnica cuantitativa actual que trabaja sobre escalas numéricas y utiliza estadística de inferencia sobre medias aritméticas. Los resultados obtenidos son prometedores en la optimización de técnicas sensoriales, desarrollando un área que mejorará el valor económico en la producción vitivinícola de Argentina.

Palabras Clave: escala sensorial, lógica borrosa, difuso, análisis multivariado.

1 Introducción

Los seres humanos utilizan toda una variedad de sentidos en la percepción de la calidad del alimento, la complejidad de estas percepciones crea muchas dificultades a los analistas sensoriales.

El análisis sensorial es una disciplina científica que resulta muy útil en la medición, análisis e interpretación del complejo de sensaciones que experimentan las personas frente a determinadas características de un producto alimenticio. [1]. Constituye un instrumento eficaz para el control de calidad y aceptabilidad de un alimento de diversas industrias, como carnes [2], aceite de oliva y aceituna [3], quesos (Coste), mosto de uva [4], cereza [5] y otros.

El éxito y confiabilidad de los resultados de estas pruebas dependen en gran medida de la selección y entrenamiento de los jueces para lograr la máxima veracidad, sensibilidad y reproducibilidad en los juicios que emitan [6]. Sin embargo, para obtener los mejores resultados posibles en los procesos de ES, el tipo de escala que se debe utilizar tiene que ser [7]: Útil a los jueces, los descriptores usados en las escalas sensoriales deben ser familiares, fácilmente inteligibles y nada ambiguos; deben estar relacionados con el producto y la tarea a realizar. Fácil de utilizar, si una escala es difícil de utilizar, se producirá frustración en los jueces y se incrementara el número de errores. Valida, la escala debe medir ese atributo, característica o actitud; por ejemplo, las escalas de preferencia deben medir la preferencia que se tiene por un producto que se esta evaluando. Sensible a las diferencias, la longitud de la escala y el número de valoraciones son variables que tienen un efecto significativo.

En el caso particular del vino, sólo la Evaluación Sensorial (ES) permite medir y valorar el placer obtenido al beber vino. Tanto el viticultor y el enólogo, no tienen otro método más efectivo para controlar la vinificación [8]. En definitiva, la ES del vino, proporciona información valiosa acerca de cómo es la bebida que esta catando que por un lado, permitirá valorar la bondad del método de elaboración utilizado y, por otro, establecer si el vino obtenido se adecua a los requisitos predefinidos por el tipo de consumidor [9].

Dentro de la ES existen multitud de pruebas, sensoriales diferentes en función del objetivo buscado. Destaca el análisis descriptivo que consiste en una representación de las propiedades sensoriales, y el análisis discriminativo que se emplea en la industria alimenticia para encontrar diferencias entre dos productos. Dichas pruebas conducen a recoger muchos datos sensoriales. Por lo tanto, los métodos reunidos bajo el nombre de sensometría, juegan un papel importante en el análisis de dichos datos.

La sensometría define y pone a punto metodologías de análisis estadístico de datos sensoriales, resultados de degustaciones en la industria agroalimentaria. Se habla de datos llamados sensoriales porque son generados en la percepción a través de los sentidos de las personas. Se encuentra en pleno desarrollo por lo que continuamente surgen nuevos problemas que exigen técnicas estadísticas más sofisticadas.

En la revisión bibliográfica sobre el análisis de datos provenientes de pruebas sensoriales aparece una problemática aún no tratada por los especialistas En primer lugar, la dificultad de conseguir que una respuesta humana precisa y reproducible. La escala es el instrumento que se utiliza para medir las respuestas sensoriales y es fundamental dentro de la ES. En este sentido, sus métodos poseen limitaciones, puesto que se trabaja con paneles de laboratorio constituidos por personas que proporcionan la información percibida por sus sentidos, por ende, este tipo de información implica siempre subjetividad o vaguedad. Además, el intercambio de apreciaciones entre individuos se caracteriza por la diversidad de lenguaje propia de la interacción humana.

Hay diferencias en las percepciones sensoriales individuales en cuanto a gustos, sonidos, formas, iluminación, olores, etc., de tal forma que cada sujeto tiene una imagen global del mundo [1]. Igualmente, esta variabilidad esta reforzada por la educación, nivel social, cultura y personalidad del catador.

La correcta elección de la escala, puede modificar el éxito de un proceso de evaluación [10]. Por lo tanto, tambien existen inconvenientes en la elección del tipo de escala para medir las percepciones sensoriales imprecisas.

Se hace imprescindible buscar técnicas más objetivas para medir, representar y analizar estos datos sensoriales. Tradicionalmente, la incertidumbre ha sido modelada a través de la teoría de la probabilidad, sin embargo, existen diferentes tipos de incertidumbre, las que se pueden representar más adecuadamente con otras teorías, tales como la lógica borrosa y las teorías de las posibilidades. La teoría de la posibilidad, constituyen modelos que resultan especialmente útiles para tratar con la incertidumbre de manera más "natural" y más "humana" que la lógica y la teoría de conjuntos clásicas. Desde el punto de vista tecnológico, las lógicas borrosas se encuadran en el área de la llamada Inteligencia Artificial y han dado origen a sistemas expertos de tipo difuso y a sistemas de control automático.

La Lógica borrosa, se fundamenta en el concepto "todo es cuestión de grado" y se rige por la teoría de los conjuntos difusos. Por tanto, es un tipo de raciocinio que no reconoce solamente simples valores verdaderos o falsos, más bien utiliza grados de posibilidad. Por ejemplo, la frase “hoy es un día soleado” puede ser 100% verdad si no hay nubes, 80% de verdad si hay pocas nubes, 50% de verdad si existe neblina y 0% si el cielo está totalmente cubierto. [11].

Las palabras son menos precisas que los números, por lo que las variables lingüísticas borrosas sirven a este propósito otorgando un significado más aproximado. Cada valor de una variable lingüística representa un número borroso, descrito por su función de pertinencia (grado de veracidad). Por ejemplo, "la intensidad del matiz visual de una copa de vino percibida por un catador" es una variable lingüística que podría tomar los valores ausencia, muy débil, débil, fuerte y muy fuerte [12]. Es un medio de trasladar conceptos o descripciones lingüísticas a descripciones numéricas que pueden ser tratadas automáticamente. Muchas herramientas informáticas ya existentes pueden ser extendidas para operar variables lingüísticas, obteniendo las ventajas de la lógica borrosa en gran cantidad de aplicaciones. Pueden combinarse matemáticamente utilizando un proceso en el que la valoración borrosa de cada catador es agregada para obtener un número borroso único.

Los ***métodos Multivariados de Análisis de datos***, **i**ntegra técnicas y herramienta del análisis estadístico factorial de datos, que permite descubrir patrones, regularidades y relaciones entre variables en grandes bases de datos. Constituye una tecnología que combina procedimientos de clasificación, agrupamiento y validación estadística; con el enfoque de la Escuela Estadística Francesa. Recientemente, debido a la influencia de los autores de esta escuela, se procura la representación de toda información por medio de gráficos, antes, durante y después de un análisis numérico de datos, ya que la información que se deriva de un gráfico es siempre de tipo cualitativo y es más fácil de interpretar.

Este enfoque ha producido buenos resultados a la hora de modelar la información vaga e imprecisa en diversos campos de aplicación como la industria de la alimentación [13; 14; 15; 16; 17; 18]. En Martinez [19], fue introducido un modelo lingüístico de evaluación sensorial donde la información esta modelada mediante información lingüística basada en la lógica borrosa, el mismo aplicado en la evaluación de Aceite de Oliva [20] pero actualmente no se dispone de criterios y métodos armonizados y normalizados para una ES objetiva y reproducible en vinos [21].Sin embargo, en estos últimos años se ha trabajado con modelos y sistemas de inferencia en lógica borrosa para la mejora del análisis sensorial de aceites de oliva mediante el uso de metodologías basadas en la lógica borrosa [22] y determinación de si una bebida será potencialmente aceptada -o rechazada- por el consumidor, tomando como un ejemplo práctico la evaluación de una muestra de una bebida a base de piña [23]. A pesar de estas referencias, se observa una carencia de antecedentes para el análisis de datos provenientes de escalas borrosas.

En las condiciones anteriores se plantea la necesidad de habilitar herramientas en los estudios sensoriales del vino, que permitan operar con la incertidumbre inherente a las opiniones expresadas por personas que, normalmente, vendrán definidas en valores lingüísticos. En consecuencia a lo expuesto el problema que se percibe de interés tecnológico en el marco del análisis sensorial es el aporte de la aplicación de la lógica borrosa como una metodología de estimación de las propiedades sensoriales, permitiendo convertir las respuestas categóricas en modelos continuos de fácil regresión [24].

Se busca ilustrar, con una base de datos relativamente reducida procedentes de pruebas sensoriales descriptivas de diversas muestras “no comerciales” de vino Malbec provenientes de regiones vitivinícolas de Mendoza, la aplicación de la lógica borrosa y su utilización para la calificación de las muestras de vino, con datos aportados por el área de enología de la EEE-INTA Mendoza [25]; que la representación de los datos borrosos a través de tablas cuantitativas facilitará la aplicación de técnicas de análisis multivariado conocidas y abrirá un nuevo paradigma de conocimiento más preciso.

Este trabajo se enmarca dentro de la tesis Doctoral de la Carrera en Red en Alimentación del Norte Argentino (UNJujuy) sobre "Estudio de modelos borrosos para determinar calidad sensorial de alimentos", y tubo como objetivo diseñar un esquema metodológico mediante la aplicación de la “lógica borrosa” en la representación y agregación de los datos sensoriales y en las estrategias de análisis multivariante, para su posterior explotación y visualización.

2 Materiales y Métodos

Se realizaron estudios dentro de un proyecto de investigación en la Facultad Regional de Mendoza de la Universidad Tecnológica Nacional (PID UTN 1584 - 2012), con la idea de establecer un esquema metodológico en el que puedan determinarse funciones de pertenencia a conjuntos borrosos que caractericen a cada percepción sensorial y su posterior análisis con técnicas factoriales que ayude a comprender la percepción sensorial de la muestra de alimento evaluada.

Se aplicó lógica borrosa y métodos de análisis multivariados en datos sensoriales para: *caracterizar muestras de vino Malbec, discriminar muestras de cereza clara y oscura con diferente tratamientos de conservación.* Para los primeros resultados, los datos provienen del Centro de Estudios de Enología de la Estación Experimental Agropecuaria (EEA-INTA) Mendoza [25].y constituyen resultados de *pruebas discriminativas* para elaboraciones a escala piloto de cv. Malbec, de diferentes zonas de Mendoza, evaluadas por un panel de 12 expertos entrenados de la EEA. La prueba sensorial consistió en evaluar copas de vino utilizando dos descriptores para el examen visual, ocho para el examen olfativo y siete para el examen gustativo. Se utilizó escala de tipo lineal. También se apreciará el puntaje final de referencia de los panelistas.

- *Unidad de análisis:* datos sensoriales de muestras de vino Malbec
- *Variables*: Percepción sensorial visual, olfativa, gustativa y calidad de las muestras de vino
- *Indicadores:* Evaluación de 8 jueces sobre 11 muestras de vino Malbec. Los descriptores se cuantificaron con escalas hedónicas continuas de 0 a 5 y escalas estructuradas de 0 (ausencia), 1(muy débil), 2 (débil), 3 (medio), 4 (fuerte) y 5 (muy fuerte), en la Fig.1 se detallan para cada variables los diferentes descriptores. También se apreciará el puntaje final de referencia de los panelistas (puntaje de 0 a 10).

descriptores	Malbec SIN DEFECTOS	Escala Hedónica
examen visual	EVIn Intensidad Visual	
	EVMa Matiz	0 ausencia
examen olfativo	EOIA Intensidad Aroma	1 muy débil
	EONV Nota Vegetal	2 débil
	EONFl Nota Floral	3 medio
	EONEs Nota Especiada	4 fuerte
	EONB Nota Balsàmica	5 muy fuerte
	EONEm Nota Empyreumatico	
	EONA Nota Animal	
	EONM Nota Mineral	
examen gustativo	EGAh Alcohol	
	EGAz Acidez	
	EGCo Concentraciòn	
	EGUn Untuosidad	
	EGAg Astringencia	
	EGAm Amargor	
	EGPe Persistencia	
Calidad	PF Puntaje final Preferencia	0-10 preferencia

Fig.1. Indicadores para cada variable observada

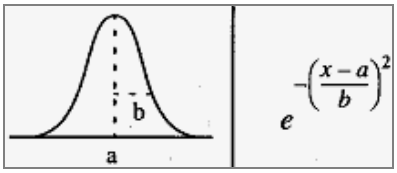
Para desarrollar la propuesta *metodológica para el análisis de datos sensoriales* con técnicas de Análisis Multivariante sobre datos borrosos se alcanzó el siguiente proceso metodológico:

1. Codificación de datos sensoriales. Fue necesario tabular los datos en diversas tablas, de naturaleza numérica para escalas no estructuradas y de naturaleza cualitativas para escalas estructuradas en categorías.

2. Fusificación de los datos. También se tabuló los datos en diversas tablas de naturaleza borrosa, aplicando técnicas de fusificación para transformar los descriptores cuantitativos y cualitativos en variables lingüísticas borrosas.

Estrategia metodológica para borrosificar los datos (Fusificación):

2.1. Definir la o las Variables Lingüísticas. Habitualmente, dependiendo del dominio del problema, se elige un conjunto de etiquetas o de términos lingüísticos apropiado, que se utiliza para describir el conocimiento vago o impreciso. Dado que las estimaciones lingüísticas son sólo cálculos aproximados realizados por individuos, puede considerarse que cuando nos encontramos con una escala no estructurada (Numérica), el cero indica ausencia de la variable y la diferencia entre dos valores es de magnitud conocida, las variables siguen una distribución normal y resulta más apropiado utilizar *Números Borrosos Gaussianos* (Fig 2).



a = *centro de gravedad o media*
b = *desvió típico*

Fig. 2. Formulación de Función Gaussiana utilizada para definir valores de pertenencia.

2.2. Estandarización y Fusificación de las variables. Las puntuaciones en los atributos medidas en diferentes escalas, se normalizan con el propósito de obtener escalas comparables y poder realizar comparaciones entre atributos diversos. Para cada descriptor, se llevó a cabo una normalización lineal, es decir, se seleccionó el máximo y el mínimo, el máximo se representa por un valor de uno (1) y el mínimo un valor de cero (0), entonces los otros valores se ajustan con la ecuación de la recta. La valoración otorgada y normalizada de cada individuo se convierte en un número borroso derivado empíricamente, mediante la funcion de pertenencia (Fig. 2) de la variable lingüística ya determinada en el paso anterior, el valor estandarizado fue comparado con la función de pertenencia correspondiente produciendo valores borrosos.

2.3. Valoración borrosa aproximada. La evaluación de la calidad sensorial de un producto se lleva a cabo mediante la agregación de los descriptores. Se calculó un valor colectivo, para cada característica, aplicando un "operador de agregación" sobre las evaluaciones fusificadas de los jueces y posteriormente un "método de desfusificación" para calcular un valor preciso (crisp). Esto es lo que en la literatura se conoce como "desfusificar" números borrosos y representa el perfil sensorial colectivo del objeto evaluado.

3. Análisis multivariado aplicados sobre escalas borrosas. El análisis de datos consta de varias etapas de complejidad creciente: Primero, se investigan los datos en relación a alguna característica o propiedad común. Es el punto de partida para evaluar la validez y fiabilidad de cada dato, detectar mediciones extrañas (por ejemplo, outliers), etc.

El segundo paso consiste en el reconocimiento de formas o patrones, en buscar estructuras internas en los datos, con objeto de obtener información sobre las relaciones existentes entre ellos o para detectar posibles modelos matemáticos a los obedecen. En un tercer paso, los datos se investigan en relación a algún modelo matemático elegido previamente o de algunas hipótesis emitidas sobre la estructura de los datos. Por último, el análisis de datos se ocupa de extraer conclusiones y de evaluarlas convenientemente. Generalmente, las conclusiones más demandadas toman la forma de una tendencia [26.]

Estrategia metodológica para el análisis multivariado de datos difusos:

3.1. Para el análisis de una tabla de datos con métodos multivariados, se utilizo la estrategia de Lebart [27] que plantea realizar primero un análisis factorial según la naturaleza de los datos y luego una clasificación basada en un algoritmo mixto: clasificación jerárquica con el método de Ward y agregación alrededor de centros móviles (K-medias). Se obtuvo una partición del conjunto de datos y la caracterización de cada una de las clases, con las escalas cuantitativas y cualitativas. En este caso la naturaleza de los datos es propia para su explotación a través del Análisis de Correspondencias Simples (AFCS).

3.2. Para la caracterización de las clases se utilizaron los *valores test*, que son índices descriptivos construidos siguiendo la metodología de pruebas de hipótesis. Y para la interpretación y validación del AFCS, se utilizó la prueba del chi2 por celda, además del Valor de Test. [26;28].

3 Resultados

A continuación se exponen los resultados mas relevantes en relación al análisis de datos borrosos en el "*Estudio de la determinación de las características visuales, aromáticas y gustativas de muestras "no comerciales" de vino Malbec provenientes de regiones vitivinícolas de Mendoza".*

1. Codificación de los datos sensoriales, en tabla de datos cuantitativos

Escalas continuas: las valoraciones se representaron por un número, de 0 a 5 para los descriptores sensoriales y 1 a 10 para la puntuación final de preferencia. Se creo una **tabla de datos cuantitativos continuos**, en fila cada muestra valorada por un juez y en columna cada descriptor medido según detalle en esquema Fig. 3.

2. Fusificación de los datos obteniendo números borrosos

2.1. Variables Lingüísticas definidas. En el caso del Puntaje de preferencia PF, se asignó las siguientes etiquetas lingüísticas (conjuntos difusos): *inaceptable, disgusta, indiferente, gusta* y *aceptable*. Se definió para estas etiquetas las funciones de pertenencia Gaussiana como se muestra en la Figura 4. Los valores sensoriales serán estandarizados a valores de 0 a 1, por lo que los parámetros **a** (centro de gravedad del conjunto Gaussiano) y **b** (desvió del conjunto) son valores reales entre [0,1].

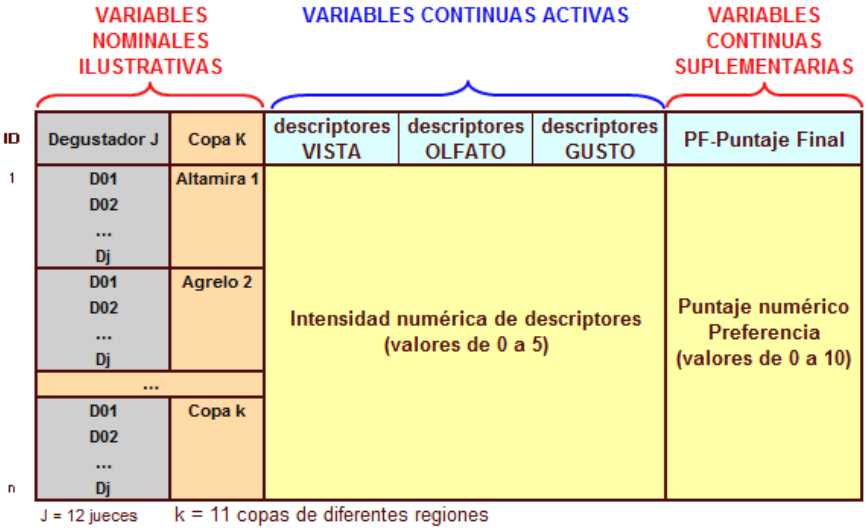


Fig. 3. Tabla de datos cuantitativos continuos

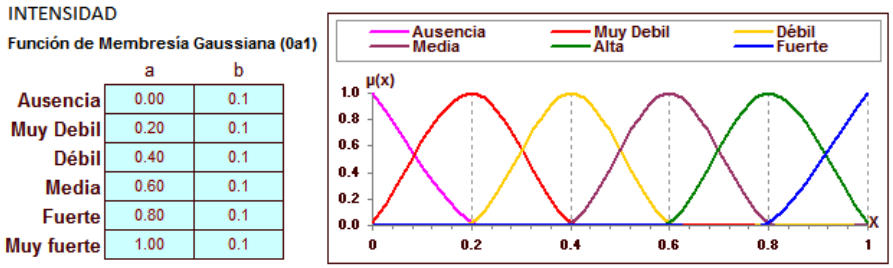


Fig. 4. Definición de la Variable lingüística: Descriptor sensorial.

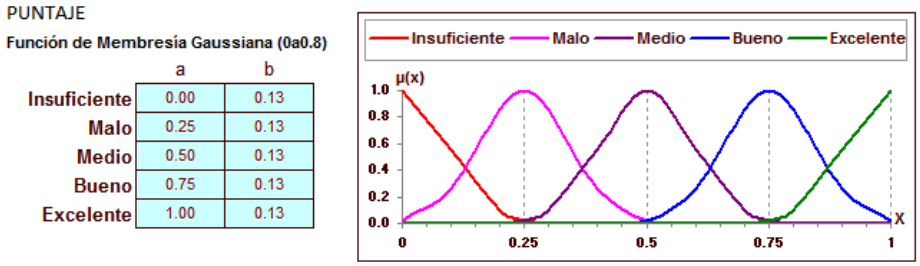


Fig. 5. Definición de la Variable lingüística: Puntaje Final.

En ambas figuras, el eje Y de la Figura 4 y 5 se refieren al *grado de verdad* para la cual los valores de las escalas estandarizados pertenecen a cada función de pertenencia.

Para identificar y graficar la función de pertenencia de las variables lingüísticas resulta de ayuda el uso de los gráficos XY de M. Excel y en la herramienta para desarrollo de sistemas de inferencia borrosa de Matlab, FuzzyyTool [29].

2.2. Estandarización y Fusificación de las variables. Para cada descriptor sensorial, se llevó a cabo una ***normalización lineal***, es decir, se seleccionó *el máximo y el mínimo*; el máximo se representa por un *valor de uno* y el mínimo por un *valor de cero*. Se calculó el *grado de pertenencia* que podría tener un dato sensorial a varias funciones de pertenencia de una variable, obteniendo números borrosos. El procedimiento se realizó para cada valoración, y consistió en aplicar la ecuación de la Figura 2, 3 y 5 para determinar el valor de pertenencia para cada conjunto borroso.

2.3. Agregación de las valoraciones borrosas de los 12 jueces. El valor colectivo de los 12 jueces para una característica y una copa dada se obtuvo mediante el *método del Centro de Gravedad o Centroide* (agregación y desfusificación), cuyos resultados se sintetizan el la Figura 6. Se calculó la cardinalidad del conjunto difuso como la suma de los valores de pertenencia de cada valoración, cada una se divide por el desvío de cada conjunto (parámetro b), finalmente para obtener el *valor agregado* se utilizó la siguiente ecuación (1):

$$\text{Centroide} = \frac{\sum_{i=1}^{k}\left(\frac{\text{Cardinalidad}(VL_i)}{b^2} * a_i\right)}{\sum_{i=1}^{k}\frac{\text{Cardinalidad}(VL_i)}{b^2}} \qquad (1)$$

donde i= identifica a un conjuntos difusos (etiqueta lingüística)
k = número de conjuntos difusos
a_i= centro de gravedad de cada conjunto

				0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	
	Copa	EV-Intensidad Visual	EV-Intensidad Visual	EVIn Ausencia	EVIn Muy Debil	EVIn Débil	EVIn Media	EVIn Alta	EVIn Fuerte	EV
	Junín 1	2	0.4	0.0000	0.0183	1.0000	0.0183	0.0000	0.0000	
	Junín 1	2	0.4	0.0000	0.0183	1.0000	0.0183	0.0000	0.0000	
	Junín 1	1	0.2	0.0183	1.0000	0.0183	0.0000	0.0000	0.0000	
	Junín 1	2	0.4	0.0000	0.0183	1.0000	0.0183	0.0000	0.0000	
	Junín 1	1	0.2	0.0183	1.0000	0.0183	0.0000	0.0000	0.0000	
	Junín 1	1.5	0.3	0.0001	0.3679	0.3679	0.0001	0.0000	0.0000	
	Junín 1	2	0.4	0.0000	0.0183	1.0000	0.0183	0.0000	0.0000	
	Junín 1	3	0.6	0.0000	0.0000	0.0183	1.0000	0.0183	0.0000	
	Junín 1	2	0.4	0.0000	0.0183	1.0000	0.0183	0.0000	0.0000	
	Junín 1	2	0.4	0.0000	0.0183	1.0000	0.0183	0.0000	0.0000	
	Junín 1	3	0.6	0.0000	0.0000	0.0183	1.0000	0.0183	0.0000	
AGREGACIÓN	Junín 1	1.97	0.39	0.04	2.48	6.44	2.11	0.04	0.00	
MEDIA	Junín 1	1.95	0.4	3.68	247.78	644.11	211.00	3.66	0.00	
	Junín 2	3	0.6	0.0000	0.0000	0.0183	1.0000	0.0183	0.0000	
	Junín 2	3	0.6	0.0000	0.0000	0.0183	1.0000	0.0183	0.0000	

Fig. 6. Parte de la tabla de Agregación sobre los descriptores para cada copa

Además se estableció la media aritmética y se observó que el método de agregación produce un ajuste en la obtención del valor colectivo (corrección de la imprecisión) más representativo de la realidad y menos influenciado por valoraciones extremas.

3. El análisis multivariado de datos. Para la puesta en práctica de la estrategia combinada de análisis factorial y métodos de clasificación se utilizó el software de libre distribución para uso académico DTM. Minería de Datos y Textos, que trata la estadística exploratoria multidimensional de datos complejos, incluyendo datos numéricos y textuales [27]; y el módulo de análisis sensorial del software comercial Xlstat [30]. La clasificación sobre los factores y su posterior caracterización permitió describir las distintas copas tanto con los conjuntos difusos como con las escalas sensoriales originales. En la Figura 7 se observan los resultados mas significativos estadísticamente (α de 0.05 y 0.01), destacando dos grandes grupos de copas, muy diferenciadas, como Junin 1, Lavalle y Santa Rosa menos preferido y con un perfil sensorial de menos calidad que las copas de La Consulta Angulo y Altamira, mas preferidos y con un perfil optimo de calidad sensorial. A partir de la tabla con las valoraciones colectivas por copa, obtenidas de la agregación utilizamos un gráfico XY Difuso para representar el número borroso para cada descriptor, en la Figura 8 vemos representada la variable lingüística del la intensidad y matiz visual, correspondiente al examen visual de las copas. Según los enólogos, un perfil de calidad visual para vinos sin defectos ideal sería una baja intensidad en el matiz y una alta intensidad visual, es por esto que las copas están representadas en los conjuntos débil a fuerte para intensidad visual y en los conjuntos ausencia a débil para el matiz.

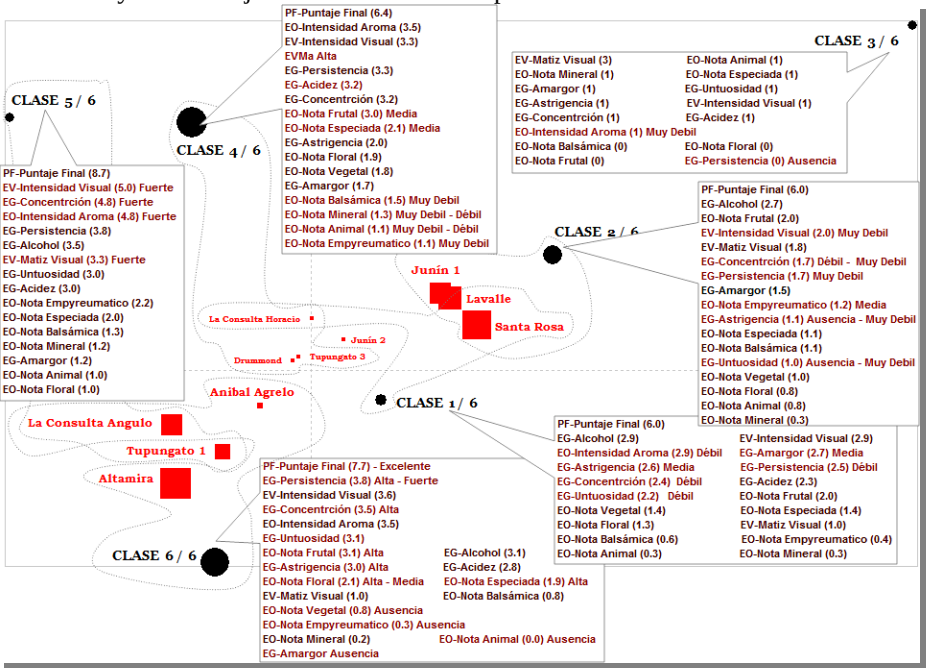


Fig. 7. Resultados del AFCS + Clusterig + Validación de las escalas borrosas**.**

Para estudiar simultáneamente el *perfil sensorial* a partir de los números borrosos, se realizaron AFCS para el examen visual (Figura 10), examen olfativo y examen gustativo, respectivamente.

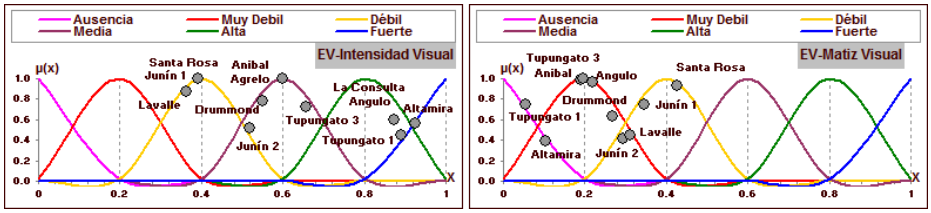


Fig. 8. Resultados borrosos de la Agregación de Intensidad y Matiz Visual de las copas.

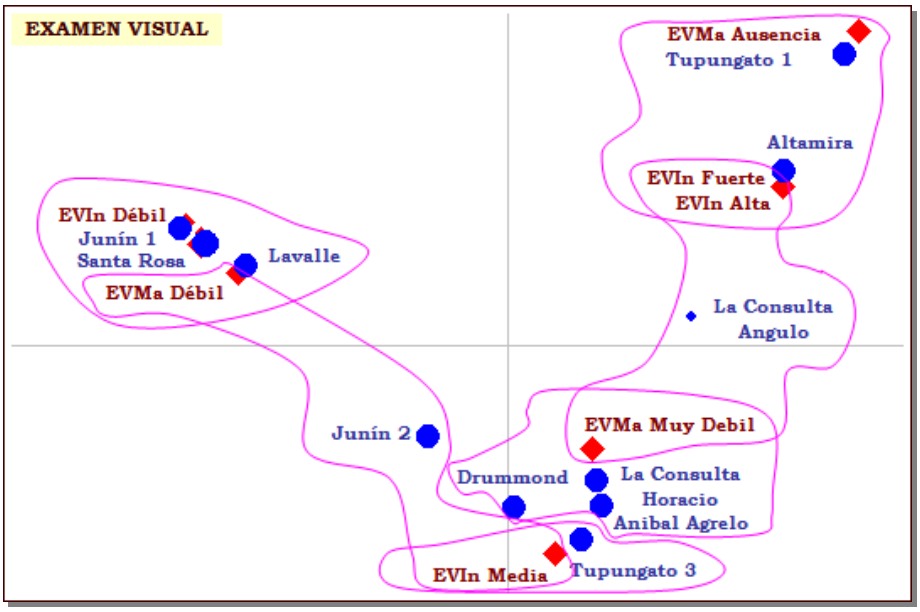


Fig. 9. Resultados del AFCS Perfil Sensorial del examen Visual.

En la Figura 9, podemos ver los resultados significativos estadísticamente (α=0.05) en relación al perfil sensorial borroso del examen visual. Las copas de las bodegas de *Lavalle*, *Junín 1* y *Santa Rosa* están altamente asociadas a una débil intensidad y matiz visual. En el caso de *Tupungato 1* y *Altamira*, el perfil de estas copas muestra ausencia de matiz y alta y fuerte intensidad visual (muy buena calidad). La *Consulta Horacio*, *Aníbal Agrelo* y *Drummond* se caracterizan por muy débil matiz. En el caso de *Junín 2* se destaca el matiz débil e intensidad visual media. Finalmente *La Consulta Angulo* (punto más pequeño, porque está asociado a diversos conjuntos) se describe por muy débil matiz y alto y fuerte intensidad visual.

4 Conclusiones

Una de las principales metas perseguidas por el análisis sensorial de alimentos es el desarrollo de una metodología, idealmente objetiva, para la determinación de parámetros organolépticos en los alimentos, por tanto, el tema que se desarrolló en este trabajo estableció un esquema metodológico basado en variables lingüísticas borrosas, para medir, evaluar y calificar muestras de vino Malbec y valuar su contribución en el marco de los análisis sensorial de vinos.

La metodología planteada busca modificar la metodología cuantitativa actual en lo que respecta a representar las variables utilizadas en el proceso, como variables lingüísticas y también en permitir que los valores asignados a cada variable sean números difusos, es decir, que permitan representar conceptos vagos y valores numéricos imprecisos

Se observa que los resultados aportados demuestran que la metodología posee una alta probabilidad de generar salidas congruentes, como una herramienta de apoyo de decisión. Cuando los problemas son planteados en un lenguaje natural, si bien pudiera considerarse que no son expresados de manera técnica, éstos encierran una información que es muy rica y que es reflejo de la experiencia de quien toma los datos. Al tomarse en cuenta este empirismo, los resultados que se obtienen se acercan mucho más a lo que ocurre en la realidad. El empleo de la lógica borrosa ofrece innumerables aplicaciones para las operaciones en las que son requeridos criterios sensoriales, una de esas aplicaciones ha sido demostrada en esta investigación

En cualquier etapa del análisis de datos, desde el momento de la medición hasta la aplicación del método de análisis se pueden encontrar fuentes de incertidumbre de diferentes clases. La primera surge de la indeterminación de los datos, propia de la naturaleza de los hechos sociales y naturales. Otra clase de incertidumbre es la imprecisión generada al medir los valores, la vaguedad aparece cuando se utiliza el lenguaje humano, sea o no profesional, para describir la percepción medida de los descriptores.

Si tiene en cuenta la vaguedad, la incertidumbre o la intensidad con la que se manifiestan las preferencias humanas resulta más apropiado un enfoque basado en relaciones borrosas ya que éstas permiten graduar las preferencias.

Con los resultados se puede comprobar que el empleo del Análisis Multivariado a partir de escalas borrosas, plantea un nuevo paradigma en las pruebas sensoriales y enriquece el proceso de análisis sensorial de un vino constituyendo un instrumento de observación apropiado, facilitando la explotación de datos tanto cuantitativos y cualitativos como también difusos

La facilidad de aplicación de la lógica borrosa y los métodos multivariados abre las posibilidades de desarrollo de nuevas herramientas informáticas para el análisis de escalas borrosas. De esta manera se busca optimizar las técnicas en las pruebas sensoriales de manera de renovar el proceso de análisis sensorial, desarrollando un área especifica que mejorará el valor económico en la producción vitivinícola y alimentaría de Argentina.

5 Agradecimientos

Los datos sensoriales fueros otorgados por el INTA. Los autores desean expresar su agradecimiento al Ing. Santiago Sari por su participación en el trabajo.

6 Referencias bibliográficas

1. Calí, M.J. *Análisis sensorial de los alimentos. Fruticultura & Diversificación* INTA. EEA Alto Valle (48). (2002) http://www.inta.gov.ar/altovalle/info/biblo/rompecabezas/pdfs/fyd48_entrev.pdf
2. Picallo, A. *El análisis sensorial como herramienta de calidad carne y productos cárnicos de cerdo*. Jornadas Regionales de Actualización en el Sector Lácteo y Porcino. Tandil, Argentina (2002)
3. Espinilla, Martínez, Pérez, y Liu,. *Modelo de Evaluación Sensorial con Información Lingüística Multigranular para el Aceite de Oliva*. ESTYLF08, Cuencas Mineras Mieres Langreo. (2008).
4. ICV-2003-I Curso de Análisis Sensorial de la Uva. Argentina, Chile y Uruguay: Vinidea (2003)
5. Mirábile M; Vignoni, L; Rodriguez, ME; Césari, M; Ventrera N; Tapia O; Guinle V; Giménez A.-2010-"Caracterización sensorial de cerezas (Prunus avium) Brooks". Participación XXXIII Congreso Argentino Horticultura. Rosario 2010 y Jornadas de Bromatología. Facultad de Ciencias aplicadas a la Industria. San Rafael (2010)
6. Guerrero L., Guàrdia M.D.: «*Evaluación de la fiabilidad de un panel de cata*», III Jornadas de Análisis Sensorial, 1-2 octubre Valdediós, Asturias, España. (1998).
7. Touraille C. and Hossenslopp J. *Sensory evaluation*: Guide of good practice.ACTIA, Paris, Francia,. (2001)
8. Jackson, Ronald, *Análisis sensorial de vinos, Manual para profesionales* (evaluación cuantitativa del vino página 187), 330 páginas, Editorial Acribia, (2002)
9. Catania Carlos y Avagnina Silvia *La Interpretación Sensorial del Vino*. Editorial Caviar Bleu I.S.B.N 9789872372538 (2010).
10. Meilgaard M., Civille G., and Carr B. *Sensory evaluation techniques* . CRC Press, Florida,USA, (1999).
11. Lozano, M. c. y Fuentes, F.. Tratamiento borroso del intangible en la valoración de empresas de Internet. Extraído el 1 de Junio de 2008 desde http://www.eumed.net/cursecon/libreria/ (2003)
12. Carbó Rubiera, Javier, Molina López, Jose Manuel, Martínez Tomás, R. *Desarrollo de sistemas basados en el conocimiento:* Clips y Fuzzyclips. Sanz y Torres, S. L. ISBN: 978-84-96094-54-3. Madrid. Págs: 344 (2008).
13. Arfi B. *Fuzzy decision making in politics: a linguistic fuzzy-set approach (LFSA). Political Analysis* , 13(1):23-56. (2005).
14. Ben-Arieh D. and Chen Z. *Linguistic-lab els aggregation and consensus measure for auto cratic decision making using group recommendations. IEEE Transactions*

on Systems, Man, and Cybernetics. Part A: Systems and Humans, 36(3):558-568. (2006).
15. Herrera-Viedma E., Martinez L, Mata F., and Chiclana F. *A consensus supp ort system mo del for group decision-making problems with multi-granular linguistic preference relations*. IEEE Transactions on Fuzzy Systems , 13(5):644-658. (2005).
16. Herrera-Viedma E., Peis E., Morales del Castillo J.M., Alonso S., and Anaya E.K. *A fuzzy linguistic mo del to evaluate the quality of web sites that store xml do cument*s. International Journal of Approximate Reasoning , 46(1):226-253, (2007)
17. Martinez L., Espinilla M., and L. Perez G. *A linguistic multigranular sensory evaluation mo del for olive oil. International Journal of Computational Intel ligence Systems* , 1(2):148-158, (2008).
18. Xu Z.S. *An approach based on the uncertain LOWG and induced uncertain LOWG op erators to group decision making with uncertain multiplicative linguistic preference relation*s. Decision Support Systems , 41(6):488-499, (2006).
19. Martínez, L. *Sensory evaluation based on linguistic decision analysis*. *International* Journal of Aproximated Reasoning, 44(2):148–164, (2007).
20. Espinilla, Martínez, Pérez, y Liu,. *Modelo de Evaluación Sensorial con Información Lingüística Multigranular para el Aceite de Oliva*. ESTYLF08, Cuencas Mineras (Mieres Langreo) (2008)
21. Del Monte, S.; Catania, C. *Vinos. Guía para su conocimiento*. Mendoza: INTA, Estación Experimental Agropecuaria Mendoza, Centro de Estudios de Enología (edición electrónica). (2004)
22. CITOLIVA. *Desarrollo de sistemas instrumentales de análisis y modelización mediante lógica difusa aplicados a la caracterización sensorial del aceite de oliva virgen extra*. El grupo de investigación Sistemas Inteligentes Basados en el Análisis de Decisión Difuso Sinbad2 de la Universidad de Jaén (UJA). (2013) http://diariodigital.ujaen.es/node/33926.
23. Avila-De Hernandez, Rita M y Gonzalez-Torrivilla, César C. *La evaluación sensorial de bebidas a base de fruta: Una aproximación difusa*. uct [online] (vol.15, n.60, pp. 171-182. ISSN 1316-4821 (2011).
24. Lannoua I, Perrota N, Hossenloppa J, Maurisb G and Trystam G. *The fuzzy set theory*: a helpful tool for the estimation of sensory properties of crusting sausage appearance by a single expert.Food Qual Pref 2002; 13:589-595. (2002).
25. Estación Experimental Agropecuaria Mendoza, San Martín n° 3853 – Mayor Drummond – Lujan de Cuyo CP (M5507EVY) República Argentina. +54-261-4963020
26. Césari Ricardo y Césari Matilde. 2012. Material pedagógico de cursos de postgrado en métodos para analiza datos como soporte a la investigación en ingeniería, Capítulo 03: "Las técnicas del análisis multivariado de datos" (28 páginas) y Capitulo 03 "Procedimiento de descripción y validación estadística" (27 páginas) Maestría en Medio Ambiente de la UNCuyo y Especialización en Redes de Datos de la FRM, UTN, Mendoza, Argentina
27. Lebart, L. DTM. Data and Text Mining, Software Estadística Exploratoria Multidimensional para datos complejos que incluyen datos numéricos y textuales. (2007) Web: http://ses.telecom-paristech.fr/lebart/

28. Langrand C. & Pinzón L.M. *Análisis de datos. Métodos y ejemplos*. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garabito, Bogotá, Colombia. ISBN: 9789588060903, 388 páginas. (2009)
29. The Mathworks Inc, " MATLAB Fuzzy Logic Toolbox ", January, (1999).
30. Xlstat versión 2009, licencia para investigación. add-in de análisis estadístico para Microsoft Excel desarrollada por Addinsoft 1996-2012. www.xlstat.com/es/products/xlstat-pro/

Programación y Análisis de Rendimiento de un Algoritmo Numérico en Arquitecturas de Múltiples Núcleos

Julio Monetti[1], Fernando Tinetti[2],

[1] Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza,
Mendoza, Argentina
jmonetti@frm.utn.edu.ar

[2] Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Informática,
[2] Comisión de Investigaciones Científicas de la Prov. de Bs.As.,
Buenos Aires, Argentina
fernando@info.unlp.edu.ar

Resumen. La computación de alto rendimiento se ocupa de resolver problemas computacionales que requieren gran capacidad de procesamiento, por ejemplo aquellos problemas clásicos que describen fenómenos naturales susceptibles de ser modeladas y simuladas a través de la computación. De acuerdo a la naturaleza del fenómeno a describir se determinan las variables a observar; derivando esto generalmente en sistemas de ecuaciones con una gran cantidad de coeficientes. Los programas que procesan dichos sistemas se encuentran con dos inconvenientes: 1) gran volumen de datos a procesar, 2) cálculos complejos sobre el sistema, lo que conlleva a grandes tiempos de ejecución. Con el objetivo de mejorar el rendimiento, el estudio de métodos numéricos perfecciona algoritmos para una resolución más rápida y eficiente. Se aborda una situación común en torno a diferentes comunidades de programadores, los cuales al desconocer la arquitectura de hardware utilizada, tienden a desaprovechar la capacidad de cómputo provista. La arquitectura de procesadores propuesta por la industria en los últimos tiempos ofrece la utilización de múltiples núcleos, quedando en manos del programador una correcta planificación de los mismos. A través de un ejemplo de aplicación simple, el presente trabajo destaca metodologías de programación paralela como un paradigma adecuado de desarrollo a la vista de nuevas arquitecturas de procesadores.

Palabras Clave: Sistemas de Ecuaciones Lineales – Arquitectura de Procesadores – Programación Paralela.

1 Introducción

El gran volumen de datos, y los cálculos complejos encontrados en la resolución de sistemas de ecuaciones lineales [1], conlleva a grandes tiempos de ejecución computacional. Este trabajo pretende demostrar que la implementación de nuevos paradigmas de programación incrementa la ganancia en tiempos de ejecución en el uso de arquitecturas modernas de computadoras. Se señala a continuación, que tales paradigmas, basados en la concurrencia y paralelismo, deben ser adoptados de forma natural e imperativa en muchos casos. La programación paralela [2] resulta desde hace mucho tiempo un paradigma alternativo para la programación de sistemas que consumen demasiados recursos de procesamiento. El uso de *clusters* de

computadoras y computadoras de alto rendimiento han representado en los últimos tiempos una herramienta adecuada para la computación de alto rendimiento a través del uso de librerías de software como MPI (*Message Passing Interface*) [3], PVM (*Parallel Virtual Machine*) [4], OpenMP [5][6] o variantes de ellas. Hoy en día la industria del hardware impone nuevas arquitecturas de procesadores [7], abarcando todo el mercado: desde computadoras hogareñas, hasta servidores de alto rendimiento. Por esta razón, se remarca que el uso de programación paralela debería extenderse más allá de las arquitecturas de computación antes mencionadas, abordando ahora su utilización sobre arquitecturas convencionales; con lo cual se exige un cambio de mentalidad del programador de sistemas de todo tipo. Al diseñar sistemas informáticos, el hardware utilizado representa un componente substancial dentro del marco tecnológico propuesto, puesto que marca directamente la performance en la ejecución de los sistemas. Se debe considerar que el hardware se encuentra en una constante evolución; por lo que programadores de bajo y alto nivel no deben desatender el análisis de las características del mismo; en particular el análisis de los procesadores: los cuales se presentan en constante evolución.

Durante los experimentos llevados a cabo se ha realizado la modificación de parámetros de funcionamiento del procesador, con el objeto de observar la influencia que presentan diferentes ciclos de reloj para el procesamiento del problema propuesto. Esta técnica, conocida como *overclocking*, genera mejoras en los tiempos de ejecución [8], pero esto se consigue a través de la adulteración de parámetros preestablecidos por el fabricante. Luego, y a la luz de los resultados obtenidos, se concluye que para problemas con una naturaleza de procesamiento bien definida, se recomienda trabajar sobre un buen diseño de software concurrente.

En relación a la práctica de *overclocking*, cabe destacar que el desarrollo de procesadores ha encontrado en los últimos años un límite de miniaturización, debido principalmente a la imposibilidad de disipación de calor en aquellos donde se presenta un incremento considerable en la cantidad de transistores, multiplicación de los ciclos de reloj, etc. Debido a esto, se ha instalado en la industria la tecnología de procesadores *multicore* [9][10] con el objeto de reemplazar la capacidad de procesamiento de procesadores de considerable frecuencia de cómputo, por procesadores con múltiples núcleos que trabajan cooperativamente. Estas nuevas arquitecturas han movido el concepto de paralelismo a multiprocesamiento a nivel de *chip*, incrementando de una manera natural la performance del sistema.

En estos días, el bajo costo y la amplia disponibilidad de arquitecturas de múltiples núcleos abren ampliamente las posibilidades de procesamiento paralelo, dejando de ser este exclusivo de supercomputadoras o *clusters*. Este paradigma donde el paralelismo de procesos surge naturalmente, obliga directamente a un cambio en el diseño de los algoritmos realizados por diseñadores de software [11][12], situación que se ve paliada en muchos casos por la intervención de compiladores capaces de paralelizar y adecuar el código compilado a la arquitectura subyacente.

Para la aplicación de algoritmos de resolución de tales características, se presenta en la sección 2 un problema numérico común en cálculo numérico.

En la sección 3 se analiza una de las características preponderantes del problema en cuestión: la estructura de la matriz de coeficientes. En la sección 4 se mencionan las características físicas de la arquitectura computacional utilizada para los experimentos. En la sección 5 se describe la metodología llevada a cabo para la

realización de los experimentos, los cuales son materializados a través de los algoritmos descritos en la sección 6.

2 Teoría del Dominio

Se adopta un problema de difusión [13], el cual deriva en la resolución de un sistema de ecuaciones lineales con una gran cantidad de incógnitas. Se encuentra que el algoritmo de resolución es naturalmente paralelizable a través de una descomposición del dominio de datos. En el citado trabajo se realiza la paralelización de dicho algoritmo, a través del uso de la librería MPI [3], utilizando un *cluster* de 12 computadoras para realizar el cómputo. En dicho trabajo se concluye que la carga de trabajo distribuida debe ser considerablemente grande para que los tiempos incurridos en la comunicación entre nodos no oculten la ganancia al distribuir dicha carga. Luego, se realiza la paralelización del algoritmo y posterior ejecución en una arquitectura multinúcleo, obteniendo mejores resultados en tiempos de ejecución (en secciones subsiguientes se detalla esta paralelización). La programación multinúcleo presenta dos marcadas diferencias frente a la programación para *cluster*: 1) el uso de memoria compartida, frente a la memoria distribuida presente en el *cluster*, 2) tiempos de comunicación entre procesos despreciables, ya que la comunicación se encuentra dentro de la misma computadora y no a través de una red de computadoras como en el caso del *cluster*.

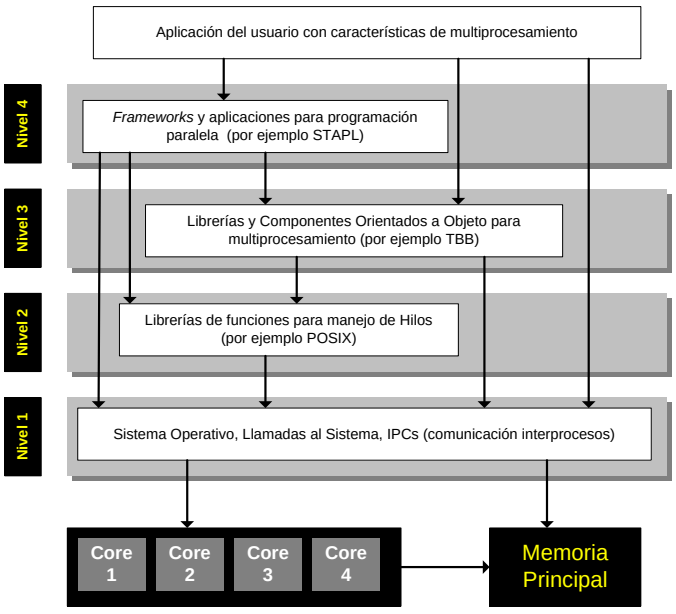


Fig. 1. Modelo de capas, donde una aplicación de usuario hace uso de diferentes librerías y servicios para la paralelización de procesos.

La figura 1 muestra un diagrama de capas, donde se ejemplifican servicios y librerías, que son consumidos por la aplicación final del usuario. En este sentido se destacan aquellas librerías de funciones hacen uso de memoria compartida y comunicación y sincronización local de procesos. Para el trabajo actual, se utiliza en una primera instancia el método numérico de Gauss-Seidel [14][15], implementado inicialmente en forma secuencial para observar la convergencia del mismo, y aplicado al problema en cuestión. Este experimento preliminar es utilizado para analizar la descomposición del dominio de datos y la creación de diferentes hilos de ejecución. No obstante, se observa que este método oculta en cierta medida la naturaleza intrínseca del proceso de paralelización frente al método de Jacobi, el cual por su característica expone más fácilmente la descomposición del dominio. Se adopta luego este último método de para continuar con los experimentos, y refinamiento de los algoritmos, con el objeto de obtener mejores tiempos de procesamiento.

3 Matriz de Coeficientes

Se considera el cálculo de una ecuación diferencial a lo largo de un conjunto de puntos resultante de la discretización espacial, lo que conlleva a contar con un sistema de ecuaciones lineales de 10.000 incógnitas (corresponde a 10.000 puntos de interés). La matriz de coeficientes resultante de la discretización espacial, resulta en un arreglo con un ancho de banda fijo (ver Figura 2); característica sumamente provechosa a la hora de optimizar el acceso a la matriz. En particular el ancho de banda medio es igual a 100; presentándose también un alto grado de ralicidad en la matriz de coeficientes.

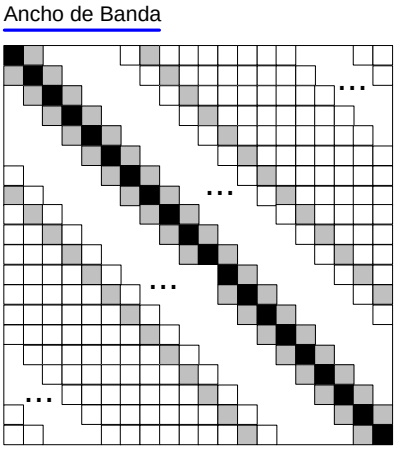


Fig. 2. Matriz pentadiagonal de ancho de banda fijo. La misma describe una cantidad de 10.000 incógnitas para el problema abordado.

Se debe considerar que al crecer la cantidad de puntos a evaluar dentro de la discretización espacial, el crecimiento de la cantidad de coeficientes es exponencial. La tabla 1 muestra la cantidad de coeficientes necesaria para una discretización espacial del dominio de *p*p* puntos, exponiendo la relación entre dicha cantidad y la memoria necesaria para contener la matriz.

Tabla 1. Memoria utilizada por la matriz de coeficientes para diferente cantidad de nodos en la discretización espacial.

Puntos *p* en la Discretización	Cantidad de Coeficientes	Memoria Utilizada (Mb)
20	160.000	0,61
40	2.560.000	9,77
60	12.960.000	49,44
80	40.960.000	156,25
100	100.000.000	381,47

4 Arquitectura de Procesadores

Se selecciona una arquitectura de procesadores *multicore* particular para realizar los experimentos en base a la metodología de programación mencionada en la sección 2, y poder a continuación marcar situaciones particulares en el incremento de la performance, pero haciendo hincapié en los cambios realizados en el código de alto nivel sin intervención de compilación paralelizante. Para la prueba de los algoritmos se utiliza una arquitectura superescalar, cuya característica principal es la ejecución de más de una instrucción por ciclo de reloj, y en forma independiente [16]. Esto permite que la arquitectura haga uso de paralelismo de instrucciones y paralelismo de flujo. Este último gracias a la estructura de *pipeline*. En una estructura superescalar con *pipeline* se deben tener en cuenta diferentes etapas: lectura, decodificación, lanzamiento, ejecución, escritura y finalización. Estas etapas marcan el paralelismo implementado por la arquitectura en un bajo nivel, no perceptible directamente por el programador de alto nivel. Se utiliza para el conjunto de experimentos llevados a cabo un procesador Intel Core i5 750 a 2.67Ghz, línea Lynnfield [16].

5 Preparación de los Experimentos

Se realizan diferentes pruebas sobre la velocidad del CPU, previo a la realización de experimentos sobre el problema de interés, encontrando que el mismo se encuentra trabajando a 2.79 GHz reales. Al preparar los experimentos se dispone de un

software realizado ad-hoc que permite recolectar en forma automática la información provista por los *profilers* utilizados. Se considera de suma importancia la homogeneidad en los tiempos de ejecución, por lo que se propone fijar una cantidad *n* de ejecuciones al observar las desviaciones de las medias en las mediciones. Luego, tras *n* cantidad de ejecuciones se obtienen valores representativos para las variables medidas (*Wall Time*, *cache-misses*, etc.). Se ejercita el algoritmo con diferente cantidad de ecuaciones con el objeto de destacar las diferencias en tiempo de ejecución debidas al volumen de datos procesado.

Se espera que con una discretización del dominio pequeña (hasta 1.600 coeficientes) se obtengan menos fallas de caché. Luego, se adopta esta cantidad de coeficientes para las siguientes pruebas con el objeto de reducir accesos a memoria principal. Con esta variante, al reducir tales accesos, se obtienen tiempos más homogéneos de ejecución, permitiendo luego no tener en cuenta el acceso a memoria principal como una variable de medición. Esto permite destacar directamente la ganancia de tiempos en función de la descomposición del dominio de datos y la aplicación de programación paralela.

6 Programación para Multicore

A partir de la descomposición del dominio de datos, y el consecuente balanceo de carga entre los diferentes procesadores, se pueden proponer diferentes estrategias de planificación de hilos, buscando mejorar cada vez más los tiempos de ejecución [17]. Dichas estrategias se materializan a través de diferentes algoritmos paralelos. (Una planificación básica del algoritmo se describe en la sección 6.2). En primer lugar se analiza la ejecución secuencial estándar, realizada sobre un único núcleo.

6.1 Ejecución Secuencial Estándar

El algoritmo de prueba (Jacobi) cuenta con un lazo externo que itera sobre el conjunto de ecuaciones hasta lograr la convergencia de los valores hacia el valor real. Al ejecutar el programa en la arquitectura antes mencionada, y no especificar modificaciones explícitas en la compilación, se observa que es utilizado un único núcleo para realizar el cómputo, quedando el resto de los núcleos ociosos y sin carga de trabajo aparente. La figura 3 muestra datos de la ejecución del programa a través de la aplicación *top* de Linux [18].

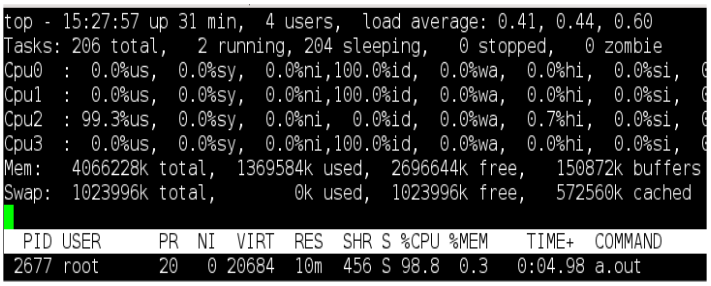


Fig. 3. Características de la ejecución estándar. La carga de trabajo no es distribuida a lo largo de los diferentes procesadores tras una compilación convencional.

Luego, se propone la introducción de una mejora a nivel del lenguaje de alto nivel, para asegurar la utilización de los diferentes núcleos.

6.2 Utilización de Hilos

Se analizan diferentes alternativas para la paralelización del código secuencial, y la consecuente utilización de los diferentes núcleos. Entre las diferentes metodologías se observa que la utilización de OpenMP resulta de gran utilidad para realizar una paralelización transparente. Por otro lado, se propone la utilización de hilos *Posix* [19][20][21] para realizar el balanceo de carga a lo largo de diferentes núcleos, donde en primera instancia se asocia un hilo de ejecución a cada núcleo. Se utiliza la librería *Pthread*, compuesta por un conjunto de más de 60 funciones en lenguaje C para soportar la programación multihilo. Se debe considerar que el conjunto de datos a procesar (matriz de coeficientes, vectores auxiliares, etc.) se encuentra en una zona de memoria compartida por los diferentes procesos. Como muestra en particular la Figura 4, para calcular una determinada incógnita, un hilo de ejecución requiere acceder valores que están siendo refinados iterativamente por otros hilos.

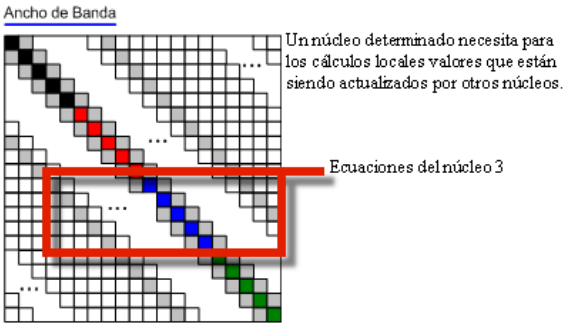


Fig. 4. El dominio de datos (conjunto de ecuaciones) es descompuesto para ser asignado a diferentes procesos.

Por ejemplo, el tercer núcleo, para realizar cálculos sobre el tercer grupo de ecuaciones (ver Figura 4), necesita acceder a valores actualizados calculados previamente por otros hilos (análogamente a la aplicación ejecutada bajo un *cluster*).

Esto obliga a agregar acciones de sincronización específicas en cada hilo, con el objeto de evitar *race conditions*, y otros comportamientos que podrían conducir a errores por la concurrencia/paralelismo de los diferentes hilos de ejecución. Un detalle del uso de funciones para programación de hilos puede ser encontrado en [19].

En primer lugar, se realizan pruebas a través de la descomposición de la carga de trabajo en dos hilos de ejecución. Se realizan tareas de perfilado sobre la ejecución en tiempo real para verificar que ambos núcleos se encuentren disponibles para la ejecución de los correspondientes hilos. La figura 5 muestra la ejecución de dos hilos en dos núcleos de la arquitectura (Cpu0 y Cpu1), quedando el resto de los núcleos en estado ocioso.

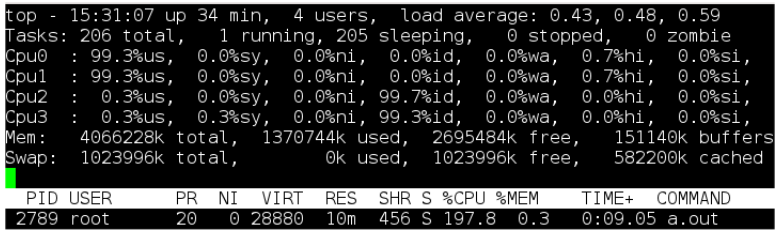


Fig. 5. Ejecución con dos hilos dispuestos sobre dos núcleos. (Cpu0 y Cpu1 se encuentran con una carga de trabajo de 99.3%)

De la misma forma, a continuación se crean tres hilos de ejecución y se ejecutan sobre tres núcleos (Cpu0, Cpu1 y Cpu2). Los datos de la ejecución se muestran en la figura 6.

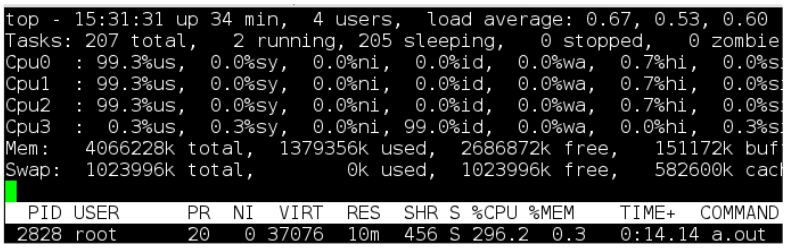


Fig. 6. Ejecución con tres hilos dispuestos sobre tres núcleos. Se visualiza que permanecen activos los núcleos Cpu0, Cpu1 y Cpu3.

Al analizar el *speedup*, tras el incremento de núcleos de ejecución se verifica que la ganancia es casi lineal al incorporar un segundo núcleo, y se obtienen considerables ganancias en los tiempos de ejecución al agregar el tercer y cuarto núcleo de la arquitectura. La tabla 2 resume los resultados obtenidos.

Tabla 2. Tiempos de Ejecución para 1, 2, 3 y 4 núcleos. (10.000 incógnitas)

Número de Núcleos	Wall Time
1	122’16”
2	61’10”
3	40’48”
4	34’19”

En la tabla 3 se muestran los datos de tiempos incurridos para una discretización espacial con 1.600 incógnitas. Se destaca especialmente que la ganancia en tiempos de ejecución de un núcleo con respecto a dos se mantiene en casi el doble como en los experimentos para 10.000 incógnitas.

Tabla 3. Tiempos de Ejecución para 1, 2, 3 y 4 núcleos. (1.600 incógnitas)

Número de Núcleos	Wall Time
1	33.89”
2	17.01”
3	13.04”
4	09.83”

En la Figura 7 se pueden apreciar gráficamente las diferencias en tiempo de ejecución al incrementar la cantidad de nodos.

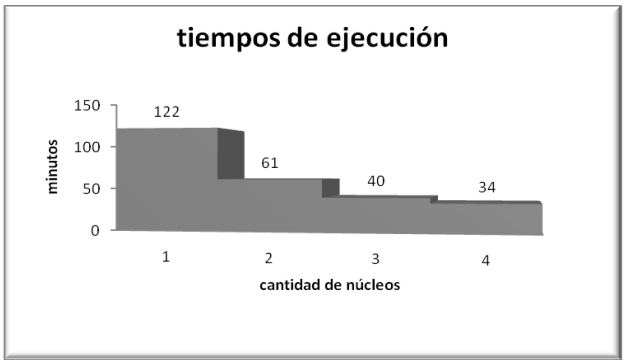


Fig. 7. Tiempo de ejecución en minutos para 1, 2, 3 y 4 núcleos.

El algoritmo paralelo ejecutado por cada hilo, incorpora una barrera en cada proceso tras cada iteración de Jacobi. Esta sincronización penaliza con tiempos ociosos a aquellos procesos que finalizan primero el cálculo de la iteración actual, al tener que esperar por la finalización del último proceso. Si bien tal espera es casi despreciable si se consideran los tiempos relativos a una única iteración; al tener en cuenta el total de las iteraciones y las constantes sincronizaciones se prevé que exista una pérdida de tiempo considerable en el tiempo de pared del programa.

Con el objeto de medir estas diferencias se propone un segundo algoritmo que no provee sincronización alguna.

Conclusiones

A la luz de los resultados observados, se sugiere una natural migración hacia nuevos paradigmas de programación. La programación paralela ha formado parte del desarrollo de código de carácter científico, donde en general intervienen cálculos complejos y donde es posible en general la descomposición funcional o del dominio de datos. Los procesadores, a través la incorporación de nuevas tecnologías de diseño, marcan aún más esta tendencia hacia la programación paralela y concurrente, ya que como se demuestra en párrafos anteriores, la programación clásica secuencial, y bajo características de compilación estándares se encuentra divorciada de las nuevas arquitecturas de hardware subyacentes; creando luego un natural separación entre “lo diseñado” y “lo ejecutado”.

Las herramientas autoparalelizantes (o que incluyen paralelización automática) no han alcanzado hasta el momento el grado de madurez como para disponer el uso a discreción de los diferentes núcleos, minimizando los tiempos ociosos de los mismos. Es de esperar que mejores compiladores y herramientas de perfilado e instrumentación acompañen las nuevas arquitecturas de procesadores; pero siempre a la sombra del mejor diseño realizado por el programador experimentado.

A través de un ejemplo sencillo de aplicación, se demuestra que la paralelización del código, a través de hilos de ejecución *Posix*, permite acelerar significativamente la ejecución del programa, quedando en manos del programador la decisión final sobre la planificación de las diferentes instancias de concurrencia, y luego proponiendo y decidiendo las diferentes alternativas de ejecución.

Desde un punto de algorítmico, el trabajo permitió proponer variantes a los métodos clásicos de resolución de sistemas de ecuaciones lineales, de cara a la posibilidad de contar con cuatro núcleos trabajando cooperativamente. Se observa una clara ganancia al incorporar nuevos núcleos en el balanceo de carga. Básicamente se destaca que la ganancia en tiempo de ejecución es prácticamente lineal para todos los experimentos llevados a cabo al incorporar un segundo núcleo en el cálculo. Y al incorporar el resto de los núcleos también se consiguen mejoras en los tiempos de ejecución.

Como línea de trabajo futuro se ahondará en la observación y documentación sobre las características de ejecución de programas de resolución de problemas de alto impacto; a través de la comparación del uso de planificación de hilos llevada a cabo en un alto nivel de programación (a cargo del programador) y la optimización llevada a cabo por compiladores.

Agradecimientos

Se agradece al Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información de la Facultad Regional Mendoza (UTN) por proveer un espacio natural para la investigación y desarrollo.

Referencias Bibliográficas

1. Chapra, S., Canale, R. Métodos Numéricos para Ingenieros. 4º Edición. Mc Graw Hill. México, (2004). ISBN: 970-10-3965-3.
2. Grama, A., Gupta, A., Karypes, Kumar, V. Introduction to Parallel Computing. 2º Edition. Addison Wesley. USA, (2003). ISBN: 0-201-64865-2.
3. Gropp, W., Lusk, E., Thakur, R. Using MPI-2. Advanced Features of the Message-Passing Interface. The MIT Press. Cambridge – Massachusetts. London, England. (1999). ISBN: 0-262-057133-1.
4. Geist, A. Beguelin, A., Dongarra, J., Jiang W., Manchek R., Sunderam V. PVM: Parallel Virtual Machine. A Users Guide and Tutorial for Networked Parallel Computing. The MIT Press. Cambridge – Massachusetts. London, England. (1994).
5. OpenMP. http://www.openmp.org/
6. Chandra R., Dagun, L., Kohr, D., Maydan, D., MacDonald, D., Menon, R. Parallel Programming in OpenMP. Morgan Kaufmann Plublishers. USA, (2000). ISBN: 1558606718.
7. Intel Processors. En http://www.intel.com/support/processors/tools/piu/sb/cs-015478.htm.
8. Monetti, J. Overclocking de procesadores: una experiencia sobre Intel Core i5. Disponible en http://grid2.frm.utn.edu.ar/procs/
9. Hennessy, J., Patterson D. Computer Architecture. A Quantitative Approach. 5º Edition. Morgan Kaufmann Plublishers. USA, (2012). ISBN: 978-0-12-383872-8.

10. Olukotun, K., Hammond L., Laudon, J. Chip Multiprocessor Architecture: Techniques to Improve Throughput and Latency. Morgan y Claypool. USA, (2007). ISBN: 1598291238 (ebook).
11. Gove, D. Multicore Application Programming. Addison-Wesley. USA, (2010). ISBN-13: 978-0-321-71137-3.
12. Rauber, T., Rünger, G. Parallel Programming for Multicore and Cluster Systems. Springer Heidelberg Dordrecht. USA, (1998). ISBN 978-3-642-04818-0 (ebook).
13. Monetti, J., García Garino, C., León, O. Utilización del Método de Diferencias Finitas en Clusters de Tipo Beowulf. LAPIC: Instituto Tecnológico Universitario (Universidad Nacional de Cuyo). ENIDI (2005). Primer encuentro de Investigadores y Docentes de Ingeniería. Mendoza. 2005.
14. Kelley, C. Iterative Methods for Linear and Nonlinear Equations. Society for Industrial and Applied Mathematics. USA, (1996).
15. Saad, Y. Iterative Methods for Sparse Linear Systems. 2º Edition. Copyright 2000 by Yousef Saad. USA, (2000).
16. Intel. Descripción disponible en http://ark.intel.com/products/42915.
17. Hughes, C., Hughes, T. Professional Multicore Programming. Wiley Publishing Inc. USA, (2008). ISBN: 978-0-470-28962-4.
18. Seguimiento de procesos en Linux. http://www.cyberhades.com/2012/03/05/10-comandos-utiles-para-manejar-los-procesos-desde-la-consola-linux/.
19. Lewis, B., Berg, D. PThreads Primer. A Guide to Multithreaded Programming. Prentice Hall, Sun Microsystems, Inc. USA, (1996). ISBN 0-13-443698-9.
20. Bradford, N., Buttlar, D., Proulx, J. Pthreads Programming. O'Reilly & Associates, (1996). ISBN: 1-5692-115-1.
21. Butenhof, D. Programming with Posix Threads. Addison Wesley Longman Inc. USA, (1997). ISBN: 0-201-63392-2.

Siniestralidad Laboral en la Agricultura en la Provincia de Mendoza

Oscar Daniel Galvez[1], Jorge Luis Britos[1],

[1] Grupo de Investigación en Higiene y Seguridad Laboral (GIHyS), Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional, Rodríguez 273, M5502AJE, Mendoza, Argentina
licdanielgalvez@yahoo.com.ar, jorgelbritos@frm.utn.edu.ar

Resumen. Se desarrolló a partir de una base de datos relevada por una Aseguradoras de Riesgos del Trabajo del medio, el perfil siniestral de la actividad económica CIIU1-Agricultura, existente en los años 1996, 2000, 2004, y 2008 en la zona denominada Nuevo Cuyo, en Argentina. Por medio de una metodología que, de manera comparativa, y para los diferentes códigos de forma de ocurrencia siniestral, se valora la contribución de éstos en las pérdidas de días laborales y la frecuencia de ocurrencia de accidentes en la actividad tratada. Las mediciones se refieren en primera instancia como relaciones incrementales respecto a los valores medios del parámetro ponderado en la muestra; a partir de aquellas se determinan rangos de incidencia mediante la definición de entornos para ponderar su significancia. En segunda instancia se representa, mediante una expresión numérica que integra las incidencias de la pérdida de días y la frecuencia de accidentes, la medida ponderada de las contribuciones de los distintos códigos de forma en la siniestralidad laboral, todo ello con el objeto de establecer priorizaciones en la gestión preventiva y tipificar a las actividades laborales mencionadas. Los resultados muestran un comportamiento consistente a lo largo del tiempo del perfil siniestral obtenido, para la actividad estudiada.

Palabras Clave: Perfil siniestral, códigos de forma, priorización, gravedad, ocurrencia, espectrograma, salud y seguridad ocupacional.

1. Introducción

1.1 Marco Teórico.

En el presente estudio se tomó como referencia el trabajo "Perfil siniestral de la actividad industrial "cultivo de vid para vinificar", código de identificación industrial único (CIIU 111252)", [1] y se aplicó el método estadístico para determinar y valorar perfiles siniestrales de actividades económicas, [2], con modificaciones realizadas en el Grupo de Investigación de Higiene y Seguridad de la Universidad Tecnológica Nacional.

1.2 Formulación y fundamentación del problema a investigar.

En la Argentina, en general y en Mendoza en particular la agricultura es una de las actividades económicas más desarrolladas. Distintas publicaciones y estadísticas de la Superintendencia de Riesgos en el Trabajo (SRT), referidas a la Seguridad e Higiene Laboral argumentan que la agricultura cuenta con un alto índice de accidentología debido a una serie de factores. Entre estos factores se destacan las pobres condiciones laborales a las que son sometidos los operarios que llevan a cabo las tareas, condiciones climáticas y a las características propias de la actividad, [1].

La agricultura es una de las actividades primarias que implica el uso o la extracción de los recursos naturales. Esta actividad ha tomado gran importancia en nuestro país en la historia y en la actualidad económica. Ésta se lleva a cabo en el espacio rural, es decir, en el campo, [3].

La actividad agropecuaria registra mayor cantidad de accidentes que la minería, a pesar de ser un sector productivo menos riesgoso. También ocupa el tercer lugar con respecto a los accidentes mortales, después de la construcción y las actividades relacionadas con la electricidad, el gas y el agua, [4].

En el medio rural coinciden el medio ambiente de trabajo y el ambiente de vida o hábitat. En algunos lugares y tipos de explotaciones, se vive donde se desarrolla el trabajo. Por eso es que hay que considerar las condiciones de vida de la familia del trabajador pues el grupo familiar está expuesto durante todo el día a distintos factores de riesgo, [4].

La aplicación de medidas de seguridad y salud en el trabajo agropecuario presenta más inconvenientes que en la industria, ya que en el trabajo agropecuario hay exposición de los trabajadores a las condiciones climáticas, dado que la mayoría de las tareas se realizan al aire libre; la diversidad de tareas que debe desempeñar una misma persona, los tipo de posturas de trabajo y duración de las actividades que se realizan; el contacto con animales y plantas, con la consiguiente exposición de los trabajadores a mordeduras, infecciones, enfermedades parasitarias, alergias, intoxicaciones; la utilización de productos químicos y biológicos, y las distancias considerables entre los lugares de trabajo y vivienda de los trabajadores, [4]

El sector de actividad económica con mayor incidencia de AT/EP de todo el sistema continúa siendo el de la "Construcción", registrando 128,3 trabajadores accidentados por cada mil trabajadores cubiertos, seguido por la "Agricultura, caza, silvicultura y pesca" (90,2‰) y por las "Industrias manufactureras" (85,0‰), [5].

La mortalidad por AT/EP según el sector de actividad económica se observar que los sectores de la "Construcción", la “Agricultura, caza, silvicultura y pesca" y el "Transporte, almacenamiento y comunicaciones", registran los índices más elevados, con 197, 185 y 157 casos mortales por cada millón de trabajadores cubiertos, respectivamente, [5].

La distribución de la Población masculina cubierta en las diferentes actividades económicas, es más heterogénea que en el caso de las mujeres. Se destacan los pesos porcentuales de Agricultura, Silvicultura, Ganadería y Pesca y de la Construcción en el grupo más joven: el 15% y el 13% de los hombres de entre 14 y 19 años están cubiertos en estas actividades. Las mujeres con accidentabilidad laboral más altas son las de Mendoza, Río Negro y Neuquén. En las 3 provincias se destaca la accidentabilidad en agricultura: cultivo de vid y cultivo de legumbres y oleaginosas

en Mendoza, y cultivo de manzanas y peras en Río Negro y Neuquén. Por su parte, en Mendoza también se destaca la incidencia de AT/EP en Fabricación de vinos, y Preparación de conservas de frutas, hortalizas, [6].

Ahora bien, la política, concebida como un ejercicio ejecutivo tendiente a cumplimentar objetivos y lograr metas, no escapa a las reglas generales de la planeación, las cuales indican que el diagnóstico constituye el requisito primero que debe desarrollarse para intervenir exitosamente sobre un determinado estado de situación, en un dado sistema. Por otro lado, la calidad del diagnóstico es un factor esencial para el éxito de la planeación mediante la creación de metodologías de generación de perfiles siniestrales de las actividades existentes en la materia, [2].

1.3 Marco Legal

La sanción de la ley 19587/1972, [7], en la década de los setenta, en el siglo XX. Dicha ley actuó como un iniciador de un proceso que se alimenta a sí mismo, modificando el marco jurídico, creando instituciones de aplicación de políticas de diversa índole y contribuyendo en términos generales a crear condiciones más favorables a la implementación de una sociedad más equitativa con la salud y el bienestar de quienes trabajan, Ref [2].

Con la sanción de la ley Nº 24.557/1996, de Riesgos del Trabajo, [8], el empleador tiene la obligación de denunciar ante una Aseguradora de Riesgos del Trabajo (ART), todo accidente laboral o enfermedad profesional que sufran sus operarios. Las aseguradoras iniciaron la recolección de información y confección de bases de datos relacionadas con los siniestros laborales, siguiendo los lineamientos de la Superintendencia de Riesgos del Trabajo (SRT), ente nacional contralor de las ART.

El rol de las entidades prestadoras de servicios en la asistencia integrada en la temática de la Higiene y Seguridad (H&S) y la medicina laboral, a cargo de las Aseguradoras de Riesgos del Trabajo, se ha ido consolidando en este principio de siglo, acorde con los dictámenes emitidos por la SRT, entidad que delinea y supervisa la aplicación de la política laboral relativa a la H&S en el país, [2].

2. Materiales y Métodos

2.1 Análisis estadístico

La metodología de análisis empleada en este trabajo se basa en un método estadístico para determinar y valorar perfiles siniestrales de actividades económicas, [2].

2.2 Base de datos

En el presente trabajo, de los registros de la base de datos se utilizaron las siguientes informaciones:

- Fecha del Accidente
- Provincia
- Descripción del Accidente: contiene una breve explicación de las circunstancias del hecho y sirve para identificar el código de forma de accidente correspondiente.
- Contingencia: los mismos están clasificados en accidente de trabajo, In Itinere, enfermedad profesional, y reagravaciones.
- Código de Forma del Accidente: codificación establecida en las resoluciones SRT 31/97 y modificatorias, Ref. [9], Disposición SRT 6/2007, Ref. [10]. Dichas tablas se muestran en el apartado Anexo.
- CIIU: Clasificador Industrial Internacional Uniforme.

2.3 Población

El grupo de casos o siniestros que se utiliza en esta investigación corresponden a una base de datos provista por una ART del medio.

La base de datos consta de 154.579 contingencias laborales ocurridas en las Provincias de Córdoba y Nuevo Cuyo (La Rioja, Mendoza, San Juan y San Luis) durante los años 1996 hasta 2008 inclusive.

2.4 Muestra

Como la población en estudio es muy extensa, se dividió la base de datos en función de la ubicación geográfica, actividad laboral e industrial, diferenciándose las zonas Córdoba y Nuevo Cuyo, lo cual hace que estas dos zonas no se puedan integrar puesto que las actividades agrícolas en sí tienen características distintas.

Las características generales de estas dos zonas se resumen en Tabla 1.

Tabla 1. Características generales actividad agrícola Mendoza-Cordoba.

	Mendoza	Córdoba
Cultivos	Intensivos	Extensivos
Actividad laboral	Predominio mano de obra	Generalmente mecanizado
Actividad industrial	Vitivinicultura	Ganadería
	Olivicultura	Cereales y grano grueso
	Fruticultura	
	Horticultura	

Para este estudio se eligió la actividad económica CIIU1, zona geográfica Nuevo Cuyo, utilizando el criterio de muestreo no probabilístico para la selección del tamaño y propiedades de la muestra seleccionando todos los casos incluidos en los años 1996, 2000, 2004 y 2008, [11].

De esta manera la muestra quedo conformada con 1335 registros, de la actividad económica CIIU1 de la zona Nuevo Cuyo cada cuatro años.

Finalmente, para este trabajo se acoto la actividad CIIU1 a la actividad agrícola, excluyéndose las actividades caza, silvicultura y pesca, con lo cual se seleccionaron 1283 casos.

2.5 Depuración de la muestra

La depuración de los registros seleccionados se hizo en varias instancias, las que se detallan a continuación:
1º Unificar códigos de forma: para la muestra estudiada se utilizó la codificación de la resolución SRT 31/97.
2º Recodificar códigos de forma: se corrigieron los códigos de forma que no tenían relación con la descripción del accidente.
3º Reclasificar la contingencia del siniestro: se corrigieron los registros cuyas contingencias no concordaban con la descripción del accidente.
4º Descartar registros: se descartaron los registros clasificados como enfermedades profesionales, reagravaciones, y los siniestros con escasa o nula información sobre descripción del accidente, contingencia, y código de forma de accidente, no siendo posible su recodificación.

La muestra seleccionada y depurada quedo con 1155 casos, cuyos datos se detallan en Tabla 2.

Tabla 2. Distribución registro depurados CIIU1, para Zona Cuyo en los años 1996, 2000, 2004 y 2008.

Registros	Utilizados	Eliminados
Accidente de trabajo	1052	
In Itinere	103	
Reagravaciones		55
Enfermedad profesional		3
Eliminados[a]		70
Total	1155	128

[a]corresponden a 69 registros por falta de información para su recodificación, y 1 registro por muerte.

2.6 Variables

Las variables del método estadístico se basan en la medición y valoración de los días perdidos por ciclos anuales y la frecuencia siniestral (cantidad de siniestros en el mismo lapso mencionado) para los distintas formas de ocurrencia de siniestros en la actividad laboral mencionada. Para ello se definen relaciones que miden porcentualmente el respectivo incremento de las intensidades de la propiedad que se trata (días perdidos y frecuencia siniestral) respecto de la media ponderada, para la forma siniestral considerada.

Dicha medición de los incrementos se expresa por la ecuación (1).

$$\%MD = \left(\left(Pi \div Pm\right) - 1\right) \times 100 \qquad \textbf{(1)}$$

Donde:
%MD: Porcentaje del Margen de diferencia.
Pi: Valor de la propiedad medida en la forma i.
Pm: Valor medio ponderado de la propiedad en el conjunto considerado.
Por medio del promedio ponderado, los valores resultantes son equivalentes a los datos de cada propiedad considerada.

Para nuestro estudio se utilizaron los promedios ponderados de los días perdidos XG y frecuencia siniestral u ocurrencia XO.

Dichas mediciones se expresan por medio de las ecuaciones (2) y (3).

$$Xg = \left(\sum_{i}^{n} DP_i \times \%DP_i \right) \div \sum_{i}^{n} \%DP_i \quad \textbf{(2)}$$

$$Xo = \left(\sum_{i}^{n} F_i \times \%F_i \right) \div \sum_{i}^{n} \%F_i \quad \textbf{(3)}$$

Donde:
Xg: Valor medio ponderado de días perdidos en el conjunto considerado.
Xo: Valor medio ponderado de ocurrencia siniestral en el conjunto considerado.
DPi: Días pérdidas para cada código de forma siniestral en el lapso estudiado.
%DPi: Porcentaje de días pérdidas para cada código de forma siniestral en el lapso estudiado.
Fi: Frecuencia para cada código de forma siniestral en el lapso estudiado.
%Fi: Porcentaje de frecuencia para cada código de forma siniestral en el lapso estudiado.

2.7 Índices

Para este trabajo se emplearon los índices de gravedad, (IG), ocurrencia (IO), priorización, (IP), y de variabilidad y consistencia temporal de los índices de gravedad y ocurrencia, (IV).

2.7.1 Índice de gravedad

Es el valor porcentual resultante de la diferencia entre la relación existente entre el porcentaje de días perdidos para un dado código de forma siniestral respecto de la media porcentual de días perdidos para la suma de las formas de ocurrencia (que efectivamente verificaron siniestros en el lapso considerado) y la unidad.

Se define por la ecuación (4).

$$IG = \left(DP_i \div Xg - 1 \right) \times 100 \quad \textbf{(4)}$$

Donde:
IG: Índice de gravedad porcentual.
DPi: Días pérdidas para cada código de forma siniestral en el lapso estudiado.

Xg: Valor medio ponderado de días perdidos en el conjunto considerado.

2.7.2 Índice de ocurrencia

Es la media ponderada entre la frecuencia siniestral y el valor porcentual de la frecuencia siniestral, del conjunto de las formas de ocurrencia en el lapso de tiempo considerado.

Dichos valores se obtienen de la ecuación (5).

$$IO = \left(F_i \div Xo - 1\right) \times 100 \quad \textbf{(5)}$$

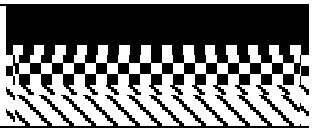
Donde:
IO: Índice de ocurrencia porcentual.
Fi: Frecuencia para cada código de forma siniestral en el lapso estudiado.
Xo: Valor medio ponderado de ocurrencia siniestral en el conjunto considerado.

2.7.3 Índice de priorización

Siguiendo los lineamientos del método a aplicar se caracterizó la siniestralidad de la actividad laboral para la actividad evaluada aplicando criterios de expresión cualitativa en una matriz; luego la información considerada se la convirtió a un espectrograma para facilitar su interpretación.

Las calificaciones asignadas a los distintos entornos de valores de los Índices de Gravedad y Ocurrencia fueron relacionadas según Tabla 3.

Tabla 3. Matriz de riesgo según el código de forma (CF).

MD (Margen de Diferencia)	Índice	Cromático
MD>33,33%	Alto	
-33,33%<MD<33,33%	Medio	
MD<-33,33%	Bajo	

Posteriormente se calculó el Índice de Priorización, por medio de la ecuación (6).

$$IO = IG \times 0.7 + IO \times 0.3 \quad \textbf{(6)}$$

La asignación de estos porcentajes es de carácter empírico y estos valores los utilizan las ARTs, teniendo en cuenta los costos asociados a las prestaciones en especies y monetarias ligadas al tratamiento de los siniestros.

A partir de los valores resultantes en el cálculo del índice se cuantifico el nivel de prioridad en la consideración y tratamiento que le corresponde a la forma siniestral considerada.

2.7.4 Índices de variabilidad y consistencia temporal de los índices

Como se efectuaron mediciones que incluyen más de un periodo, fue importante determinar si las pendientes de las relaciones obtenidas para los distintos códigos de forma siniestral mantienen constancia en su signo respecto de las medias con las que se las comparo, en los intervalos de tiempo medidos. La determinación del grado de consistencia en la tendencia permite asignarle mayor o menor credibilidad a los resultados promedios obtenidos.
Dichos valores se obtuvieron con la ecuación (7).

$$IV = \left\{ N - \left(\left| \sum FV \right| \right) \div N \right\} \times 100 \quad \textbf{(7)}$$

Donde:
IV: Índice de variabilidad.
N: indica la población de ciclos.
FV: Factor de variabilidad, el cual varía según Tabla 4.

Tabla 4. Factor de variabilidad.

Margen de Diferencia	Índice	Factor de Variabilidad (FV)
MD≥0%	alto	"+1"
MD<0%	bajo	"-1"

Resulta importante aclarar que las formas siniestrales, categorizaciones y registros de los eventos siniestrales como enfermedades profesionales o accidentes laborales han sido redefinidas por la autoridad de aplicación de la normativa laboral en Argentina, la Superintendencia de Riesgos del Trabajo (SRT), mediante las resoluciones SRT 1601/07, [12] y SRT 1604/07, [13]. En el presente trabajo se emplean los códigos y nomenclaturas vigentes hasta el año 2007. A partir de los datos de días caídos y frecuencia siniestral asignados por código de forma (CF), para una determinada actividad económica (CIIU), se determina el grado de apartamiento respecto del valor medio de sendas variables. Ello permite calificar a los índices definidos, cuali-cuantitativamente.

3. Resultados

3.1 Índices de gravedad y ocurrencia

Los valores de los índices de gravedad y ocurrencia para cada código de forma del CIIU1, en los años 1996, 2000, 2004, 2008, y global se muestran en las Fig. 1, 2, 3, 4, y 5 respectivamente.

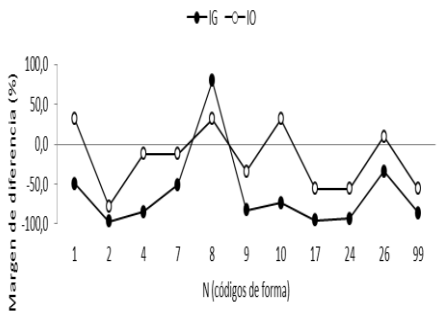


Fig. 1. Curva de distribución Índices de Gravedad y Ocurrencia, CIIU1-año 1996.

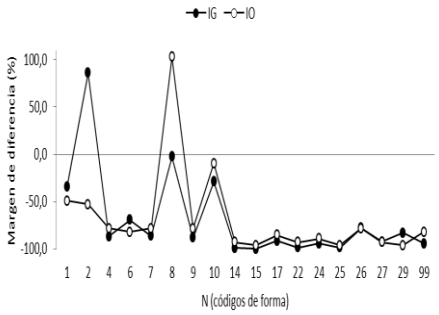


Fig. 2. Curva de distribución Índices de Gravedad y Ocurrencia, CIIU1-año 2000.

En Fig. 1 se observan que son frecuentes los siniestros por caídas en altura; CF1, golpes por objeto; CF8, y CF10; esfuerzos físicos excesivos. Además el CF8 es el único donde sus índices de gravedad y ocurrencia son mayores a la media muestral.

En Fig. 2, el accidente más frecuente corresponde al CF8 y el que más pérdida de días laborales genera es el accidente por caídas a nivel, CF2.

Sobre un total de 158 siniestros en el 2000, se observa en Fig. 2 más formas siniestrales respecto del año 1996, dato que concuerda con la implementación en el año 1997 de la ley de Riesgos del Trabajo y la creación de las aseguradoras de riesgo del trabajo (ART), y Superintendencia de riesgos del trabajo (SRT), existiendo así un mayor control hacia el empleador para las denuncias de los accidentes.

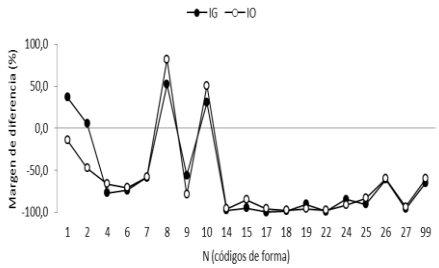


Fig. 3. Curva de distribución Índices de Gravedad y Ocurrencia, CIIU1-año 2004.

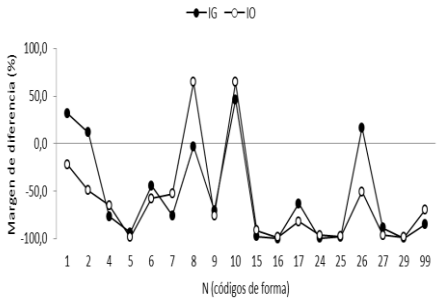


Fig. 4. Curva de distribución Índices de Gravedad y Ocurrencia, CIIU1-año 2008.

En Fig. 3 el CF8 continua siendo el más frecuente y pérdida de días produce, seguido del CF10, esfuerzos físicos excesivos, donde los índices de gravedad y ocurrencia superan los valores medios de la muestra.

En Fig. 4 los CF 8 y CF 10 continúan siendo los más frecuentes y respecto a la gravedad, el CF10 es la forma siniestral que origina más pérdida de días laborales.

En Fig. 5, en el análisis global de los índices de gravedad y ocurrencia, los códigos de forma CF1; CF2; CF8 y CF10 son los que producen mayor cantidad de pérdidas de días laborales. El CF8 sigue siendo la forma siniestral mas ocurrente.

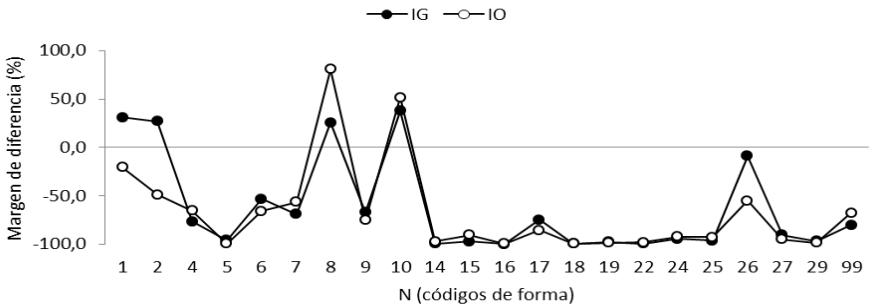


Fig. 5. Curva de distribución Índices de Gravedad y Ocurrencia, CIIU1-Global.

3.2 INDICE DE PRIORIZACION

Los valores de los índices de priorización para cada código de forma del CIIU1 en los años 1996, 2000, 2004, 2008, y global se muestran en las Fig. 6, 7, 8, 9, y 10 respectivamente.

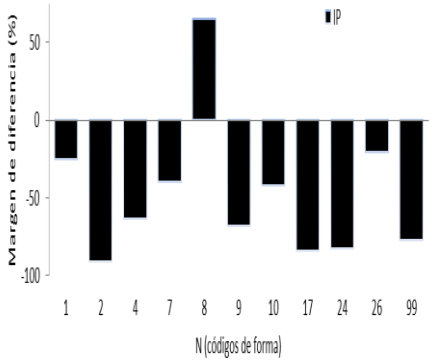


Fig 6. Curva de distribución Índice de Priorización CIIU1-año 1996.

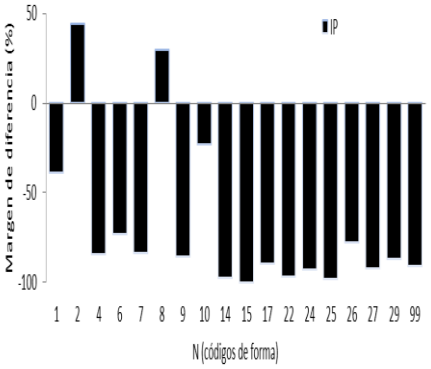


Fig 7. Curva de distribución Índice de Priorización CIIU1-año2000.

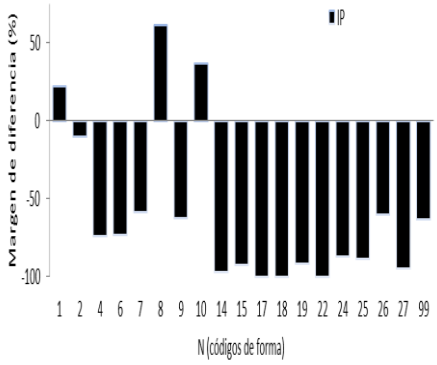


Fig 8. Curva de distribución Índice de Priorización CIIU1-año 2004

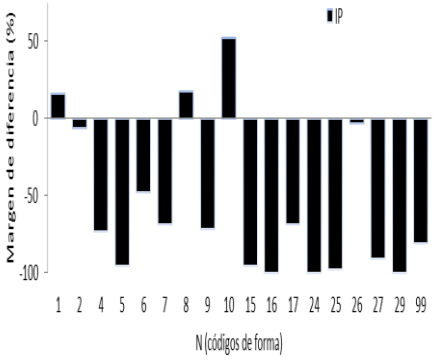


Fig 9. Curva de distribución Índice de Priorización CIIU1-año 2008

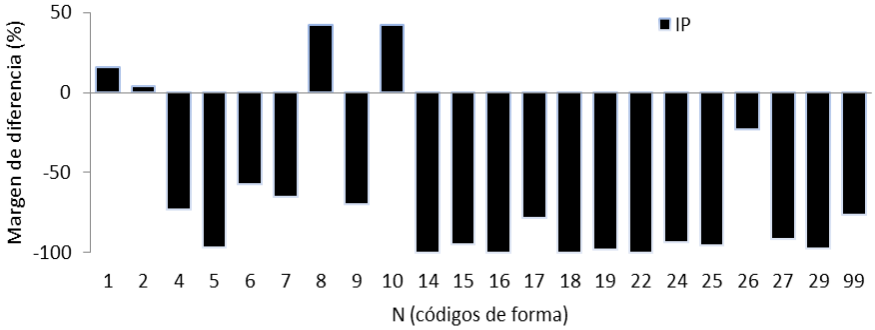


Fig 10. Curva de distribución Índice de Priorización CIIU1-Global.

En las Figuras 6 a 10, se observan que el CF8 se mantiene en el periodo de estudio. A partir del año 2004 el CF10, comienza hacerse prioritario, superando en el 2008 al CF8.

3.3 INDICE DE VARIABILIDAD

Los valores del índice de variabilidad se muestran en Fig. 11.

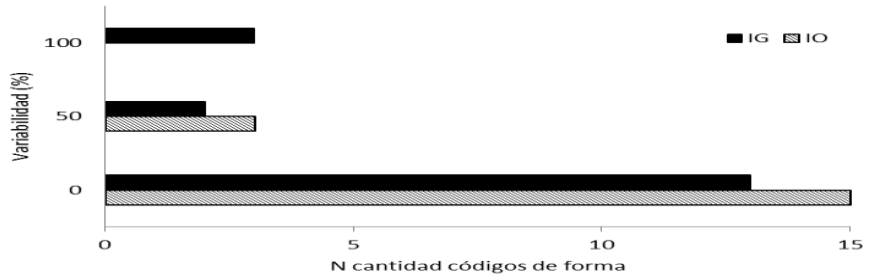


Fig 11. Variabilidad índices de gravedad y ocurrencia -CIIU1.

En Fig. 11, se observa un alto grado de consistencia donde la mayoría de los códigos de forma para los índices de gravedad y ocurrencia no presentan variabilidad, manteniendo constante su signo respecto de las medias muestrales en el período estudiado.

3.4 COMPARACIÓN ÍNDICES GRAVEDAD Y OCURRENCIA CIIU1-BASE TOTAL-ESPECTROGRAMAS

Se realizó la comparación de los índices de gravedad y ocurrencia entre el CIIU1 y la base total, que contempla todos los CIIUs (1 a 9), teniendo en cuenta las mismas consideraciones referidas a zona geográfica y período de tiempo analizado.

Dichos valores se muestran en Fig. 12 y 13 para los índices de gravedad y ocurrencia respectivamente.

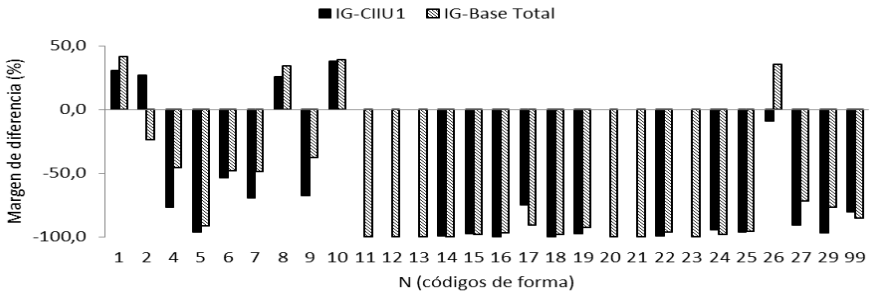


Fig 12. Distribución Índices de Gravedad entre CIIU1 y Base Total.

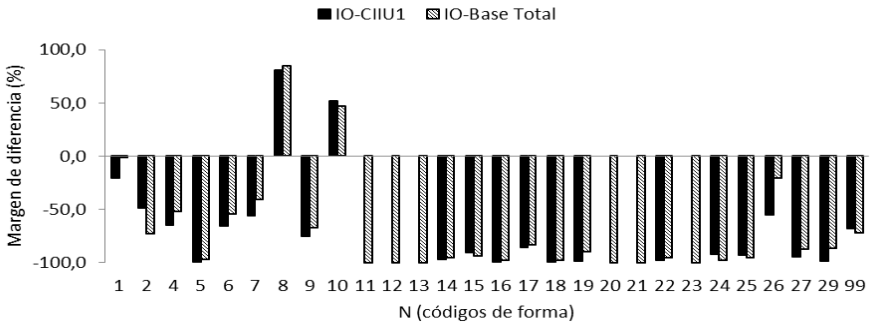


Fig 13. Distribución Índices de Ocurrencia entre CIIU1 y Base Total.

A partir de los valores obtenidos se confecciono una matriz de tipificación de la actividad ponderada desde la perspectiva siniestral, la cual se expresa mediante un espectrograma de colores.

Los espectogramas según el código de forma del CIIU1 y base total se muestran en Tabla 5.

Tabla 5. Espectograma según el código de forma CIIU1 y Base Total

CF^c	1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	29	99
IG^{1a}																												
IO^{1b}																												
IG^{2a}																												
IO^{2b}																												

[1:] CIIU1, [2]: Base Total, [a]: Índice de Gravedad, [b]: Índice de Ocurrencia, [c]: Código de Forma

Las casillas en blanco de Tabla 5 correspondes a inexistencia de registros de la actividad económica CIIU1.

4. Discusión

4.1 Respecto al CIIU1

En las figuras de los índices de priorización de los años 1996, 2000, 2004, 2008, y global se observa que el CF8 esta presente en todas ellas. El CF10 comienza hacerse notorio a partir del año 2000, superando la media de la muestra en los años 2004 y 2008, existiendo una correlación a la implementación de la Resolución del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social 295/03, donde se especifica las técnicas sobre ergonomía y levantamiento manual de cargas.

Los códigos de forma CF8 y CF10, golpes por objeto y esfuerzo físico excesivo o falsos movimientos respectivamente, son los mas predominantes del CIIU1 estudiado, con alta ocurrencia, alta gravedad para el CF10 y gravedad media para el CF8. Luego

le sigue el código de forma CF1 en el orden de priorizaciones, con gravedad y ocurrencia media.

En el CIIU1 estudiado, el 48% y 56% de los días perdidos y ocurrencia siniestral respectivamente, están contemplados en tres códigos de forma, CF1; caídas a mismo nivel, CF8; golpes por objeto, y CF10; esfuerzo físico excesivo o falsos movimientos.

De acuerdo a las tareas de laboreo que se realizan en la agricultura, los riesgos más predominantes en el CIIU1 analizado son ergonómicos (CF10), y mecánicos (CF1 y CF8).

En la muestra analizada, el CF10 es el que origina mayor cantidad de días laborales perdidos por siniestro, y el CF8 la forma siniestral más ocurrente.

Respecto al índice de variabilidad, sobre un total de 22 formas siniestrales de accidentes para los cálculos de variabilidad se descartaron cuatro códigos de forma, CF18 y CF19 del 2004, y CF5 y CF16 del 2008 ya que estos códigos figuran solamente en los años mencionados.

De la variabilidad de los índices de gravedad y ocurrencia, en las figuras 2-5 y 1-10 se observaron distribuciones similares a lo largo de los cuatro ciclos anuales, donde el 72% y 83% de los códigos de forma analizados para los índices de gravedad y ocurrencia respectivamente, mantuvieron el mismo patrón de desviación en los cuatro años tratados, lo cual otorga credibilidad a la metodología empleada.

4.2 Respecto a la comparación entre CIIU1 y base total

Las formas de accidentes más frecuentes ocurrentes son los golpes por objeto (CF8) y los esfuerzos físicos excesivos (10), donde este último el CF10 supera a la base total.

La mayor cantidad de pérdidas de días laborales se producen por los siguientes siniestros: caídas de personas a nivel y de altura (CF1 y CF2), golpes por objeto (CF8), esfuerzos físicos excesivos (CF10) y choque de vehículos (CF26), donde los valores de los códigos de forma mencionados superan las medias muestrales.

El CF26 incide solamente en la muestra base total. Una relación opuesta se da con los accidentes de caídas de personas en altura, CF2, donde son significativos en el CIIU1 respecto de la base total.

5. CONCLUSIÓN

Para las condiciones y consideraciones planteadas, el método aplicado permite generar perfiles de distribución consistentes a lo largo de los intervalos de tiempo incluidos. Dicha consistencia admite extrapolar el comportamiento hacia adelante, en el tiempo inmediato, de las características de la siniestralidad, constituyéndose entonces en una herramienta de pronóstico confiable dentro del marco descrito.

Resulta interesante además proponer una profundización del estudio sobre las variaciones de las pendientes detectadas, a los efectos de inferir tendencias en la evolución de los parámetros siniestrales considerados.

Este trabajo puede ser utilizado en posteriores estudios como referencia, como así también en la aplicación de la metodología estadística utilizada que puede hacerse extensiva a todas las ART que trabajen en la actividad. Los resultados expresados son aplicables dentro del ámbito de actuación de la ART proveedora de la muestra, ya que para hacerlos extensivos a toda una región deberán incorporarse dentro de la base de datos de la SRT, los registros de todas las ART que tengan presencia en la zona, y así obtener las curvas referenciales correspondientes.

Agradecimientos

Este trabajo forma parte de la Tesina Siniestralidad laboral en la agricultura en la Provincia de Mendoza.

El autor desea expresar su agradecimiento al Director del Posgrado, Ing. Melvyn Cavallo, a mi Director de tesina y del equipo de Investigación, Qco. Jorge Britos, y a la Asesora en Metodología de la Investigación, Dra. Beatriz García por su participación en el trabajo.

Referencias

1. Galvez, OD, Britos, JL: Perfil siniestral de la actividad industrial "cultivo de vid para vinificar", código de identificación industrial único (CIIU 111252). EnIDI 2008 (2008).
2. Britos, JL, Quiroga, JP, Galvez, OD: Desarrollo de una metodología para determinar y valorar perfiles siniestrales de actividades económicas. EnIDI 2009 (2009).
3. Geografía Argentina, http://geografiaargentina2007.blogspot.com.ar
4. Facultad de Ciencias Agrarias, http://www.fcagr.unr.edu.ar
5. Superintendencia de Riesgo de Trabajo, http://200.32.100.20/estadisticas/anuario/2010.pdf
6. Superintendencia de Riesgo de Trabajo, http://www.srt.gov.ar
7. Ley Nº 19587/1972 Ley de Higiene y Seguridad en el Trabajo, http://www.infoleg.gov.ar
8. Ley Nº 24557/1996 Riesgos del Trabajo, http://www.infoleg.gov.ar
9. Resolución SRT 31/97 y modificatorias, http://www.uart.org.ar
10. Disposición SRT 6/2007, http://www.infoleg.gov.ar
11. Kozusnik, Gloria, Evaluación de la Codificación de Siniestros Laborales en Nuevo Cuyo. Tesina presentada en UTN-FRM 2011.
12. Resolución SRT 1601/07, http://www.infoleg.gov.ar
13. Resolución SRT 1604/07, http://www.infoleg.gov.ar

Evaluación de la Codificación de Siniestros Laborales en Nuevo Cuyo

Gloria del Carmen Kozusnik[1], Jorge Luis Britos[1],
Oscar Daniel Galvez[1], Melvyn Cavallo[1]

[1]Grupo de Investigación en Higiene y Seguridad Laboral (GIHyS), Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional, Rodríguez 273,
M5502AJE, Mendoza, Argentina.
ing.gloriakozusnik@yahoo.com.ar, jorgelbritos@frm.utn.edu.ar,
licdanielgalvez@yahoo.com.ar, imc-ingenieria@uolsinectis.com.ar

Resumen. Sobre una base de datos (muestra) aportada por una Aseguradora de Riesgos del Trabajo del medio, se identificaron y corrigieron los errores cometidos al asignar el Código de Forma siniestral de accidente de trabajo, según el modo de ocurrencia, cuando se confecciona el Formulario de Denuncia del mismo. Para cada Código de Forma, se cuantificó la cantidad de casos que le corresponde tener realmente y se comparó dicha magnitud con la que arrojaba antes de ser corregido, encontrando diferencias significativas que responden a un error relativo. Un análisis más profundo, demuestra que en dicho error relativo interviene simultáneamente la presencia de una serie de errores por exceso y errores por defecto. Además, se expone el origen de las confusiones más frecuentes en la asignación de los Códigos de Forma. Los resultados obtenidos están expresados en forma global para toda la muestra y para cada actividad industrial en particular. Esta investigación descubre la inconsistencia de la información en las bases de datos de las Aseguradoras, y por extensión en los archivos de las Autoridades de Control que repercute directamente en el diagnóstico de situación y en el diseño de medidas preventivas y correctivas apropiadas.

Palabras Clave: Código de Forma, accidente de trabajo, errores de codificación, errores por exceso y por defecto, priorización de riesgos.

1 Introducción

El registro fidedigno de los siniestros laborales resulta esencial cuando se realiza un diagnóstico de situación destinado a elaborar programas preventivos y correctivos que eliminen o atenúen los riesgos. Además, asegura el desenvolvimiento de un sistema próspero de gestión laboral, que garantiza la salud de los trabajadores, cuando participan en forma conjunta sectores públicos y privados.

Así es que, la Organización Internacional del Trabajo (OIT) establece a través de los convenios (C155 y C160) [1] y recomendaciones (R164 y R170) [2] que la recopilación, el registro y la notificación de datos relativos a los accidentes de trabajo son instrumentos básicos para el trazado de los procedimientos más aptos que garanticen la prevención de riesgos, a la vez que destaca la conveniencia de identificar y analizar las causas de dichos accidentes con el fin de establecer las medidas cautelares correspondientes. Asimismo esboza una serie de lineamientos y

premisas que deberían seguirse para el diseño de una política de registro de accidentes.

Por otra parte, en el año 1972, se promulga la Ley 19587 (o Ley de Higiene y Seguridad en el Trabajo) que establece las condiciones a las que deben ajustarse todas las actividades establecidas dentro del territorio de la República en lo que a higiene y seguridad se refiere y es además la mecha iniciadora de un proceso que se alimenta a sí mismo, modificando el marco jurídico, creando instituciones de aplicación de políticas de diversa índole y contribuyendo en términos generales a crear condiciones más favorables de quienes trabajan [3].

Manteniendo el espíritu de la normativa anterior, en el año 1996, se pone en vigencia la Ley 24557 (o Ley de Riesgos del Trabajo), a través de la cual se crea la Superintendencia de Riesgos del Trabajo (SRT). Este nuevo organismo es el responsable de supervisar y fiscalizar a las Aseguradoras de Riesgo del Trabajo (ART) como así también de mantener un Registro de Accidentes de Trabajo y dentro de los requerimientos establece que las aseguradoras y empleadores tienen la obligación de mantener un registro de siniestralidad [4].

Con el propósito de clasificar las contingencias laborales según su origen, y posterior registro a través de un recurso sencillo, se desarrolló la Tabla de Códigos de Forma (CF) de Accidentes, que consiste en un nomenclador de siniestros donde a cada causa le corresponde un número identificatorio, por ejemplo: el CF1 representa Caída de personas a nivel; el CF2 define Caída de personas de altura; el CF4 identifica Caída de objetos, etc.

El Registro de Accidentes de Trabajo en la SRT se alimenta de la recolección de los datos, asociados a cada accidente en particular, que envían las ART intervinientes. Estas por su parte, como son las responsables de otorgar las prestaciones en especie y dinerarias a los damnificados dependientes de los empleadores afiliados a la misma, toman conocimiento de los hechos por medio del Formulario de Denuncia de Accidente, el cual es confeccionado por el empleador. En dicho formulario se consigna en diferentes columnas todo lo relacionado al suceso que lo motiva, como ser: datos personales del lesionado y de la empresa, testigos presentes, descripción del accidente, Código de Forma del Accidente, lesiones, Código de Ubicación de las Lesiones, etc. Es necesario aclarar que de los rubros recién mencionados y que figuran en el Formulario, de la lectura del contenido del ítem Descripción del Accidente se debe interpretar cuál fue la causa primaria que originó el infortunio y bajo esta consigna se coloca en la columna rotulada Código de Forma el número que le corresponde según la tabla de CF (que figura en el reverso del formulario), por ejemplo, si en la columna Descripción del Accidente se lee un detalle como ser: "se dirigía a su trabajo en moto y se lesionó al chocar con una camioneta" al buscar en la tabla se encuentra que el hecho se ajusta al formato del CF26 que contempla la referencia "Choque de Vehículos", por lo tanto se debe registrar éste número en la columna Código de Forma.

La SRT, con toda la información acumulada hasta el presente en el Registro, debería tener la capacidad de dibujar un mapa de la siniestralidad individualizando en qué medida participan las diferentes modalidades de ocurrencia para cada actividad e inclusive para cada una de las empresas en forma independiente y que sea, por supuesto, un fiel reflejo del contexto. Pero resulta que en muchas ocasiones, al categorizar un accidente de acuerdo a su origen no siempre le adjudican el Código de

Forma que le corresponde según la descripción del mismo. Y es de esta manera que al momento de evaluar las prioridades se confunde el rumbo que debe tomar la administración de medidas esenciales para reducir o suprimir tales perjuicios.

Por lo tanto, como es de vital importancia para el desarrollo de modelos y técnicas de prevención de riesgos laborales contar con registros cuya información sea una genuina representación de la realidad, resulta fundamental "Ponderar los errores que se cometen al asignar los Códigos de Forma que corresponden a los diferentes tipos de Accidentes en una muestra dada", examinando de un archivo auténtico (depurado) de infortunios laborales, cada uno de los casos y rectificando aquellos CF que así lo ameriten con el fin de discriminarlos, contabilizarlos y analizarlos.

Las contingencias laborales se clasifican en cuatro categorías, que son: Accidentes de Trabajo, In Intínere (en trayecto), Enfermedades Profesionales y Reagravaciones. En esta investigación se analizaron las dos primeras, aunadas bajo el título común de Accidentes de Trabajo.

2 Materiales y Métodos

2.1 Población

Esta investigación toma en cuenta una Base de Datos provista por una ART del medio, que consta de 154.579 contingencias laborales, ocurridas en las Provincias de Córdoba y Nuevo Cuyo (La Rioja, Mendoza, San Juan y San Luis) durante los años 1996 hasta 2008 inclusive.

Dicho registro se presenta en un archivo de hoja Excel y los casos no guardan ningún tipo de orden.

2.2 Muestra

Debido a la magnitud de esta fuente de casos y dado que se debe realizar una revisión detallada de cada uno de ellos para determinar su correcta tipificación (lo cual para todo el conjunto llevaría mucho tiempo) se tomó una muestra de 12.231 siniestros que corresponden a la zona de Nuevo Cuyo y a los años 1996, 2000, 2004 y 2008. La elección premeditada de este abanico de períodos anuales completos permitió perfilar con mayor precisión la evolución de los errores en la codificación como así también el desenvolvimiento certero de la siniestralidad laboral y detectar apartamientos sistemáticos.

Si bien este tipo de muestreo, que está clasificado como "no probabilístico", no guarda la condicionalidad que exige la estadística pura, es confiable dentro del marco de referencia que expone esta ciencia para muestras no aleatorias.

Dado que el análisis de los errores en los CF se basa en observar cómo se manifiesta esta variable en sus diferentes contextos (zona, actividad y año de ocurrencia) podría haber sucedido, si el muestreo hubiera sido aleatorio, que por decisión del azahar, una determinada industria no hubiese estado representada en alguno o algunos de los años estudiados. Tal como afirman Levin-Rubin [5] y

Ackoff-Sasieni [6], las muestras elegidas de forma no estadísticas son válidas cuando la selección por probabilidad dificulta el alcance de los objetivos.

2.3 Tablas de Códigos de Forma

El patrón de tabla de CF empleado en el presente diagnóstico, es el establecido por la Resolución 15/1998 de la SRT que rigió hasta el 31/12/2007 debido a que la mayoría de los registros que conforman la base de datos están expresados acorde a dicha reglamentación [7].

A partir del 01/01/2008 entró en vigencia el indicado en la Resolución 1604/2007 de la SRT [8].

2.4 Unificación de códigos de forma

Como en el presente trabajo se aplica la codificación establecida en la Resolución SRT 15/1998 se convirtieron los CF de los registros del año 2008, codificados de acuerdo a resolución SRT 1604/2007 a su homóloga anterior.

Esta elección no es arbitraria. El último sistema de codificación amplía el número de causas de accidentes al referir distintas particularidades de las situaciones expuestas en la tabla que anteriormente se utilizaba. Este hecho se revela también en el ítem Descripción del Accidente donde se advierte que los siniestros registrados con la antigua codificación no especifican algunos detalles del hecho y esta circunstancia imposibilita la conversión del anterior sistema de CF al último establecido por la Resolución 1604/07.

Por ejemplo, en los registros preliminares bajo el CF 10 (que identifica al infortunio Esfuerzos físicos excesivos o falsos movimientos), se encuentran descripciones como la siguiente “presenta lumbalgia por esfuerzos que realizó durante su jornada laboral” y este detalle resulta insuficiente si se pretende ubicar cuál es el CF que le corresponde según la tabla de codificación actual, ya que el referido CF se subdividió en las siguientes modalidades:

- 501 - Esfuerzos físicos excesivos al levantar objetos
- 502 - Esfuerzos físicos excesivos al empujar objetos
- 503 - Esfuerzos físicos excesivos al tirar de objetos
- 504 - Esfuerzos físicos excesivos al manejar objetos
- 505 - Esfuerzos físicos excesivos al lanzar objetos

Por lo tanto se convirtieron los registros que presentan el sistema moderno de codificación al anterior método.

Esta tarea se llevó a cabo intercalando una columna contigua a la de Código de Forma del Accidente donde se registraron las equivalencias como “CF sin Corregir”.

2.5 Depuración de la muestra

La muestra fue depurada analizando si la descripción del siniestro correspondía al CF atribuido, en caso de ser erróneo se le reasignó el CF acertado insertando estas modificaciones en una columna contigua identificada como "CF Correctos".

Además, se apartaron los registros de: reagravaciones, por no poder identificar la fecha ni el siniestro original de referencia; las enfermedades profesionales, por no formar parte de esta investigación debido a que no son accidentes de trabajo; y los registros que presentaban escasa o nula descripción del siniestro, con lo cual no se le podía reasignar un código de forma.

Posteriormente se estableció la composición final de la muestra seleccionada, identificando el tipo de actividad acorde a la Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU) [9].

2.6 Contraste de la asignación del CF para cada siniestro

Se cuantificó y comparó el resultado de cada CF en su condición original (CF sin Corregir) y el que mostró luego de aplicar las correcciones pertinentes (CF Correctos). La diferencia hallada entre ambos valores se denominó "error relativo".

2.7 Matriz de errores

A continuación se diseñó una matriz de errores que describe exactamente la composición del error relativo. En Tabla 1 se muestra un ejemplo de dicha matriz.

Tabla 1. Modelo de Matriz de errores.

		CF sin Corregir														Total
	CF	1	2	4	6	7	8	9	10	18	24	26	27	29	99	
CF Correctos	1	18			1	1	2		2						1	25
	2	3	5													8
	4			9			1	1								11
	6	1			8		2				4					15
	7				3	8	7									18
	8				1	2	17	1								21
	9						1	5								6
	10	1	2						23						4	30
	18				4				3	3						10
	26	3				1	1		2		1	15	1			24
	27											2	3			5
	29						2							11		13
	99							1							3	4
Total		26	7	9	17	12	33	8	30	3	5	17	4	11	8	190

Esta matriz se generó seleccionando el modo de tabla dinámica del Excel y clasificando los siguientes campos:

- CIIU y Año se transformaron en Filtro
- Código de Forma de Accidente se colocó en Valores como Cuenta
- CF sin Corregir se consignó como rótulo de columna
- CF Correctos se ubicó en rótulo de fila

De esta manera se visualizan cómodamente los factores que integran el error relativo para la muestra global depurada y también identificar su incidencia por año y actividad.

Los valores sin sombrear en las columnas para cada CF representan los casos que erróneamente se le asignaron de más, contribuyendo a un "error por exceso" en la cantidad de registros para el CF analizado. Por ejemplo la columna del CF7, de un total de 12 ocurrencias solamente 8 incidentes eran correctos, los 4 eventos restantes fueron mal asignados y luego de la depuración de la muestra estos 4 registros fueron incorporados un caso al CF1, dos al CF8 y el último al CF26.

Los valores sin sombrear en las filas para cada CF indican los casos que faltaron cargar al CF estudiado provocando un "error por defecto". Siguiendo con el ejemplo del CF7, se observa que del total de 18 registros que le correspondía tener (de los cuales sólo 8 eran acertados), 3 casos fueron imputados por equivocación al CF6 y siete al CF8.

Cabe aclarar que la suma algebraica de los errores por exceso y por defecto, da como resultado el error relativo. Si el error por exceso es igual al error por defecto su sumatoria será igual a cero y en consecuencia el error relativo también es cero. Por este motivo, si se quiere ponderar la verdadera magnitud de los errores cometidos en la codificación, no hay que limitarse a los resultados que muestra el error relativo, también hay que investigar su composición.

Los resultados que presenta el CF10 en la matriz modelo es un claro ejemplo de lo expuesto en el párrafo anterior donde coinciden el total que arroja la columna de CF sin Corregir (30 casos) y la fila CF Correctos (30 casos), pero esta igualdad no significa que no se hayan cometido errores ya que al observar su intersección se ve que sólo 23 veces fue asignado correctamente el CF10. En este caso particular los errores por exceso y por defecto se compensan totalmente.

3 Resultados

3.1 Depuración de la muestra

La estructura de la muestra original está expuesta en Tabla 2, donde se observa que de la muestra inicial de 12231 casos, se estudiaron 11129 registros, quedando fuera de análisis 104, 521 y 477 registros que corresponden a enfermedades profesionales, reagravaciones y registros con descripción escasa o nula del siniestro.

Tabla 2. Composición de la muestra según tipo de contingencia.

CIIU	Accidentes de Trabajo	Enfermedades Profesionales	Reagravaciones	Registros Eliminados	Total
1	**1205**	4	57	69	**1335**
2	**165**	0	13	4	**182**
3	**2779**	44	143	94	**3060**
4	**10**	0	1	0	**11**
5	**2116**	3	68	70	**2257**
6	**1805**	15	75	81	**1976**
7	**1283**	8	78	55	**1424**
8	**456**	1	22	22	**501**
9	**1310**	29	64	82	**1485**
Total	**11129**	**104**	**521**	**477**	**12231**

3.2 Contraste de la asignación del CF para cada siniestro

Se graficó el error relativo, para la muestra investigada, como saldo de la diferencia entre las columnas CF sin Corregir y CF Correctos, manifestándose de esta manera el nivel de error aparente.

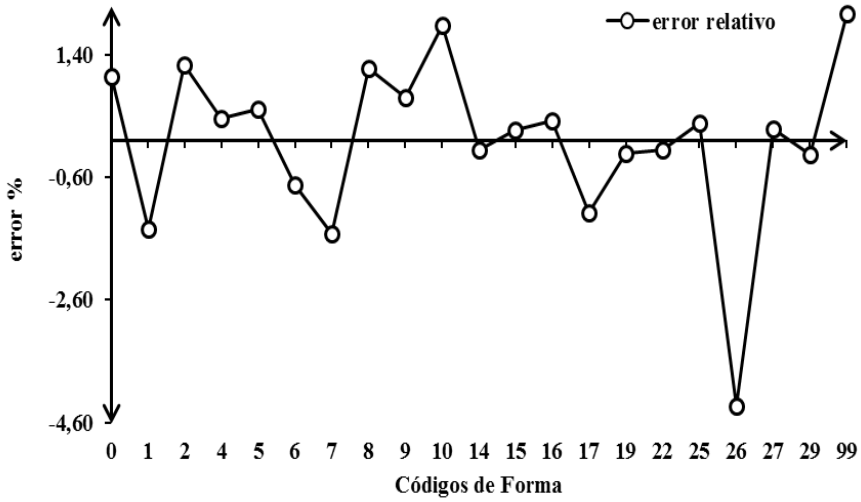


Fig. 1. Error relativo de cada Código de Forma

La Figura l revela los equívocos que aparecen en cada CF a la vez que describe la amplitud de los errores por exceso y por defecto que interactúan en cada ocasión. Los registros que se encuentran por encima de la ordenada positiva indican que el valor absoluto del error por exceso es mayor que el error por defecto. Mientras que los que se encuentran por debajo expresan lo contrario.

3 Matriz de errores

La Matriz de errores de la Tabla 3 para la muestra analizada, despliega la composición detallada y exacta de cada uno de los errores por exceso y por defecto que recaen sobre cada CF.

Tabla 3. Matriz de errores

		CF sin Corregir																				
	CF	**0**	**1**	**2**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**14**	**15**	**16**	**17**	**19**	**22**	**25**	**26**	**27**	**29**	**99**	**Total**
CF Correctos	**1**	6	**761**	129	23	10	57	65	71	7	200				2				2			9	**1342**
	2	5	52	**261**	3	1	1	6	6	1	25											1	**362**
	4	4	12	4	**396**	46	3	21	128	22	7						1					4	**648**
	5		2	4	8	**18**		1	3	1												2	**39**
	6	5	70	9	4	2	**400**		24		89								2			14	**619**
	7	8	10	1	32	4	8	**332**	329	31	20			5					1			28	**809**
	8	42	12	6	168	9	4	131	**1853**	73	25	3	5	30	2	4	4			1		137	**2509**
	9	1		3	12	1	3	12	50	**357**	3			1								4	**447**
	10	27	19	10	3	1	50	13	13	9	**1778**								1			81	**2005**
	14				1				12			**25**	1			4						3	**46**
	15						1					1	**51**	1	4	1						15	**74**
	16	1		2				1						**20**		1	3						**28**
	17	1		1	14		1		55		1		30	5	**81**	4	1					28	**222**
	19	1			12				23	1			1		1	**75**	1					1	**116**
	22	1			2				22				2		1	1	**23**					1	**53**
	25		1	1					4									**51**					**57**
	26	6	229	58	3	2	4	41	15	8	56					1			**532**	89		5	**1049**
	27		2	1	2	2	3	7	2	15	1								29	**95**	1	3	**163**
	29	1	4	2				3	10		2										**155**	4	**181**
	99	6	8	7	5		3	6	20	1	8		2	2		1	4	37				**250**	**360**
Total		**115**	**1182**	**499**	**688**	**96**	**538**	**639**	**2640**	**526**	**2215**	**29**	**92**	**64**	**91**	**92**	**37**	**88**	**567**	**185**	**156**	**590**	**11129**

En la tabla precedente se identifica en la intersección homóloga de cada CF y en tono sombreado, la cantidad de registros acertados que tiene el mismo; y fuera del cruce están presentes:

- los errores por exceso que se muestran en los restantes casilleros de la columna, descubriendo el que corresponde registrarse realmente en la columna izquierda designada CF Correctos.
- los errores por defecto que se encuentran en los demás casilleros de la fila, leyéndose en la fila superior denominada CF sin Corregir el CF al que desatinadamente fueron adjudicados.
- el Total de los CF Correctos que se visualiza en la columna derecha, mientras que el Total de los CF sin Corregir lo hace en la última fila.

Para los lll29 casos analizados se encontró (sumando las cantidades de la diagonal homóloga de cada CF) que 7514 registros fueron acertados, es decir que se recalificaron 3615 siniestros, lo cual representa el 32,5 % de la muestra.

En la Matriz de errores también se visualiza cuáles son los CF más castigados, ya sea por la incidencia de los eventos o por los errores que recaen en cada uno de ellos.

4 Discusión

El gráfico descriptivo del error relativo pone en evidencia los CF más perjudicado por los desvíos, destacándose el CF26, que si bien no tiene una exagerada cantidad de siniestros (comparado con otros CF como por ejemplo el CF8), es el más afectado por los errores en defecto. También hay omisiones de menor magnitud en los CF1, CF6, CF7 y CF17.

En lo referente a los CF sobrecargados, se distingue que los más damnificados son los CF2, CF8, CF10 y CF99, dentro del mismo tenor se encuadra el CF0 que no existe.

Del análisis puntual que se realizó una vez depurada la muestra, se advierte que las personas encargadas de completar el formulario de Denuncia de Accidente confunden usualmente los siguientes CF:

- CF1 (Caída de personas a nivel) con CF 6 (Pisada sobre objeto). Un ejemplo de asignar por descuido el CF1 cuando corresponde el CF6 es la siguiente descripción: “pisó mal sobre unas piedras, perdió el equilibrio y cayó al suelo”, en este caso la causa original del accidente se identifica con el CF6 y no con el CF1 que en realidad es la consecuencia, como muchas veces colocan. La equivocación inversa se produce por ejemplo en: “se tropezó con una caja y le duele el tobillo (o el empeine o los dedos)”, acá no toman el “tropiezo” como causa principal, sino que identifican y asocian el lugar de la lesión, que es alguna zona del pie directamente con el CF6.
- CF4 (Caída de objetos) con CF8 (Golpes por objetos). Esta equivocación, de colocar CF8 cuando el correcto es el CF4, se presenta cuando hay una descripción como: “golpe en el pie por extintor que se cayó sobre el mismo”, aquí la falta se produce porque no se repara que el movimiento del objeto era una caída libre. La situación opuesta se da cuando la descripción dice:

"trasladando rodillo de máquina de montaje, el mismo se desliza y le produce un golpe en el miembro", sin atender que se trata de un movimiento de traslación horizontal y no una caída libre.

- CF6 (Pisada sobre objeto) con CF10 (Esfuerzo físico excesivo). El error directo se halla en descripciones como la siguiente: "pisó mal y siente gran dolor muscular en la pantorrilla", calificándose en este caso como CF10 (que es la consecuencia) cuando tendría que ser CF6. Un ejemplo del caso contrario sería: "descargando materiales, giró con los pies y sintió dolor en rodilla izquierda", en esta ocasión la lesión se produjo por un movimiento falso que es CF10 y no CF6, y se observa de nuevo que relacionan directamente la intervención de los pies con el CF6 sin notar el verdadero origen del daño.
- CF7 (Choque contra objetos) con CF8 (Golpes por objetos). Acá la confusión se presenta porque no se identifica correctamente quién o qué está en movimiento. Si el objeto está fijo y la persona está en movimiento es CF7, mientras que a la inversa es CF8.
- CF8 (Golpe por objeto) con CF9 (Aprisionamiento o atrapamiento). Esta contradicción se encuentra en descripciones como por ejemplo: "la puerta se cerró y le agarró los dedos de la mano", el CF acertado es el CF9 porque el aprisionamiento o atrapamiento lo producen las piezas y máquinas que realizan o se desplazan con movimientos convergentes y/o divergentes, de cierre y apertura o rotativos, sin embargo interpretan a la puerta como un objeto en movimiento, sin analizar el tipo de movimiento ni el componente que lo realiza y le asignan entonces, por descuido, el CF8. El hecho invertido se da en circunstancias como: "se encontraba rompiendo un bloque de cemento y una parte del material saltó y le apretó el dedo pulgar izquierdo contra el mango del taladro neumático", en esta oportunidad tampoco advierten el tipo de movimiento ni en la clase de pieza que lo ejecuta, sino que centran su atención en la palabra "apretó" y como la asocian con el CF9 le asignan éste directamente, cuando en realidad se trata del CF8.
- Asignan CF0 cuando realmente era CF8 (Golpe por objeto). El CF0 no existe, pero estos errores se ubican en el año 1996 y como éste es el primer año de registros, se dedujo que los mismos se deben principalmente a la inexperiencia de las personas que los realizaban, quienes quizás colocaban el número "0" en el ítem respectivo para cumplir con la formalidad de completar el casillero o por errar la tecla al imputar los datos, o tal vez lo dejaban en blanco por ignorar el modo de asignarlo utilizando la tabla respectiva.
- Colocan el CF1 (Caída de personas a nivel) en lugar del CF8 (Golpe por objeto) o del CF7 (Choque contra objetos). Acá el descuido se debe otra vez a que se toma la consecuencia, que es la "caída", como la raíz de la contingencia. Los ejemplos de estos error son: "se cayó al ser golpeado por el gancho de la grúa" (que es CF8) o "se llevó una puerta de vidrio por delante y se cayó de espalda" (que es CF7) y no CF1 como suelen colocar para ambos casos.
- Clasifican como CF1 (Caída de personas a nivel) en lugar del CF10 (Esfuerzo físico excesivo). La distracción de atribuir el CF10 cuando

corresponde el CF1, se muestra en ejemplos como: "sufrió una caída del colectivo y siente un fuerte dolor de cintura", y se observa otra vez que catalogan la consecuencia como origen del problema.

- Designan el CF4 (Caída de objetos) en vez de CF5 (Derrumbe o desplome de instalaciones). Este equívoco surge de no precisar, en forma correcta, la diferencia que existe entre un objeto (y/o elemento simple) y una masa de material a granel que puede ser: rocas, piedras, arena, muros, estivas de cajas. Debido a esto, ocurre muchas veces que, cuando la descripción del hecho enuncia: "se desplomó una caja de herramientas sobre su pierna", toman sólo la palabra "desplomó" y asociándola a continuación con el CF5, califican erradamente con este código.
- Catalogan el CF17 (Contacto con productos químicos) en lugar del CF8 (Golpe por Objeto). El desacierto de imputar como CF8 los hechos que pertenecen al CF17, se debe a que califican al producto químico como un objeto, un ejemplo de la descripción sería: "le saltó ácido en la cara".
- Atribuyen como CF26 (Choque de vehículos) al CF1 (Caída de personas a nivel), y al CF2 (Caída de personas de altura). Confundir el CF26 con los CF1 o CF2 es muy frecuente, y estos modelos de errores se presentan bajo las siguientes declaraciones de los hechos: "el empleado mientras conducía una moto (o una bicicleta) se cae de la misma, al girar en una esquina perdiendo el equilibrio (o resbalarse) porque el piso estaba húmedo por la lluvia". Aquí nuevamente, toman el desenlace del acontecimiento (la caída) como causa del infortunio. Siempre que en un accidente intervenga un vehículo en movimiento es CF26, salvo en el caso de "atropellamiento" que se aclara más adelante.
- Adjudican el CF26 (Choque de vehículos) en lugar de CF7 (Choque contra objetos). Esta negligencia se motiva, en que toman la palabra vehículo como equivalente de objeto y al estar completando el Formulario de Denuncia de Accidente y buscar en la tabla de CF el correspondiente a un hecho como por ejemplo: "manejando por Olascoaga al llegar a Suipacha chocó con una camioneta", el primer lugar donde encuentran la palabra "choque" es en el CF7 y lo asignan distraídamente sin notar que siguiendo la lista se halla el CF26, que es el pertinente.
- Encuadran como CF26 (Choque de vehículos) al CF10 (Esfuerzo físico excesivo). La imprudencia de clasificar el CF26 como CF10 se debe también al error de tomar el resultado como génesis del acontecimiento. Un ejemplo para este caso es: "chocó conduciendo el taxi y ahora presenta molestias en la zona lumbar". Además, por lo general, las personas que confeccionan el Formulario de Denuncia relacionan todo hecho, que como consecuencia produzca una afección en la zona lumbar, directamente con el CF10, sin atender la causa que lo originó.
- Colocan el CF26 (Choque de vehículos) en lugar de CF27 (Atropellamiento por vehículos). Aquí el inconveniente aparece cuando el accidentado utiliza la palabra "atropellar" al describir la colisión entre vehículos, con la intención simultánea de desvincular responsabilidades, y seguidamente, el responsable de confeccionar el formulario de denuncia, relaciona esta palabra con el CF27, porque precisamente la misma, figura en el detalle de la

tabla de codificación bajo el citado código. Así es, que hay descripciones como la siguiente: "conduciendo mi Fiat Uno por Gral. Paz, al doblar en España fui atropellado por un colectivo". Esta es la forma sutil que tienen algunas personas para decir: "Yo no choqué. Me chocaron". El CF27 únicamente debe emplearse, en ocasión de que un peatón sea embestido por un vehículo.

- Además, cuando no están seguros del CF que corresponde, codifican como 99, el cual sólo debe ser utilizado para picaduras y Otras Formas no incluidas.

5 Conclusiones

A partir del desarrollo y análisis de los resultados indicados anteriormente, y atendiendo los objetivos propuestos al comienzo de la presente investigación, se concluye en primera instancia que en la muestra seleccionada y conformada por 11129 casos, que corresponden a la zona de Nuevo Cuyo, para los años 1996, 2000, 2004 y 2008 y que fuera obtenida de forma "no aleatoria", se ponderó cada uno de los errores en que se incurre durante el proceso de asignación de Código de Forma según su modo de ocurrencia al momento de confeccionar el formulario de Denuncia de Accidente de Trabajo.

A través del reconocimiento y corrección de cada error detectado se estableció finalmente el verdadero escenario donde se desenvuelve la siniestralidad laboral, lo que permitió a continuación contrastar estos resultados con los valores iniciales sin depurar. Las diferencias encontradas entre ambas etapas de la investigación, se definieron bajo el nombre de "error relativo" y se halló que el mismo representaba el 32,5 %.

Organizando y combinando adecuadamente los datos confrontados en la fase anterior se programó una matriz que facilitó visualizar e interpretar en cada CF, de manera certera y sencilla, la composición cuantificada del error relativo y se descubrió que el mismo es la resultante de la compensación de múltiples errores parciales por registros que faltan cargar (error por defecto) porque desatinadamente se adjudicaron a otro CF o que sobran (error por exceso) por corresponder a otro CF, proporcionando también la identificación de los CF involucrados en cada equivocación.

La matriz de errores brinda además, la información necesaria para identificar las confusiones más frecuentes que se cometen en la codificación, encontrándose que la mayoría de las contradicciones son ocasionadas por imputar el CF según las consecuencias del accidente y no sobre su origen como corresponde. El logro de esta faceta de la presente investigación resulta altamente beneficiosa para las Autoridades de Control, ya que les indica el origen de los errores más críticos y les facilita en consecuencia la administración de las recomendaciones adecuadas a los responsables ejecutores del formulario de Denuncia de Accidente, indicando los criterios básicos que deben adoptar al asignar el CF según la causa del mismo. A tal efecto las ART, en su rol de asesoras en la materia, también deberían participar en la difusión de estas advertencias aplicando los procedimientos necesarios para su comunicación.

Un accidente de trabajo es, además de ser un hecho lamentable, un suceso que pone de manifiesto la aplicación de un sistema de gestión de riesgos laborales deficiente y también es el punto de partida para implementar las adecuadas medidas correctivas en ese lugar, o en cualquier otro, que comparta los mismos peligros. Pero el grado de eficacia que alcancen las estrategias propuestas para la atenuación o eliminación de tal acontecimiento no depende sólo de la puesta en marcha y control del cumplimiento de las mismas, sino que está sujeto en primera instancia a la veracidad de la información a partir de la cual se elaboraron dichas políticas reparadoras.

Para finalizar esta exposición los autores expresan que, como especialistas en higiene y seguridad, son conscientes de que la investigación siniestral es un largo camino que tiene principio pero no tiene final. El presente trabajo es sólo un humilde aporte y fue realizado con el propósito de quitar algunas piedras del recorrido.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Ing. Raúl Ballari, integrante del staff de profesionales de Prevención ART, por su generoso compromiso y colaboración en la transferencia de la información desde dicha empresa hacia éste grupo de investigación y también hacen llegar su reconocimiento al Contador Julio Fornero del I.N.A. (Instituto Nacional del Agua) por sus conocimientos y aclaraciones impartidos en el tema estadístico.

Referencias

1. Organización Internacional del Trabajo, http://www.ilo.org/ilolex/spanish/convdisp1.htm, Fecha de Consulta: 18/02/2011
2. Organización Internacional del Trabajo, http://www.ilo.org/ilolex/spanish/recdisp1.htm, Fecha de Consulta: 18/02/2011
3. Ley N° 19587/72 del Poder Ejecutivo Nacional, http://infoleg.mecon.gov.ar/infolegInternet/anexos/25000-29999/27971/norma.htm, Fecha de Consulta: 03/03/2011
4. Ley N° 24557/96 del Poder Ejecutivo Nacional, http://infoleg.mecon.gov.ar/infolegInternet/anexos/25000-29999/27971/norma.htm, Fecha de Consulta: 03/03/2011
5. Levin, R., Rubin, D.: "Estadística para Administradores", Capítulo 6, pp. 315 y 316, Sexta edición, Ed. Frentice Hall Hispanoamericana S.A., México (1996).
6. Ackoff, R., SASIENI, M.: "Fundamentos de Investigación de Operaciones", Capítulo 15, pp. 436, Quinta Reimpresión, Ed. Limusa, México (1982).
7. Resolución Nro. 15/1998 SRT, Boletín Oficial de fecha 19/02/1998, N° 28840, pág. 13 http://www.boletinoficial.gov.ar/DisplayPdf.aspx?s=BPBCF&f=19980219, Fecha de Consulta: 03/03/2011
8. Resolución Nro. 1604/2007 SRT, http://infoleg.mecon.gov.ar/infolegInternet/anexos/130000-134999/133527/texact.htm, Fecha de consulta: 18/02/2011

9. Clasificación Industrial Internacional Uniforme, http://infoleg.mecon.gov.ar/infolegInternet/anexos/30000-34999/34364/norma.htm, Fecha de Consulta: 18/02/2011

Glosario

OIT: Organización Internacional del Trabajo
SRT: Superintendencia de Riesgos del Trabajo
ART: Aseguradora de Riesgos del Trabajo
CF: Código de Forma
CIIU: Clasificación Industrial Internacional Uniforme

ÁREA VII EnIDI

NUEVAS TECNOLOGÍAS

RESÚMENES

Estudio y Aplicación de Sistema de Evaluación Difusa Sensorial en Vino Malbec Mendocino

Matilde Césari [a] , Adriana Gámbaro [b], Enrique Arnau[c],

[b] Cátedra de Ingenieria De Sistemas Basados En Conocimiento, Dpto. de Sistemas, Facultad Regional de Mendoza Universidad Tecnológica Nacional, Rodriguez 273, Ciudad Mendoza CP (M5502AJE) República Argentina.
matilde.cesari@frm.utn.edu.ar

[b] Sección Evaluación Sensorial Cátedra de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Facultad de Química Universidad de la República Avda. Gral. Flores 2124, C.P.11800, Montevideo, Uruguay
agambaro@fq.edu.uy

[c] Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jujuy. Gorriti Nº 237 San Salvador de Jujuy, Argentina.
earnau@arnet.com.ar

Resumen. La Evaluación Sensorial (ES) posee limitaciones, al trabajar con paneles constituidos por personas que proporcionan la información percibida por los sentidos, este tipo de información implica subjetividad y/o vaguedad. Estas condiciones exigen habilitar herramientas que permitan operar con la incertidumbre inherente a las opiniones expresadas por personas, una aproximación más realista consiste en la utilización de modelos de inferencia con lógica difusa; éstos utilizan cualquier tipo de información y la procesan de manera similar que el pensamiento humano, por ello, son adecuados para tratar información inexacta e incierta. En este trabajo se diseño y aplicó un modelo para determinar un perfil sensorial de vinos, a partir de datos de ES realizada con muestras de la cultivar Malbec mendocinas, logrando una opinión colectiva sobre las valoraciones particulares obtenidas. Los resultados revelan que es posible caracterizar y determinar un perfil de calidad sensorial del vino mediante un sistema de lógica difusa con una exactitud comparable a la exhibida por los evaluadores humanos, y demuestra que posee una alta probabilidad de generar salidas congruentes, como una herramienta de apoyo de decisión. El desarrollo de herramientas inteligentes ofrece un soporte sólido al enólogo en la ES.

Palabras Clave: evaluación sensorial, agregación lingüística, lógica difusa, sistema difuso.

Aplicación de la Lógica Difusa en la Evaluación Sensorial de Tomates

Matilde Césari [a] , Adriana Gámbaro [b], Enrique Arnau[c],

[b] Cátedra de Ingenieria De Sistemas Basados En Conocimiento, Dpto. de Sistemas, Facultad Regional de Mendoza Universidad Tecnológica Nacional, Rodriguez 273, Ciudad Mendoza CP (M5502AJE) República Argentina.
matilde.cesari@frm.utn.edu.ar

[b] Sección Evaluación Sensorial Cátedra de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Facultad de Química Universidad de la República Avda. Gral. Flores 2124, C.P.11800, Montevideo, Uruguay
agambaro@fq.edu.uy

[c] Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jujuy. Gorriti Nº 237 San Salvador de Jujuy, Argentina.
earnau@arnet.com.ar

Resumen. Los métodos utilizados para evaluar calidad son instrumentos de medición y métodos subjetivos basados en el juicio humano, tal como Evaluación Sensorial (ES), uno de los métodos más precisos, sin embargo, posee limitaciones, al trabajar con paneles constituidos por personas que proporcionan la información percibida por sus sentidos, lo que implica subjetividad y vaguedad. Siendo que una de las metas perseguidas por la ES, es el desarrollo de una metodología, idealmente objetiva, para la determinación de parámetros organolépticos, un enfoque más realista consiste en expresar las percepciones modelando la información sensorial por medio de variables lingüísticas, basado en la teoría de los conjuntos borrosos. Mediante datos provenientes de pruebas sensoriales de tomate aportados por FCA - UNCuyo, se desarrolló un modelo difuso para consensuar las valoraciones obtenidas y calificar las muestras de tomate. Este trabajo generó aportes promisorios en cuanto al diseño de un modelo de evaluación; se modificó la metodología cuantitativa actual y se representó las variables como difusas, permitió incorporar conceptos vagos y obtener datos precisos asociados a una calificación. Por lo cual, los resultados constituyen una nueva estrategia de ES que mejora la obtención de perfiles de calidad sensorial y el modelado en estudios de vida útil..

Palabras Clave: evaluación sensorial, agregación lingüística, lógica difusa, modelos.

Sistema para el Monitoreo de los Cultivos

Pablo Lucero[1], Paola Caymes-Scutari[1,2] y Germán Bianchini[1]

[1]Laboratorio de Investigación en Cómputo Paralelo/Distribuido (LICPaD)
Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información, Facultad Regional Mendoza
Universidad Tecnológica Nacional. (M5502AJE) Mendoza, Argentina

[2]Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

pslp.gen@gmail.com, {pcaymesscutari,gbianchini}@frm.utn.edu.ar

Resumen. La producción agrícola depende fuertemente de los factores meteorológicos, por lo que el control y detección temprana de los problemas en los cultivos es un tema de interés por los beneficios que puede aportar a los productores. En este trabajo se propone desarrollar un sistema para el monitoreo de los cultivos. El alcance del proyecto está acotado al tratamiento de las heladas, es decir, la identificación temprana de las mismas. La captura de datos se llevará a cabo mediante una red de sensores inalámbrica, capaz de monitorear la temperatura ambiente, la humedad y la radiación solar del terreno cultivado. Para procesar los datos obtenidos de las mediciones de los sensores se definirá un modelo de detección de heladas, el cual tendrá como entrada factores micrometeorológicos (temperatura, viento, radiación, humedad atmosférica, topografía, etc.). A partir de los datos mencionados anteriormente, y haciendo uso de los registros de temperatura históricos, el modelo determinará las posibles amenazas que puedan afectar a la plantación, a fin de que los productores puedan tomar las medidas que hallen convenientes. En una etapa posterior se integrará funcionalidad adicional al sistema, a fin de cubrir otros problemas existentes tales como plagas, incendios, etc.

Palabras Clave: Heladas, Sensores inalámbricos, Agricultura, Detección de heladas, Ciencia Computacional.

La Importancia de la Confiabilidad Humana y sus Aplicaciones en Sistemas Tecnológicos

Pedro Alejandro Baziuk[a,b]

[a] Instituto CEDIAC, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina
pbaziuk@cediac.edu.ar

[b] CONICET

Resumen. La confiabilidad humana engloba los estudios relacionados con el cálculo de la probabilidad de que un ser humano efectúe correctamente una tarea. Las técnicas tradicionales dividen a las tareas en sub-tareas e intentan definir una probabilidad nominal para cada sub-tarea (HEP por sus siglas en inglés Human Error Probability) y esta probabilidad nominal estará afectada por factores que modifican el desempeño humano (PSFs perfomance shaping factors). Las técnicas más modernas, llamadas metodologías de segunda generación, hacen mayor hincapié en los factores cognitivos y tratan, no sólo de encontrar una probabilidad de error, sino también las causas cognitivas de estos errores. De allí surgen nuevas aplicaciones de la confiabilidad humana como el diseño de los sistemas de interacción hombre-máquina. El objetivo de este artículo es mostrar la importancia del estudio de la confiabilidad humana para la aplicación en otras áreas de la tecnología. Para ello, se describen brevemente las técnicas de confiabilidad humana de primera y segunda generación y se analizan las aplicaciones que tienen estos estudios en otros ámbitos.

Palabras Clave: Confiabilidad humana, error humano, interacción hombre máquina

Regularidad Métrica Aplicada al Estudio de la Estabilidad de la Frontera del Conjunto Factible en LSIP

Mercedes Larriqueta[1,3] , Virginia Norma Vera de Serio[2,3],

[1] Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo
mlarriqueta@fing.uncu.edu.ar

[2] Facultad de Ciencias Económicas, Universidad Nacional de Cuyo
vvera@uncu.edu.ar

[3] Instituto de Ciencias Básicas, Universidad Nacional de Cuyo

Resumen. Un problema de programación lineal semi-infinita (LSIP) consiste en optimizar una función objetivo lineal sujeta a un conjunto (posiblemente infinito) de restricciones lineales. Cuando los datos del modelo provienen de estimaciones y pueden presentar perturbaciones, interesa estudiar la estabilidad de la frontera del conjunto factible, ya que si el problema tiene solución, es allí donde ésta se encuentra. Como el conjunto frontera no es, en general, un conjunto convexo, no se puede hacer uso de la teoría general para correspondencias con gráfico convexo, como por ejemplo, el Teorema de Robinson-Ursescu.

Este trabajo [1] estudia la estabilidad de la frontera de los conjuntos factibles de sistemas de desigualdades semi-infinitos lineales en R^n a través del análisis de la regularidad métrica de la inversa de la multifunción que asigna a cada sistema la frontera de su conjunto factible (correspondencia conjunto frontera) probando su equivalencia, bajo ciertas condiciones, a la semicontinuidad inferior de la correspondencia conjunto frontera. Esta equivalencia es importante ya que la última propiedad posee varias caracterizaciones.

[1] M. Larriqueta and V.N. Vera de Serio, On metric regularity and the boundary of the feasible set in linear optimization (2013), to be published in *Set-Valued and Variational Analysis*, DOI: 10.1007/s11228-013-0241-8.

Palabras Clave: regularidad métrica, estabilidad, programación lineal semi-infinita, correspondencia conjunto frontera, correspondencia conjunto factible.

Algoritmo para la Detección del Parpadeo, Movimiento de Ceja y Relajación Mental usando una Señal Biológica EEG - EMG del Parietal

Antonio Alvarez, Adolfo Gonzalez, Gabriel Sosa
Grupo Genesis
irb@frm.utn.edu.ar
gesosa@frm.utn.edu.ar.

Resumen. El procesamiento de señales biológicas tiene un sinnúmero de aplicaciones prácticas que van desde diagnóstico y tratamiento de diversas patologías hasta el control de dispositivos electrónicos asociados a equipos como sillas de ruedas, bipedestadores, procesadores de voz e imagen, etc. Se presenta un algoritmo de bajo costo que puede ser adaptado a distintos tipos de aplicaciones. La señal es tomada del parietal izquierdo en donde existen ondas EEG y EMG de los músculos circundantes. Con una vincha capaz de digitalizar y enviar los datos a través de bluetooth a una PC o un DSP, en donde la señal es procesada con un método de ventana deslizante muestra a muestra que extrae pares ordenados que representan una ondita (wave-let). También se podría detectar puntos de inflexión y todo tipo de información estadística en un instante de tiempo. Con pares ordenados de la relación temporal y de amplitud del máximo y mínimo de cada ondita se toma una serie retardada de N muestras que forman una nube de pares ordenados con un centroide. Observando en un plano cada punto cuando se parpadea, se levanta la ceja o se pone la mente en un estado de relajación, se pueden determinar patrones que representan estadísticamente a cada uno de los tres estados. Con una función distancia Euclidiana y un umbral dado se detecta cuando se parpadea o se esta en estado de reposo o cuando se levanta la ceja.

Palabras Clave: EEG, EMG, tiempo real, parpadeo, relajación, Vincha, Sensor mental, Interfaz cerebro máquina.

Influencia del Marco de Referencia en los Servicios de Posicionamiento Satelital a Tiempo Real

María Fernanda Camisay [a,b]; Esteban Striewe [c]; María Virginia Mackern [a,d]

[a] Fac. de Ingeniería-Universidad Juan Agustín Maza, Mendoza, Argentina.
[b] Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas
[c] Fac. de Ingeniería-Universidad de la Republica, Montevideo, Uruguay
[d] Fac. de Ingeniería-Universidad Nacional Cuyo, Mendoza, Argentina.
fcamisay@conicet.gov.ar

Resumen. Los servicios de posicionamiento satelital a tiempo real (RT) ofrecidos por los países de la región, utilizan el protocolo de internet NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) para transmitir correcciones diferenciales provenientes de estaciones GNSS permanentes. Los usuarios pueden posicionarse de manera precisa en el instante de medición y obtener coordenadas en el marco de referencia implícito en las correcciones recibidas. Por lo tanto, una correcta configuración de los servicios RT, garantizará a los usuarios no sólo la vinculación adecuada al marco de referencia sino también alcanzar óptimas precisiones en las coordenadas resultantes.

Luego el objetivo de este trabajo es diseñar una estructura de configuración tanto para las estaciones GNSS permanentes de la región, como para los servidores centrales o Caster-NTRIP. Se analizaron en detalle cada uno de los mensajes transmitidos (RTCM 3.0). Se verificó el marco al que refieren las correcciones, al igual que el sitio de su publicación. Se constató que un usuario no accede al conocimiento del marco de referencia en el momento de medición.

Se presentan resultados de experiencias realizadas en la zona limítrofe Uruguay-Argentina, utilizando tres marcos de referencia distintos: PORGAR 07 (Arg.), ROU 98 (Uru.) y coordenadas semanales SIRGAS (marco latinoamericano).

Palabras Clave: GNSS, NTRIP, Marco y época de Referencia.

Monitoreo del Servicio de Posicionamiento a Tiempo Real, que prestan las Estaciones GPS MZAC Y MZAE, en Mendoza

Lucas Nicolás Di Marco[1]; Maria Virginia Macker[1,2]; Maria Fernanda Camisay [1,3] y Maria Laura Mateo[2,3]
[1] Fac. de Ingeniería. Universidad Juan Agustín Maza, Mendoza.
[2] Fac. de Ingeniería. Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza.
[3]Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Mendoza.
lucas.ndmm@gmail.com

Resumen. Debido a los estudios realizados en el 2012 respecto a la calidad operativa que brinda el servicio de posicionamiento a tiempo real utilizando NTRIP en Argentina, en el 2013, se optó por monitorear continuamente el servicio que prestan las Estaciones Permanentes (EP) ubicadas en Mendoza y analizar la continuidad, integridad y seguridad en la transmisión de correcciones diferenciales NTRIP.

El análisis se basó en un control continuo sobres las correcciones diferenciales (Stream) que transmiten las EP de la región con el objeto de realizar una validación cuantitativa de la calidad del servicio que brindan, en cuanto al tiempo que están operativas. Se registraron los cortes que se producen, los cuales se cuantificaron diariamente por estación y se monitoreó la duración de los mismos.

Se presentan los resultados de la primera etapa de este análisis realizado sobre la estación permanente MZAE y MZAC, para la época febrero-marzo del 2013.

Palabras Clave: NTRIP, GNSS, E.P. MZAC, MZAE.

ÁREA

VII EnIDI

ENSEÑANZA

TRABAJOS COMPLETOS

Modelo de Tratamiento Cognitivo de Problemas en *Integradora I*

Carlos Alberto Bello, Maria Elena Sottano
cab@frm.utn.edu.ar – mesottano@frm.utn.edu.ar

Grupo IEMI, UTN Facultad Regional Mendoza, Coronel Rodriguez 273,
Mendoza, Argentina

Resumen. El propósito de este trabajo consistió en estudiar y analizar la actividad cognitiva, desplegada en la resolución de problemas de ingeniería, por sujetos con formación científico tecnológica, este trabajo fue orientado a desarrollar estrategias pedagógicas para aplicar en la experiencia piloto *Integradora I*, que se desarrolla en la Facultad Regional Mendoza, UTN. Se buscó describir los procesos que se despliegan cuando se resuelven casos en Ingeniería. El método usado consistió en el análisis de conceptos epistemológicos y procedimentales, similares a los planes estratégicos. Se tipificaron métodos aplicados a casos resueltos, en modo de guión estructurado, se trabajó con los alumnos estas estrategias y se analizó su respuesta. Se encontró que estos tienen dificultades para generar un plan de trabajo y seguir un procedimiento dado. Aspecto que influye negativamente cuando resuelven problemas propuestos, que es la modalidad de las actividades prácticas y de las evaluaciones de las materias del ciclo inicial del desarrollo curricular de las carreras de Ingeniería en la UTN.

Palabras Clave: Resolución de problemas, Meta teoría, modelo matemático, Habilidades, objeto modelo, hipótesis, creencias epistemológicas.

1 Introducción

La práctica de la Ingeniería tiene como componente importante la resolución de problemas y para ello utiliza en forma permanente modelos matemáticos que permiten representar sistemas reales, como expresa Buch, *reemplaza conceptualmente un sistema de dominio real formado por objetos materiales por otro formado por objetos de otro dominio, este formado por entes matemáticos* [1]. El aprendizaje de los procesos que permiten desarrollar esos modelos matemáticos, requiere que los sujetos puedan interpretar eficientemente que son estos modelos y cuáles son las estrategias a utilizar para tener éxito al construirlos.

Los ingenieros interpretan, analizan y transforman los sistemas reales, interactuando con teorías, representaciones y porciones de realidad llamadas 'modelos' que permiten diseñar productos futuros o soluciones de problemas. Esto se hace en el campo de las abstracciones, con Ciencia y Métodos Sistémicos.

Un ingeniero experimentado y competente, construye modelos eficientemente de situaciones nuevas y en contextos cambiantes, pero en la Universidad Argentina, persistes una cultura institucional con la concepción del ingeniero con conocimientos tecnológicos de aplicación que le permitan ingresar al circuito laboral de inmediato [2].

Esta cultura no hace énfasis en el desarrollo de competencias generales. Estos conocimientos tecnológicos tienen una obsolescencia rápida. Sin embargo, a partir del proyecto Tuning Europeo y posteriormente el Tuning Latinoamericano, se produce un cambio que enfatiza el desarrollo de competencias. Por ese motivo, la SPU, CONFEDI y CONEAU han trabajado en esa dirección, acentuando los conocimientos básicos y el desarrollo de métodos sistémicos [3].

Este trabajo muestra estrategias usadas en la Experiencia piloto "Integradora I" de Rivadavía, donde se utiliza métodos sistémicos generales para trabajar con las representaciones, se introducen y analizan modelos sencillos, esbozando cómo se construyen, transforman y se señala las restricciones que determinan su validez práctica y se hace énfasis en la producción de informes de las actuaciones en el proceso de modelización.

2 La competencia de resolver problemas

La resolución de problemas es una competencia crucial para los profesionales de las Ingenierías. La tesis que sostiene esta experiencia piloto es que los alumnos de estas carreras pueden adquirirla de modo sistemático si se tienen en cuenta las estrategias que utilizan los ingenieros experimentados, tanto en aspectos formales o matemáticos como en los empíricos y utilizan frecuentemente iteraciones y recursiones que consideran el replanteo total del problema, de acuerdo con el campo de aplicación como así también las que usan los matemáticos profesionales.

En el Plenario del CONFEDI (mayo de 2005) [4], Se trataron las necesidades del desarrollo de competencias en estudiantes de carreras de ingeniería y también las competencias mínimas que deben alcanzar los aspirantes a para poder ingresar, allí se propusieron dos áreas:

- Matemáticas básicas: Formular y resolver problemas de operaciones, geometría espacial, tratamiento de datos y situaciones aleatorias, y uso del sistema métrico.

- Lenguaje: Lectura comprensiva y rápida, y expresión oral y escrita. Estas competencias básicas mínimas son: comunicativa, interpretativa, argumentativa y propositiva. Por lo que deberá poseer "*habilidades mentales diversas*" para: observar, describir, argumentar, interpretar y proponer.

Las experiencias en la asignatura Integradora I, muestra que no se alcanzan en el ingreso esas competencias en muchos alumnos y esto hace necesario trabajar haciendo énfasis sobre estos aspectos.

Luis Gomes [5] a estas competencias les llama "*habilidades mentales diversas*" y son algunas de las competencias de la Lógica Aplicada o Lógica Práctica, que actualmente suele llamarse *pensamiento crítico* ("*critical thinking*") y que el CONFEDI reconoce como necesarias para TODAS las Ingenierías. Describe este

concepto de pensamiento crítico y la importancia de desarrollarlo en los niveles iniciales de las carreras de ingeniería.

Otros autores como Resnick y Klopfer, Ausubel, Delgado Rubí han descrito el comportamiento de los expertos al utilizar estas competencias y dan pautas claras sobre el modo de desarrollar esa competencia en los alumnos.

La investigación cognitiva muestra que en el aprendizaje de la Ingeniería, la habilidad para resolver problemas es importante. En este trabajo se revisaron estudios de varios autores sobre esta estrategia, que es la más usada curricularmente en las carreras de ingeniería de la UTN, la revisión de opiniones de varios autores permitió determinar una estrategia sistémica dominante en la resolución de problemas. Resnik [6] estudió la actividad cognitiva desplegada por resolventes de problemas matemáticos y expresa que cuando un experto trabaja en un problema se hace preguntas tales como: *¿Todo está funcionando bien*?, o sea que controla y verifica el proceso que va desarrollando. Si la respuesta es afirmativa, continua, caso contrario hay que hacer algo al respecto, incluso dar marcha atrás y reconsiderar parcial o totalmente lo actuado.

Si se analiza el comportamiento de alumnos del preuniversitario y de los cursos iníciales de Ingeniería, cuando trabajan con problemas, con los que no están familiarizados, se observa que sus intentos de solución consisten, por lo general, en realizar acciones, hacer un tanteo, una exploración sin plan. Resnik encontró un 60% de los estudiantes de preuniversitario trabajando en equipo y describe el hecho en un gráfico de tiempo (minutos) versus tareas, que se presenta en la Figura Nº 1. Estos, en sus intentos por lograr una solución, hacían lo siguiente: *leer y tomar una decisión rápidamente y seguir en esa dirección a toda costa*. Esta primera decisión, generalmente poco meditada, suele ser equivocada y por ende las acciones emanadas de ella. El resolvente del problema probablemente fracasa si no verifica y reconsidera sobre el desarrollo de su estrategia durante el trabajo [6].

Fig. 1. Representación de tareas vs. tiempo en estudiantes de matemáticas tratando de resolver un problema no estándar. Fuente Resnick L., Klopfer L., Currículum y cognición

Con la misma metodología, Resnik estudió para comparar, el proceso seguido por un matemático universitario con experiencia, cuando resolvía un problema difícil y lo representó gráficamente como puede observarse en la Figura Nº 2. El matemático pasó más de la mitad del tiempo tratando de comprender el problema. Por ello, antes de comenzar a trabajar en la solución, analizó y exploró mucho (se podría decir que busco relaciones con conocimientos de su formación) de forma estructurada, cuando se aseguró que avanzaba en la dirección correcta, pasó a la implementación. En la figura mostrada, cada uno de los triángulos invertidos representa un comentario sobre el estado de la solución de su problema.

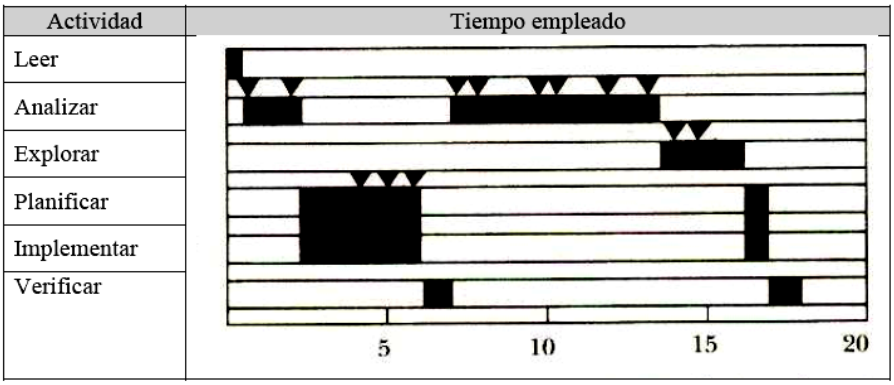


Fig. 2. Representación de tareas vs. tiempo de un matemático experto trabajando en un problema no estándar. Fuente Resnick L., Klopfer L., Currículum y cognición

En la Experiencia Piloto, desarrollada en la Facultad Regional Mendoza, Anexo Rivadavia, se trabajo con los estudiantes de primer año en la asignatura Integradora I, se analizó el comportamiento de los alumnos ante problemas no conocidos, los que mostraron un comportamiento similar al de la figura 1.

A continuación se analizó la experiencia en el campo de las aplicaciones de la ingeniería, desarrollada por expertos del Grupo I+D "Diseño y Desarrollo de Máquinas y Equipos (DIDEME-FRM) que utiliza un procedimiento normalizado, desarrollado como procedimiento bajo normas ISO. Se observó que el desempeño de este equipo de trabajo, tiene una similitud marcada con la actividad desarrollada por el matemático experto resolviendo problemas difíciles, tipificado por *Resnik* y que puede graficarse como se muestra en la Figura Nº 3.

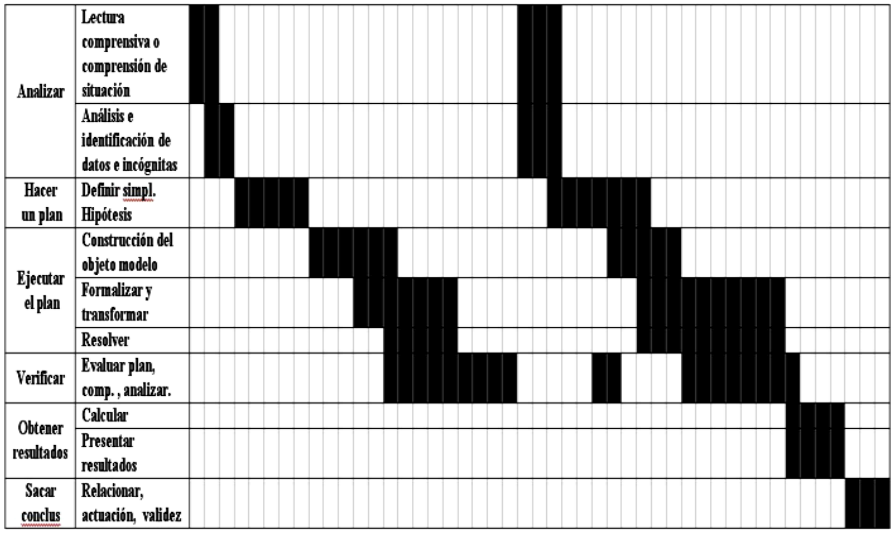


Fig. 3. Diagrama Tiempo-Tareas del proceso desarrollado por equipo de trabajo con experticia en problemas de ingeniería. Fuente propia

El diagrama explicita diversas instancias del trabajo que despliega el equipo, se han utilizado las tareas tipificadas dentro de un diagrama de flujo que es una instrucción técnica de su sistémica normalizada para resolver problemas de ingeniería y que si se compara con lo tipificado por Resnik, tiene importantes coincidencias, hay que hacer aquí una consideración que el trabajo ya no es una resolución matemática solamente, implica ahora un trabajo de resolución físico-matemática de aplicación tecnológica que tiene una tipificación más extensa que el utilizado por Renik.

También se puede identificar en el encadenamiento de tareas, que se avanza respondiendo preguntas como: *¿Todo está funcionando bien?; ¿hay alguna otra manera de hacerlo mejor?; ¿se plantea una solución posible?; ¿es demasiado complicado? o ¿se ha simplificado demasiado y no se representa bien el problema?* Si surge algún indicio contradictorio o una inconsistencia en valores, unidades, crece la complejidad del modelo matemático o aparece una propiedad emergente inesperada, el proceso se detiene y se reconsidera la solución encarada. Reconsideración que puede inducir otra relación entre variables o una nueva interpretación del problema, porque el modelo construido no resulta convenientemente practico o que la validez del mismo quede fuera del rango aceptable.

Cuando estas cosas ocurren, el proceso se reinicia renovando la interpretación y la planificación, incluso haciendo más frecuentes las verificaciones y las evaluaciones. Este proceso de recursión está representado en el diagrama de la figura Nº3, en un solo paso de recursión, pero en realidad cuando se observe esta figura, debe considerarse que pueden darse muchos y variados procesos de recursión, inclusive desde distintos avances del proceso.

Este comportamiento desplegado durante el proceso de resolución debe considerarse como el resultado de un proceso cognitivo de autorregulación aprehendido. Es una habilidad pasible de aprendizaje, una competencia que se alcanza con un entrenamiento explícito centrado en los aspectos meta cognitivos y muy precisamente del pensamiento matemático.

Por otra parte Delgado Rubí [7] adhiere a la teoría psicológica de la actividad y sostiene que: "... *no se puede separar el saber, del saber hacer, porque siempre saber es saber hacer algo, no puede haber un conocimiento sin una habilidad, sin un saber hacer*". Luego basándose en ello este autor propone un Sistema Básico de Habilidades Matemáticas, donde '*definir*' y '*demostrar*', por su propia naturaleza, son las acciones que establecen el vínculo primario con el sistema de conocimientos y a partir de ellos introduce los verbos '*identificar*', '*interpretar*', '*recodificar*', '*graficar*', '*algoritmizar*' *y* '*calcular*' mediante los cuales se resuelven los problemas matemáticos en su acepción más amplia.

Delgado Rubí sostiene que en el Sistema Básico de Habilidades Matemáticas, tanto la concepción del trabajo metodológico, como el proceso de enseñanza de los procedimientos generales matemáticos, es consecuente con el carácter necesariamente sistémico que éstos tienen y que son parte de la conducta de un profesional experto que usa intensivamente la matemática.

El conjunto de todos los procedimientos generales matemáticos, se presenta como una determinada totalidad imprescindible para el trabajo con la matemática y los modelos. Es evidente la naturaleza jerárquica del mismo, cada uno de los procedimientos o combinación de ellos puede ser considerado como un subsistema. Es más, el propio sistema puede considerarse como subsistema de otro mayor que incorpora más procedimientos, los lógicos entre ellos, que confluyen a la hora de resolver problemas matemáticos o de ingeniería, donde se usan modelos matemáticos. Estas habilidades al igual que lo reseñado sobre la actividad cognitiva de expertos trabajando en un problema de ingeniería se entrenan mediante la introducción del método de trabajo propuesto, que utiliza la experiencia piloto "Integradora I"

El trabajo desplegado en esta asignatura Integradora hace énfasis en la competencia de resolver problemas, que depende en modo directo del conocimiento y uso del Sistema Básico de Habilidades Matemáticas (SBHM), además de ciertas estrategias que organizan el trabajo de resolución, basadas en la elaboración de modelos y de un tratamiento importante de las competencias de comunicación, interpretativas, argumentativas y propositivas.

A partir de estos criterios expuestos, se puede hacer el análisis del modo como trabaja el cerebro humano cuando los sujetos se enfrentan a problemas científicos tecnológicos, lo que permite proponer un esquema de cómo está compuesta la estructura del tratamiento cognitivo que los sujetos despliegan cuando resuelven: los sujetos acumulan conocimiento a través del sistema representativo, este sistema está dominado por las funciones cognitivas; la función memoria es la función de sostenimiento del sistema semiótico y en ella se encuentran tres almacenes básicos, el *Almacén de Soluciones conocidas* "ASC", el *Almacén de estrategias de tratamiento* "AET" y el *Almacén de conocimientos* "AC".

Entonces se define así al *Almacén de Soluciones Conocidas*, como lo que mantiene en memoria los casos conocidos y permite su evocación, sea porque se han resuelto, porque se han experimentado o porque se han ingresado por medio del estudio y análisis de casos. Este almacén se va llenando con experiencias, estudio y eventos episódicos durante toda la vida de los sujetos.

Luego, el *Almacén de Estrategias de Tratamiento,* es donde se acumulan aquellas estrategias que los sujetos van desarrollando por observación, necesidad o entrenamiento, este último caso es lo que justifica la formación educativa y que se basa en el desarrollo de las funciones cognitivas, desde el punto de vista genético como un proceso natural en los seres humanos como bien lo describe Jean Piaget [8] y desde un punto de vista de la interacción social como lo describe Vigostky [9]. Una parte importante para la resolución de problemas de ingeniería que se instala en este almacén, es el *Sistema Básico de Habilidades Matemáticas* (SBHM). Delgado Rubí [7] sostiene que tanto la concepción del trabajo metodológico, como el proceso de enseñanza de los procedimientos generales matemáticos es consecuente con el carácter necesariamente sistémico que éstos tienen como parte de la conducta de un profesional experto, que usa intensivamente la matemática. El conjunto de todos los procedimientos generales matemáticos se presenta como una determinada totalidad imprescindible para el trabajo con la matemática y sus modelos.

El SBHM en este esquema de configuración cognitiva que se plantea, está representado dentro del almacén de estrategias de tratamiento, pero no se separa totalmente de las que prescinden de la matemática pues para *identificar*', '*interpretar*', '*recodificar*', '*graficar*', '*algoritmizar* se utilizan criterios de *clasificar, comparar, evaluar, analizar, relacionar,* que no están mencionadas dentro del SBHM y que son parte del conjunto de funciones cognitivas generales propias del pensamiento formal de los sujetos.

Finalmente puede identificarse un *Almacén de Conocimientos,* allí se acumula y guarda el conocimiento adquirido para ser evocado en determinados momentos de los procesos cognitivos. Este conocimiento acumulado es el resultado de dos modos de

adquisición: a) de la interacción social no científica, como las creencias, tales como los mitos, las leyendas, la religión; b) la formación metódica o cuerpo de conocimientos científicos, compuesto por conceptos, principios, leyes, teorías y meta teorías, ejemplo de este cuerpo de conocimiento son la Matemática, la Física, las ciencias sociales y como muy importante, la Epistemología, estos almacenes y su relación con la memoria y las funciones cognitivas se muestran en la tabla Nº 1

Tabla 1. Esquema de la Estructura cognitiva de los sujetos, fuente propia.

<table>
<tr><td colspan="4">ESTRUCTURA COGNITIVA DE LOS SUJETOS</td></tr>
<tr><td colspan="4">Sistema Semiótico</td></tr>
<tr><td>Almacén de soluciones conocidas

ASC</td><td>Almacén de estrategias de tratamiento

AET</td><td>Almacén de conocimientos

AC</td><td rowspan="3">MEMORIA

sistema que permite contener los tres almacenes

+

Sistemas de procesamiento de la función memoria

Ingreso de información
Almacenamiento
Evocación
Transformación
Olvido</td></tr>
<tr><td>Como se hacen algunas cosas</td><td>Como se tratan las cosas conocidas y no conocidas</td><td>Como son las cosas</td></tr>
<tr><td>CASOS RESUELTOS

Caso 1

Caso 2

Caso 3

.
.
.
.
.
.
.</td><td>FUNCIONES COGNITIVAS
(Funciones básicas de tratamiento de información)

Interpretar (lenguaje)

Relacionar

Comparar

Clasificar

Evaluar

Analizar

Vincular

.</td><td>CREENCIAS

(formación no científica)

Mitos

Leyendas

Religión

+

CUERPO DE CONOCIMIENTO CIENTÍFICO (formación científica)

Conceptos

Principios

Leyes</td></tr>
</table>

. . Caso n + **EPISODIOS** (experiencias)	+ **SBHM** (Sistema Básico de Habilidades Matemáticas)	Teorías Meta teorías (Epistemología +Matemática + Física + ciencias sociales)	

El trabajo llevado adelante con los alumnos para trabajar con esta estructura, se basa en los utilizar estrategias que interactúen con los almacenes descriptos y los refuercen, para ello se introducen y trabajan casos, se hace un tratamiento sistémico con un énfasis en el conceptos de *modelo*, estrategias de modelización y de resolución de problemas, que como ya se ha aclarado responden al uso de las funciones cognitivas y por tratarse de problemas y casos tecnológicos al SBHM.

Estas estrategias son el producto de la experiencia obtenida de los estudios para la resolución de problemas y elaboración de modelos sencillos tratados en los proyectos 25/J080: Modelos: Homorfismo condiciones de semejanza y construcción; 25/J067: *Validación de modelos en Ingeniería;* 25/J053: *Representaciones, Modelos y Simulaciones en la resolución de problemas en Ingeniería;* 25/J036: *Resolución de problemas en carreras ingeniería. Paradigmas y estrategias*; 25/J029: *Problemas Empíricos y Modelos en la Enseñanza de Disciplinas Matemáticas de Grado en Carreras de Ingeniería.* El trabajo propuesto implica utilizar la sistémica ordenada y secuenciada para la resolución de problemas de matemática, física y de la práctica activa en actividades de ingeniería y se muestra en el plan de trabajo en la resolución de problemas de la tabla Nº 2

Tabla 2. Etapas del proceso de resolución y tareas a para esas etapas, fuente propia.

Analizar	1. 2.	Estudio del problema Determinación de estados: Datos (estado inicial) e Incógnitas (estado final)
Planificar	3. 4. 5.	Relacionar teorías y hacer hipótesis simplificadoras Desarrollar un objeto modelo Definir caminos de búsqueda y definir transformaciones posibles
Implementar	6.	Iniciar ejecución del plan →Comparar → verificar, evaluar

	7.	Continuar o iterar → Proseguir plan.
	8.	Verificar→ continuar o iterar →Finalizar transformaciones
Resolver	9.	Calcular
	10.	Presentar resultados
	11.	Sacar conclusiones

Otra estrategia pedagógica utilizada para introducir el trabajo organizado es la presentación de casos en un modo de guión que permite ir ampliando el *Almacén de Soluciones Conocidas*, mostrar el trabajo que hace un resolvente entrenado para explicitar las estrategias generales y el uso del SBHM, que además ingresa información al *Almacén de Estrategias de Tratamiento.* Como este trabajo se vale del uso del almacén de conocimientos, por tal motivo solo se utilizan casos, ejercicios y problemas que interactúan con los conocimientos a integrar en el nivel inicial de las asignaturas del área matemática, la física y de los criterios, metateorías del área epistemológica (ingeniería y sociedad) y de los sistemas de representación gráfica.

Para trabajar los casos, se utiliza un guion con estructura de tres columnas donde en una de ellas, la columna central, se muestra el modo general de trabajo que responde al plan esquematizado anteriormente, en la columna izquierda el desarrollo del proceso con sus deducciones y argumentaciones del problema que se resuelve y la columna izquierda muestra una serie de preguntas que el resolvente puede ir haciéndose (en el caso de trabajar el problema en equipo, las preguntas se las pueden ir haciendo unos miembros a otros), esto se denomina mayéutica y es un poderoso método de guía de trabajo que responde muy eficientemente al modelo interacción de Zona de Desarrollo Próximo tipificado por Vigotyski [10].

Tabla 3. Estructura del guión para visualización de estrategias utilizadas, fuente propia.

PROCESO	ETAPA DEL PLAN	MAYEUTICA
Informe de todo lo actuado en forma justificada y argumentada	Analizar	Preguntas que guían el proceso cuando se sigue el plan
	Planificar	
	Implementar	
	Resolver	

Este guión pretende mostrar cómo se enlazan las etapas del plan de trabajo con los procesos que van produciéndose al resolver y los tipos de preguntas que pueden hacerse para guiarse en el proceso, además permite al resolvente visualizar una sistémica de trabajo ingenieril.

2.1 Proceso cognitivo que despliegan los resolventes

Se propone un esquema que explica cómo se usa la estructura cognitiva explicitada en la tabla Nº1 de manera de seguir el proceso de resolución de un problema planteado. El resolvente interactúa con el planteo a través de su operador semiótico que le permite

obtener el significado de lo que se le expone, Gianella [11] explica cómo funciona este operador y cada uno de los componentes. Una vez que el sujeto ha comprendido lo planteado (imput), la información pasa a la estructura cognitiva donde se trabaja con la funciones cognitivas básicas, esto permite relacionarla con lo que el sujeto tiene en los almacenes. Es fácil de entender que lo primero que se hace a partir de este punto es buscar en el *Almacén De Soluciones Conocidas* ASC, si allí se encuentra el caso, entonces se ha hecho una economía de pensamiento importante y resolver es solamente aplicar este caso y responder a través del operador semiótico para ponerla en modo lingüístico de modo de poder comunicar la respuesta.

En el caso de no encontrar una coincidencia en el almacén de casos conocidos o soluciones conocidas, la atención se desplaza a los otros almacenes, se buscan y utilizan estrategias (que pueden ser guiadas por algún caso parecido del ASC), se relacionan los datos con los componentes del cuerpo de conocimientos científicos existentes en el *Almacén de Conocimientos*, puede darse entonces el caso de obtener un camino que soluciones por lo que lo que sigue es resolver, siguiendo el camino de salida como ya se explico, o puede darse el caso que esto requiera de resoluciones parciales que implican recursiones, estas recursiones con similitudes o simplemente caso conocidos, haciendo un proceso de utilización integrada de los elementos que contienen los tres almacenes. El SBHM siempre aparece operando sobre el proceso, pues en los problemas científico-tecnológicos, las soluciones se hacen a través de modelos matemáticos lo que explica su relevancia dentro de la estructura cognitiva.

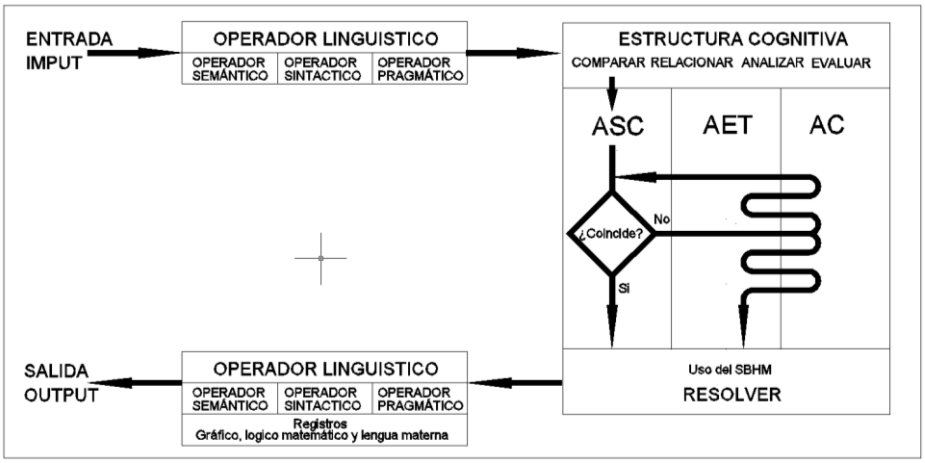


Fig. 4. Diagrama de proceso de la estructura de un sujeto trabajando en la resolución de un problema planteado, utilizando la representación de estructura cognitiva expuesta en la tabla Nº1. Fuente propia

3 Dificultades detectadas en alumnos del nivel inicial

El trabajo con los alumnos está orientado a entrenar los modos de tratamiento de los problemas tipificado. En la práctica de la asignatura se ha detectado que los alumnos tienen algunas dificultades para resolver al inicio del curso, una es la incapacidad para planificar, la experiencia acumulada con 6 cohortes, muestra que aproximadamente el 90% manifiesta este inconveniente y que depende de su formación personal.

El modo de trabajo requiere que los alumnos generen un pequeño plan estratégico durante los procesos de resolución y este, consiste en definir un *conjunto de acciones futuras para lograr un objetivo*, tales como estrategias de tratamiento, de relacionamiento, de simbolización, de verificación, modos de procesamiento de información y uso del SBHM entro otras, que son necesarias para organizar el trabajo. Para atacar este problema de cómo planificar y ejecutar el plan, este se utiliza el guión de presentación de casos, que permite mostrar explícitamente el proceso.

Otra dificultad que se detecta radica en la falta de los elementos presentes, contenidos en los almacenes de su estructura cognitiva. Un SBHM débil impacta muy fuerte sobre el proceso, lo que inhabilita al sujeto para planificar y resolver, también la falta de prerrequisitos en física genera una incapacidad de interactuar con los problemas, si se observa la tabla Nº1, se puede entender que en un *Almacén de Conocimientos* con escasos conocimientos científicos, no se tiene oportunidades de encontrar elementos que se relaciones con los planteos de la entrada cuando se trabajan problemas de física. Al inicio del curso, esta dificultad tiene una fuerte influencia con porcentajes del 80% de la cohorte (se han detectado casos de alumnos que no han tenido cursos de física en la educación media), disminuyendo en el transcurso del ciclo lectivo por el impacto que producen las asignaturas que se integra, que van cargando de elementos su estructura cognitiva.

Un estudio encarado sobre las creencias epistemológicas [12], muestra que los alumnos de 1º año, ingresan con una concepción dualista que puede tipificarse como positivista-constructivista en sus creencias, además que adolecen de pensamiento crítico, esto les dificulta la utilización de conceptos científicos tecnológicos y es producto de una deficiencia en la formación del concepto de ciencia, la investigación científica tecnológica y los conocimientos en ciencia. Es común detectar que traen conocimientos de física, pero no logran relacionarlos con casos y eventos de la realidad que muestra en su estructura cognitivas una desconexión entre ellos. Asociado a esto siempre se encuentra para este nivel,una ineficiente utilización de los sistemas de representación. Esta dificultad parece provenir en una baja o casi inexistente cantidad de estrategias, es decir un débil almacén de estrategias de tratamiento (AET).

Elsa Meinardi [13], aborda el estudio de los obstáculos que enfrentan los alumnos al resolver o en un proceso de aprendizaje, para este autor, aprender consiste en construir representaciones apropiadas del mundo, este concepto de conocimiento como representación, fue introducido, tratado y organizado por autores como Piaget, Bruner y Bachelard, el cual muestra como las ideas o representaciones previas, sirven de explicación eficaz y funcional para el aprendiz.

También estas representaciones previas pueden funcionar como obstáculo, cuando no están debidamente concebidas. Esta existencia de representaciones-obstáculo, puede deberse a errores conceptuales debido a creencias que emanan de la interacción social, a la formación científica ineficiente o concepciones producto de la propia organización cognitiva de los sujetos.

Dentro de las representación previas, toman importancia las metateóricas, la figura 4, muestra que ante un requerimiento que no encuentra el modelo de solución conocida, la atención conduce la actividad cognitiva al AC, las creencias epistemológicas guían el trabajo cognitivo dentro de este almacén y permiten generar modelos que resuelvan o expliquen, estas actúan sobre las unidades de conocimiento, subordinándolas.

Un ejemplo fácil de observar es el de las exposiciones de los periodistas que hacen dentro de un noticiero de los canales de televisión, es común encontrar que cuando los sujetos que están dando las noticias no encuentran una explicación, inmediatamente actúan con dominio de sus creencias, en este caso religiosas, calificando al hecho como sobrenatural, "un milagro". Que los sujetos no encuentren explicaciones de cosas y hechos, no implica que estas no existan, entonces, el modo como se tratan estos hechos, dependerá de los criterios metateóricos, como ser las creencias epistemológicas, estas dominan el tratamiento cognitivo que los sujetos hacen de la realidad, lo que muestra la necesidad de trabajar sobre estas creencia en las educación en ciencias y no debe estar excluido de las curriculas.

4 Conclusiones

Importa considerar que la estimulación de las funciones cognitivas juegan un papel excluyente en todo el proceso de resolución de problemas, la función semiótica actúa sobre la totalidad de la estructura cognitiva por lo se debe trabajar en su desarrollo.

El aprendizaje mediante la resolución de problemas moviliza y refuerza la estructura cognitiva y muestra un contraste importante sobre el aprendizaje mimético, induciendo a los alumnos a desempeñarse con autonomía.

Para la ingeniería el SBHM junto con las funciones cognitivas generales son la herramienta que permite regular el proceso de resolución de problemas de ingeniería.

Las creencias epistemológicas que traen los alumnos, les crean dificultades para relacionar conceptos físicos, representaciones gráficas y conceptos matemáticos con hechos del mundo de la realidad, estas dificultades justifican un fuerte trabajo con casos que desarrolle estrategias de representación y transformación de registros de representación (grafico, textual, tabular, lógico matemático) y capacitación en criterios epistemológicos y sistémicos.

5 Bibliografía

[1] Buch, T. (2006). *Sistemas tecnológicos. Contribuciones a una teoría general de la artificialidad*. Buenos Aires, editorial AIQUE.

[2]Consejo Federal de Decanos de Ingeniería. (2006) *Primer acuerdo sobre competencias genéricas, "2do taller sobre desarrollo de competencias en la enseñanza de la ingeniería Argentina" Experiencia piloto en las terminales de Ing. Civil, Electrónica, Industrial, Mecánica y Química*. La Plata: UNLP.

[3] Gomez, L.; Cuadrado, G. (2010). *Nuevos curriculum de ingeniería en la UTN. ¿Competencias o contenidos? en Educación de ciencias empíricas en carreras de ingeniería*. Mendoza, Luis Gomez–Guillermo Cuadrado editores.

[4] CONFEDI, XXXVII Reunión Plenaria. *Proyecto Estratégico de Reforma Curricular de las Ingenierías 2005 – 2007*. Santa Fe, mayo de 2005. p.14 y 15. Las mismas son afines con las delineadas en el Primer Taller realizado por el CONFEDI en Carlos Paz el 7-8 de abril de 2005.

[5] Gomez, L.; Cuadrado, G.; Bello, C.; Harrth, R.; Fernandez, J. (2010). *El pensamiento crítico: competencia básica de las carreras de Ingeniería*. *en Educación de ciencias empíricas en carreras de ingeniería*. Mendoza, Luis Gomez–Guillermo Cuadrado editores.

[6] Resnick L., Klopfer L. (1989). *Currículum y cognición.* Buenos Aires, Aique

[7] Delgado Rubí J.(1998). *Cuestiones de didáctica de la matemática*. *Los procedimientos generales matemáticos*. Rosario, Homo Sapiens (1998).

[8] Piaget, J. (1973). *La psychologie de L'Intelligence.* Paris, Libraire Armand Colin.

[9] Vygostky, L. (1985). *Pensamiento y lenguaje*. Buenos Aires, Ed. Pléyade.

[10]. Vygostky, L. (1987). *Historia del desarrollo de las funciones psíquicas superiores*. La Habana, Editorial Científico Técnica.

[11] Gianella, A (2002). *Lógica simbólica y elementos de metodología de la ciencia*. Buenos Aires, Ediciones Coperativas.

[12] Bello, C.; Escalante, E.; Sottano, M.E. (2011). *Caracterización de las creencias epistemológicas en alumnos de ingeniería*. Mendoza, EnIDI 2011.

[13] Meinardi, E.; González, L.; Revel, A.; Victoria, M. (2010). *Educar en ciencias*. Buenos Aires, editorial PAIDÓS.

Impacto de la Modalidad Semipresencial en el Número de Alumnos Recursantes

Patricia S. Infante & Alejandra Punta

Carrera de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo. Centro Universitario. Ciudad de Mendoza. Mendoza. Argentina
pinfante@fing.uncu.edu.ar & apunta@uncu.edu.ar

Resumen. Como consecuencia del incremento progresivo en la matrícula anual de alumnos desde el año lectivo 1997, principalmente aquéllos que deben recursar la asignatura, surge la alternativa de innovar en los procesos de enseñanza y de aprendizaje en la Asignatura de Hidráulica General. En el año 2006, y con la finalidad de revertir el efecto acumulativo en la cantidad de alumnos matriculados y que ya habían intentado aprobar la asignatura sin éxito en años anteriores, se implementó un cambio en la modalidad de enseñanza y aprendizaje. Dicho cambio se ajustó al Proyecto de Educación a Distancia de la UNCuyo, con lo cual la mayoría de los integrantes de la cátedra se capacitaron en el tema y se adaptó la asignatura a la nueva modalidad, que se denominó "semipresencial". Este sistema semipresencial implementado desde el año lectivo 2006 hasta la fecha, resultó una experiencia productiva, ya que el éxito de los alumnos, medido como la aprobación del examen final presencial de la asignatura, ha sido satisfactorio, consecuentemente ha disminuido la cantidad de alumnos que se inscriben más de dos veces en la asignatura antes de poder aprobarla.

Palabras Clave: virtualidad, semipresencialidad, educación, tecnología, ingeniería

1 Introducción

A través de los años, y más precisamente a partir del año 2000, se ha manifestado un constante crecimiento de la cantidad de alumnos que anualmente se inscriben y cursan la asignatura de Hidráulica General, principalmente compuesto por alumnos recursantes. Los alumnos recursantes son aquéllos que no aprobaron la materia antes que expirara la regularidad obtenida por primera vez, en el caso de esta asignatura y hasta el año 2011, el plazo para aprobar la materia expiraba cuando comenzaba el cursado de la misma en el año lectivo siguiente. Los alumnos recursantes, en su gran mayoría, son alumnos que nunca presentaron examen final en dicho plazo de tiempo, y en una ínfima cantidad son alumnos que habiendo presentado el examen final no lo aprobaron.

En la Tabla 1, confeccionada con datos de control registrados por el equipo docente de la asignatura, se puede visualizar el aumento del número de inscriptos y cómo ha evolucionado el mismo a través del tiempo. La organización de los datos presentados responde a: la cantidad total de alumnos inscriptos en la columna 1, la cantidad de alumnos recursantes inscriptos en la columna 2, la cantidad de alumnos que obtienen anualmente la regularidad en la columna 3. De éstos últimos se analizan en particular la cantidad de alumnos aprobados en la columna 4, la cantidad de

alumnos desaprobados en la columna 5, los ausentes en el examen final, indicado como EF, en la columna 6, y también la cantidad de alumnos que no presentaron EF en el plazo correspondiente a la regularidad obtenida en la columna 7. Y por último, se agrega el dato de la cantidad de alumnos que han aprobado la asignatura con EF en carácter de alumno libre, indicado como AL, en la columna 8.

Tabla 1. Cantidad de alumnos desde el año 1997 hasta el año 2006, obtenida de registros propios de la Asignatura

Año Lectivo	Inscriptos en total	Recursantes inscriptos	Regulares	Aprobados	No aprobados	Ausentes en EF	Sin EF	Libres (AL)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1997	25	S/D	22	19	3	0	0	0
1998	57	S/D	52	24	7	3	18	0
1999	67	S/D	48	26	1	1	20	0
2000	73	4	57	31	1	2	23	0
2001	61	22	50	27	1	0	22	2
2002	65	10	47	28	1	1	17	3
2003	63	26	42	7	1	1	33	2
2004	75	25	51	32	2	3	14	3
2005	61	30	45	19	2	1	23	4
2006	69	35	49	23	0	1	25	1

Analizados los valores presentados en la Tabla 1, se puede concluir que a partir del año 1998 aumentó notablemente la cantidad de alumnos inscriptos en la asignatura y también la cantidad de alumnos que habiendo obtenido la regularidad, no presentaron EF. Éstos últimos comenzaron a engrosar la cantidad total de inscriptos de los años siguientes, con lo cual la población estudiantil comenzó a crecer hasta llegar a un máximo de 75 alumnos en el año 2004, entre los cuales se incluyen parte de los 33 alumnos que no presentaron EF en el año 2003. Se quiere resaltar que en el año 2003, 33 alumnos de los 42 regulares, ni siquiera presentaron EF, es decir que, casi el 79% de los alumnos regulares de dicho año, no se inscribieron, ni se presentaron ni una vez ante una mesa examinadora.

Esta situación motivó la necesidad de innovar, en el más puro significado de la palabra, en los procesos de enseñanza y de aprendizaje de la Actividad Curricular Hidráulica General.

2 Adaptación a la modalidad

Entendiendo que la educación a distancia es una estrategia educativa basada en la aplicación de la tecnología del aprendizaje sin la limitación del lugar y del tiempo, y en las que la forma de estudio no son directamente guiadas por la presencia de un

docente en el aula, se ha propuesto la modalidad a distancia, como una innovación, para su aplicación en contenidos curriculares correspondientes a las tecnologías básicas de la enseñanza de la ingeniería civil.

La Actividad Curricular "Hidráulica General", se encuadra dentro del grupo de asignaturas de las Tecnologías Básicas, las que deben apuntar a la aplicación creativa del conocimiento y a la solución de problemas de ingeniería, teniendo como fundamento a las ciencias básicas. Con lo cual, esta asignatura tiene su apoyo en el Análisis Matemático, en la Física y en la Mecánica Racional, éstas dos últimas para la interpretación física de los conceptos vertidos, y de los resultados numéricos obtenidos. Y por último, también tiene un fuerte contenido empírico, que se aplica en el diseño y cálculo de las obras hidráulicas, el que debe ser reproducido físicamente en laboratorio o en prototipo, para su visualización por parte del estudiante.

Con la transformación de materias anuales a cuatrimestrales dentro del Plan de Estudios de la Carrera de Ingeniería Civil [1], esta asignatura debe aprobarse, mediante EF, antes que se comience nuevamente con su dictado al año lectivo siguiente; caso contrario se pierde la calidad de alumno regular y es necesario "recursar" la materia nuevamente. Esta condición ha estado vigente hasta el año 2011, ya que a partir del ciclo lectivo 2012 la regularidad tiene un plazo de vigencia de dos ciclos lectivos.

En Noviembre de 2004 integrantes del equipo docente de la asignatura participaron de una capacitación brindada por especialistas del Proyecto de Educación a Distancia de la Universidad Nacional de Cuyo, en la cual se impartieron los conceptos fundamentales de la modalidad. La modalidad a distancia implica una mediación en la relación docente-alumno, para favorecer la apropiación de aprendizajes constructivos. Esta mediación se plantea a través de tres niveles de interacción [2]; el primero es la elaboración de material de estudio y la interacción entre el estudiante y el contenido de dicho material, a ser aprendido; el segundo incluye las acciones tutoriales, o la interactividad entre el estudiante y su tutor; y el tercero la evaluación del estudiante por parte del equipo docente.

A continuación se analizan las intervenciones en cuanto a cada uno de dichos niveles de interacción.

2.1 Elaboración del material de estudio

Se ha elaborado material de estudio adaptado a la modalidad de educación a distancia, se ha organizado y construido el espacio de la asignatura dentro del Campus Virtual de la UNCuyo, y por último se ha diseñado un régimen semipresencial dentro de la asignatura [3], para lo cual se incluyeron clases presenciales, tales como visitas de campo, visitas de obra, prácticas de laboratorio y las evaluaciones parciales presenciales.

Se ha definido y organizado el contenido conceptual y procedimental a incluir dentro del Campus Virtual con el material de estudio preparado y acorde al Programa Analítico de la Actividad Curricular, material que se puede descargar a través de archivos con formato pdf, lo que insume un tiempo de conexión a Internet mucho más breve, que en el caso de leer y estudiar "on line", y además permite al alumno

almacenar en forma ordenada, y de acuerdo a su propio sistema de archivos, el material de estudio en su PC [3].

Con la finalidad de realizar un seguimiento continuo del aprendizaje de los contenidos del material de estudio se han implementado dos tipos de actividades a realizar dentro del Campus Virtual: actividades conceptuales y actividades prácticas. Las primeras están destinadas a controlar el avance del aprendizaje de los conceptos fundamentales de la asignatura, mientras que las segundas tienen como objeto monitorear la competencia adquirida en la aplicación de dichos conceptos en la resolución de ejercicios, casos prácticos y problemas planteados en el campo de la ingeniería.

2.2 Acciones tutoriales

La misión del docente debe ser la de garantizar la máxima calidad de los procesos de enseñanza y aprendizaje [4], avocándose a la adecuación de los contenidos de las materias y a los progresos científicos, velando para que los estudiantes dispongan de los mejores materiales didácticos, atendiendo directamente las necesidades manifestadas por los mismos durante su proceso de aprendizaje, supervisando, guiando y evaluando, es decir, velando por su formación permanente. En segundo lugar, es misión del profesorado contribuir a la investigación, tanto en los campos propios de especialización académica como en las líneas institucionales, dirigidas a la mejora de los procesos de enseñanza y aprendizaje en la universidad.

Entonces, particularmente la misión del docente en la educación a distancia, no sólo consiste en la preparación del material de estudio necesario para el avance del aprendizaje del alumno, sino también en la acción permanente de supervisar, guiar y evaluar su formación, es allí en donde aparece la figura del tutor y las tutorías.

La función tutorial consiste en la relación orientadora de uno o varios docentes respecto de cada alumno en orden a la comprensión de los contenidos, la interpretación de las descripciones procedimentales, el momento y forma adecuados para la realización de trabajos, ejercicios o autoevaluaciones, y en general para la aclaración puntual y personalizada de cualquier tipo de duda [5].

Lo que aparece con más constancia en la definición de la tarea de tutor es la idea de guía, la que se materializa a través del acompañamiento, la información y el asesoramiento. El rol del tutor se centra en el aprendizaje y no en la enseñanza, elaborando estrategias adecuadas a las necesidades de los alumnos, por esto es que debe ser un animador del aprendizaje [6].

Se entiende entonces, que el tutor no se puede definir solamente como una fuente de información y un facilitador del aprendizaje del alumno, sino que debe cumplir un rol más importante, el de formador permanente, formación técnica y profesional, e incentivador del desarrollo del criterio propio del alumno.

Es así que se han organizado tutorías virtuales y presenciales, muy sencillas, tales como el seguimiento y la corrección de la resolución de ejercicios y problemas correspondientes a las actividades prácticas; orientando al alumno en los pasos a seguir, en los criterios a adoptar, o el planteo de las soluciones a problemas propuestos. La tarea de los tutores ha consistido, principalmente, en la orientación y seguimiento de la resolución de ejercicios simples, al principio, y problemas y casos

específicos de aplicación en el campo profesional del Ingeniero Civil. Estos últimos, en general, se han planteado ajustados a casos reales, con algunos datos propuestos por la cátedra y otros que deben adoptar y/o estimar los alumnos. Para completar la conceptualización total de la Hidráulica y concientizar respecto de la importancia del recurso AGUA en la región árida a la que pertenece la provincia de Mendoza, también se han organizado prácticas de laboratorio presenciales, en las que se han modelado a escala reducida el escurrimiento del agua en distintas conducciones, y por último visitas de campo a la red de riego del Oasis Norte de la Provincia de Mendoza, en la que el alumno tiene contacto directo con las obras cuyo diseño debe aprender.

Se ha organizado la tutoría virtual en grupos de no más de 10 alumnos por tutor, estableciendo como medios principales de comunicación los foros de discusión y el correo electrónico, ambos dentro del mismo campus. Los alumnos han aprovechado mucho la segunda herramienta para comunicarse con el equipo docente, sus tutores y entre sí, pero les costó habituarse al uso de la primera. Dichas comunicaciones consisten de consultas respecto de cómo resolver algún ejercicio o problema, incluyendo alguna que otra pregunta conceptual importante. No obstante, esa posibilidad de contacto virtual permanente entre tutor y alumno, éstos últimos también asisten a las clases de consulta presenciales de todos los docentes de la asignatura, sobretodo para discutir dudas respecto del material de estudio.

Como conclusión, y teniendo en cuenta las necesidades detectadas, se considera que la tutoría en un sistema de dictado semipresencial debe ser una combinación del acceso a la tecnología brindada por el campus virtual, complementada con la asistencia permanente y presencial de los docentes, sobretodo en lo que hace a la experiencia profesional de los mismos.

2.3 Evaluación y acreditación

En cuanto a la evaluación y acreditación, como tercer nivel de interacción en la mediación de la relación docente-alumno en la educación a distancia o semipresencial, se ha establecido la necesidad de que el sistema de acreditación sea por examen presencial, y el tipo de evaluación adoptado es una combinación entre evaluación formativa y calificativa. Las evaluaciones están compuestas principalmente de contenido eminentemente práctico, de modo que se pueda monitorear la competencia adquirida a nivel procedimental y conceptual en la resolución de casos y problemas relacionados a la hidráulica. Se han planificado cuatro evaluaciones presenciales, parciales y obligatorias, cada una de ellas abarca dos, de las ocho, unidades del programa analítico de la asignatura. La aprobación de cada evaluación parcial exige un puntaje mínimo de 60 sobre 100 puntos.

3. Experiencia piloto realizada

Desde Marzo de 2006 se ha implementado la modalidad semipresencial en la asignatura, iniciando con una capacitación de los alumnos en el uso del campus virtual, luego definiendo el alcance de la modalidad y las obligaciones que les corresponden, tanto a los alumnos, como a los tutores y docentes.

Durante el año lectivo 2006 con 22 alumnos voluntarios en total, entre alumnos recursantes y alumnos que cursaban por primera vez, se dio inicio a la experiencia. Durante el año 2007, 16 alumnos optaron por la modalidad semipresencial, entre los cuales también se incluyeron ambos tipos de alumnos, mientras que en los años siguientes la modalidad semipresencial sólo fue desarrollada para los alumnos recursantes, como una estrategia especial para ellos, incluyendo 33 alumnos en el año 2008, la misma cantidad de 19 alumnos para los años 2009, 2010 y 2011, y 23 alumnos para el año 2012.

4 Análisis de los resultados obtenidos

Una forma de medir la eficiencia de esta modalidad es analizar, como indicador, el comportamiento del número de alumnos que aprueban la asignatura y el número de alumnos inscriptos como recursantes en cada año lectivo. En la Tabla 2 se resume, con la misma estructura de datos de la Tabla 1, el desarrollo en el tiempo de la implementación de la modalidad semipresencial diseñada y expresada en cantidad de alumnos de cada categoría de datos incluida.

Analizando los datos de la Tabla 2 se puede destacar que, en general, la modalidad semipresencial no ha aumentado sensiblemente la proporción en la obtención de las regularidades, o sea que, la implementación de la semipresencialidad no ha aportado grandes cambios en la etapa de obtención de la regularidad. Pero sí se aprecia una disminución progresiva en el número de alumnos recursantes a partir del 2006, año en el cual se implementa la modalidad semipresencial, tal como puede verse en la línea de tendencia media móvil de la Figura 1. También se puede ver en las líneas de tendencia media móvil de la Figura 2 que a partir del año 2006, el porcentaje de alumnos aprobados ha aumentado y el porcentaje de alumnos que no presentan EF ha disminuido.

Tabla 2. Cantidad de alumnos desde el año 2006 hasta el año 2012, obtenida de registros propios de la Asignatura. * La regularidad obtenida en el año 2012 es válida hasta febrero de 2014.

Año Lectivo	Inscriptos en total	Recursantes inscriptos	Regulares	Aprobados	No aprobados	Ausentes en EF	Sin EF	Libres (AL)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
2006	69	35	49	23	0	1	25	1
2007	47	26	35	15	3	1	16	5
2008	61	33	47	28	0	0	19	1
2009	49	19	25	11	0	1	13	3
2010	44	19	35	25	1	0	9	1
2011	49	19	31	17	0	0	14	0
2012	50	23	35	12*	0	1	22*	3

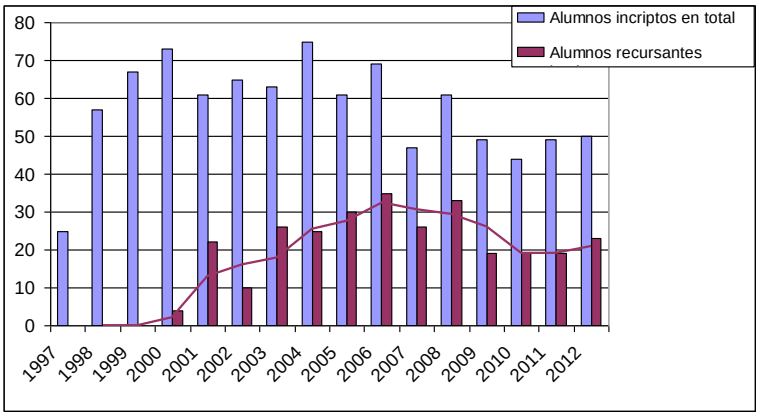


Fig. 1. Número de alumnos inscriptos y recursantes desde 1997 y hasta 2012.

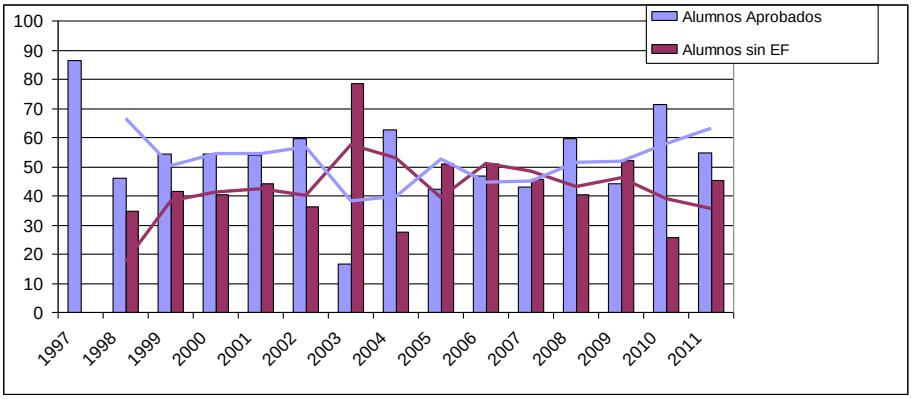


Fig. 2. Porcentaje de alumnos aprobados y sin EF desde 1997 y hasta 2012.

5 Conclusiones generales

Los datos analizados en el título anterior implican que, en general, la modalidad semipresencial no incide demasiado en la mejora de resultados en cuanto a la obtención de la regularidad de los alumnos, pero sí manifiesta una mejoría en los porcentajes de aprobación del EF, lo que evita que el alumno "recurse".

El aumento progresivo del porcentaje de alumnos aprobados es el resultado más importante de la innovación implementada, ya que ello implica la disminución progresiva del número de recursantes año a año, y precisamente este aspecto es el motivo por el cual se implementó la modalidad semipresencial.

Analizando detenidamente estos resultados, se puede considerar que la disminución del número de alumnos que no presentan EF de la asignatura, se debe a que la modalidad semipresencial exige un estudio continuo e independiente de la

misma y colabora bastante a tomar la decisión de presentar el EF en tiempo y forma, ya que con un esfuerzo adicional final se puede obtener la aprobación de la misma.

El desafío que se plantea es el incentivo a los alumnos para desarrollar aptitudes de trabajo en grupo, ya que en el ejercicio profesional los ingenieros no trabajan en soledad, sino en equipo.

Por último, se deja constancia de la importancia de las tutorías presenciales y virtuales, debido a las características particulares de los contenidos de los planes de estudio de las carreras de ingeniería. Los que implican una necesidad de mayor contacto entre profesor y alumno para allanar las dificultades, para ofrecerle herramientas que le ayuden en su aprendizaje, para hacerle comprender la utilidad y aplicación en el campo de la ingeniería de los conceptos impartidos en los espacios curriculares de las ciencias y tecnologías básicas, para impartirle las premisas fundamentales del diseño, proyecto y cálculo en la ingeniería, para incentivar la aplicación de su propio criterio y creatividad en la resolución de casos y problemas, y por último, y no menos importante, hacer tomar conciencia a los alumnos de la importancia del ejercicio responsable de la profesión, ya que como sostiene Romana Ruiz :"*la misión de la Universidad es preparar a los alumnos para ser profesionales y, deseablemente, personas con criterio en el mundo real*" [7].

Agradecimientos

Este trabajo ha sido desarrollado desde el año 2004 en el marco del Plan de Acción para el Desarrollo de la Educación a Distancia en las Unidades Académicas, que depende de la Secretaría Académica del Rectorado de la UNCuyo, y que se encuentra aprobado mediante la Ordenanza Nº 85/04-CS y la Resolución Nº 1154/04-R, para la Facultad de Ingeniería de la UNCuyo, con la asignatura "Hidráulica General".

Las autoras desean expresar su agradecimiento a la Dirección de Educación a Distancia e Innovación Educativa, dependiente de la Secretaría de Relaciones Institucionales y Territorialización del Rectorado de la Universidad Nacional de Cuyo, en la persona de su Directora Msc. María Fernanda Ozollo; y a la Directora de Modalidades y Tecnologías Educativas de la Facultad de Ingeniería, Msc.Ing. Elena Ester Calíguli, por sus sabios consejos y su permanente apoyo en la tarea emprendida.

Referencias

1. Dirección de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo: "Plan de Estudios de la Carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo". Mendoza (2003).
2. Barrantes Echavarría, R.: "Educación a Distancia". EUNED. San José de Costa Rica (1992).
3. Infante, P.: "Adaptación e implementación de la modalidad a distancia en el dictado de la actividad curricular Hidráulica General". En: Experiencias Docentes en Ingeniería, Congreso Argentino de Enseñanza de la Ingeniería (V CAEDI 2006). Trabajos presentados Volumen II, pp 1145-1152. Mendoza Argentina (2006).
4. Duart, J.M. & Sangrà, A.: "Aprender en la virtualidad". Editorial GEDISA. Barcelona. España (2000).

5. Padula, J.E.: "Contigo en la distancia. El Rol del tutor en la Educación NoPresencial" (2002), http://www.uned.es/catedraunesco-d/publicued/pbc08/rol_bened.htm.
6. Lugo, M.T.: "Las Tutorías: un indicador de éxito de la Educación por Internet" (2003), http://www.elprincipe.com /teleformacion/junio2003/index2.shtml.
7. Romana Ruiz, M.G.: "La dedicación de un Profesor de Universidad (al menos de Ingeniería)". Revista de Obras Públicas Nº 3.480, 75-80, España (2007).

Condiciones Académicas de los Aspirantes a Carreras de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo

Daniel Fernández[a], Mónica Guitart Coria[a], Cristian Gamba[a], Julián Martínez[a], Emma Calderón[a], Claus Hinrichs[a], Cristian Marino[a], María Pía Rodríguez Buteler [a], Sofía Tohmé Garnero[a], Verónica Vallejos[a]

[a] Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina
dfernandez@fing.uncu.edu.ar, mguitart@fing.uncu.edu.ar, cgamba@fing.uncu.edu.ar, jmartinez@fing.uncu.edu.ar, ecalderon@fing.uncu.edu.ar, cshinrichs@me.com, mariapiarb@gmail.com, sofi_garnero@hotmail.com, verovallejos@hotmail.com

Resumen. En el marco del proyecto de investigación sobre la detección, identificación y análisis de los factores fundamentales, externos e internos, que influyen y definen el ingreso de los aspirantes a carreras de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo analizamos si los títulos y la gestión de la escuela de procedencia afectan de alguna manera en el ingreso a la Facultad de Ingeniería. El estudio fue realizado con la información de los aspirantes de los últimos diez años. Entre los resultados obtenidos se observa que, si bien es la escuela pública la que más aspirantes aporta, casi la mitad de los ingresantes provienen de escuelas de gestión privada. Finalmente, pruebas estadísticas han determinado que la cantidad de ingresantes y no ingresantes se ve afectada, en algunos casos por el título y en otros por la gestión de la escuela de procedencia.

Palabras Clave: Perfil estudiantes, Título secundario, Gestión escuela de procedencia, Ingreso.

1 Introducción

Sabemos que la oferta de ingenieros no cubre la demanda del medio local, nacional e internacional, nos preguntamos, entonces, si esta situación se debe a la falta de vocaciones. Según nuestra experiencia, las inscripciones revelan que si bien existen vocaciones (o al menos aspiraciones) para estudiar Ingeniería, los que ingresan son un muy bajo porcentaje.

En la actualidad, la transición entre la escuela media y la universidad y la deserción de un gran número de alumnos en el curso de nivelación y el primer período de las carreras es una preocupación que puede ser abordada desde distintas ópticas, según los sectores sociales involucrados: las instituciones, los docentes, los alumnos y los padres.

Desde hace años el ingreso a las carreras de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo es una problemática que se atiende muy especialmente porque los jóvenes egresan del nivel medio con pocas herramientas que les permitan acceder y permanecer en la carrera elegida. Si bien el curso de nivelación pretende afianzar los conocimientos en algunos conceptos básicos que se suponen aprendidos con anterioridad al curso de nivelación y que son imprescindibles para un correcto

desenvolvimiento en las asignaturas propias de la carrera, parece no cubrir la brecha existente a fin de disminuir la deserción y el desgranamiento.

Para Chaile [1], el tema del ingreso a las carreras científico-tecnológicas impone revisar enfoques, reinstalar cuestiones y reposicionar la importancia de las disposiciones institucionales, atendiendo a la búsqueda de su mejora. Por estas razones, plantea que las autoridades deberían analizar alternativas de respuesta a cuestiones propias de los estudiantes (masificación, carencias cognitivas de los aspirantes, falta de interés, inmadurez, etcétera) y trabajar sobre las inquietudes que emanan de la temática, coparticipando del proceso como actores interesados y comprometidos desde la gestión y la docencia. Esta propuesta de Chaile nos lleva a pensar el sistema de ingreso como complejo y abierto, por lo que no se cierra tras el mismo, sino que se debe someter a una revisión constante.

La complejidad y multicausalidad de esta problemática desafía a pensarla en relación con procesos más amplios que la podrían estar favoreciendo/desfavoreciendo y configurando.

En nuestro proyecto anterior trabajamos con los indicadores que influyen en el desgranamiento, la deserción y la duración de las carreras de Ingeniería en nuestra Unidad Académica, señalando que el perfil de los ingresantes a cada una de las especialidades es distinto, no sólo durante el progreso de la carrera sino desde el ingreso y desde la instancia de aspirar al ingreso de cada especialidad.

Estos resultados advierten que la posibilidad de ingresar que tienen en cada especialidad se diferencia desde el momento del curso de nivelación. Estas diferencias no sólo están dadas por las competencias en las asignaturas del curso de nivelación sino por la ventaja/desventaja social de los aspirantes.

En esta oportunidad, nuestra idea es realizar un estudio exploratorio de las condiciones académicas de los aspirantes con el propósito de detectar cuáles son los factores que influyen en los resultados durante el curso de nivelación.

Además, la procedencia de los aspirantes a carreras de Ingeniería es de nuestro interés porque las acciones realizadas desde nuestra Facultad tienden a crear lazos para fortalecer las condiciones del curso de nivelación, en función de las características de los aspirantes.

La experiencia nos muestra que los aspirantes provienen de escuelas de distintas gestiones y modalidades pero esto no es suficiente, necesitamos saber en qué proporción se da la condición de ingresante, no ingresante e ingresante por pase.
Nuestro análisis parte de un estudio estadístico descriptivo para terminar analizando los factores que influyen, o no, en la condición de los aspirantes.

2 Descripción de los datos

El análisis se basa en la información recolectada a partir de lo declarado por los aspirantes al inscribirse. La base de datos consta de variables que hacen referencia a datos personales, sociales, económicos y académicos.

En nuestro estudio nos centraremos en la condición final del aspirante tras la realización del curso de nivelación o su aceptación como alumno a través de un pase.

Esta condición la confrontaremos con el título del nivel secundario y la gestión de la escuela de procedencia.

A continuación se presenta una síntesis de la información procesada para el período de diez años analizado (2003-2012).

En primer lugar presentaremos el porcentaje de aspirantes y su situación de ingreso:

Tabla 1. Porcentaje de Ingresantes, No Ingresantes e Ingresantes por Pase discriminados por carrera entre los aspirantes a carreras de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo en el período 2003-2012

		2003	2004	2005	2006	2007
Civil	**Ingresantes**	7,94%	6,50%	7,80%	5,73%	6,20%
	No Ingresantes	19,37%	20,13%	17,16%	17,34%	15,28%
	Pase	0,48%	0,63%	0,31%	0,15%	0,61%
Industrial	**Ingresantes**	21,43%	16,80%	20,59%	18,11%	18,46%
	No Ingresantes	29,52%	29,32%	25,90%	32,04%	34,49%
	Pase	1,75%	1,27%	2,50%	0,77%	2,27%
Petróleos	**Ingresantes**	4,76%	6,66%	9,67%	8,20%	5,60%
	No Ingresantes	14,29%	18,07%	15,60%	17,49%	16,94%
	Pase	0,48%	0,63%	0,47%	0,15%	0,15%

		2008	2009	2010	2011	2012
Civil	**Ingresantes**	8,77%	7,45%	6,34%	5,92%	5,68%
	No Ingresantes	17,22%	20,65%	17,10%	21,03%	18,50%
	Pase	0,33%	0,31%	0,55%	0,88%	0,79%
Industrial	**Ingresantes**	22,52%	19,25%	16,97%	15,62%	20,89%
	No Ingresantes	25,99%	30,75%	35,45%	32,62%	29,17%
	Pase	2,15%	2,64%	2,07%	2,27%	1,02%
Petróleos	**Ingresantes**	4,47%	3,73%	3,03%	2,14%	5,79%
	No Ingresantes	18,05%	14,29%	18,07%	19,02%	18,05%
	Pase	0,50%	0,93%	0,41%	0,50%	0,11%

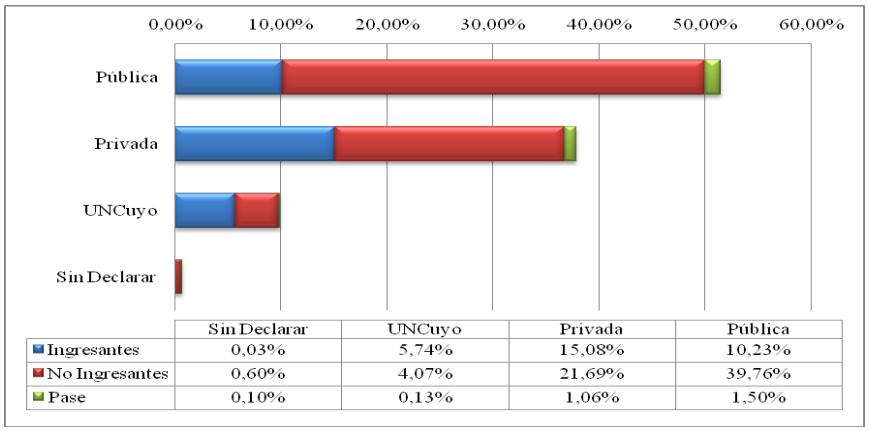
Como vemos, el porcentaje de Ingresantes, No Ingresantes e Ingresantes por Pase no dice demasiado respecto a las características de los aspirantes, por lo que decidimos estudiar ciertas variables académicas relacionadas con la escuela de nivel medio de procedencia.

Tabla 2. Porcentaje de Ingresantes, No Ingresantes e Ingresantes por Pase discriminados por carrera entre los aspirantes a carreras de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo en el período 2003-2012 según la gestión de la escuela de procedencia.

	Gestión / Carrera	Civil	Industrial	Petróleos
Ingresantes	**Pública**	25%	44%	30%
	Privada	20%	70%	10%
	UNCuyo	19%	70%	12%
	Sin Declarar	50%	50%	0%
		22%	61%	17%
	Gestión / Carrera	**Civil**	**Industrial**	**Petróleos**
No Ingresantes	**Pública**	29%	40%	31%
	Privada	26%	54%	19%
	UNCuyo	26%	64%	10%
	Sin Declarar	27%	46%	27%
		28%	46%	26%
	Gestión / Carrera	**Civil**	**Industrial**	**Petróleos**
Pase	**Pública**	18%	60%	21%
	Privada	19%	71%	10%
	UNCuyo	22%	78%	0%
	Sin Declarar	14%	86%	0%
		19%	66%	15%

Analizando el conjunto de todos los aspirantes, observamos que el mayor aporte lo hacen las escuelas públicas (51%), seguidos de las escuelas de gestión privada (38%) y, por último, las escuelas de la Universidad Nacional de Cuyo (10%). El 1% restante corresponde a los casos en los que los aspirantes no indicaron la escuela de procedencia.

El siguiente gráfico describe la situación planteada:



	Sin Declarar	UNCuyo	Privada	Pública
Ingresantes	0,03%	5,74%	15,08%	10,23%
No Ingresantes	0,60%	4,07%	21,69%	39,76%
Pase	0,10%	0,13%	1,06%	1,50%

Fig. 1. Distribución de los aspirantes según la gestión de la escuela de procedencia discriminados según su situación de ingreso. Período 2003-2012.

Para profundizar en este estudio, nos detendremos en el análisis de los porcentajes de Ingresantes, No Ingresantes e Ingresantes por Pase según la gestión de la escuela de procedencia.

Tabla 3. Porcentaje de Aspirantes a carreras de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo en el período 2003-2012

Gestión	**% de aspirantes**
Pública	51%
Privada	38%
UNCuyo	10%
Sin Declarar	1%

Tabla 4. Porcentaje de Ingresantes, No Ingresantes e Ingresantes por Pase discriminados por la gestión de la escuela de procedencia de los aspirantes a carreras de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo en el período 2003-2012

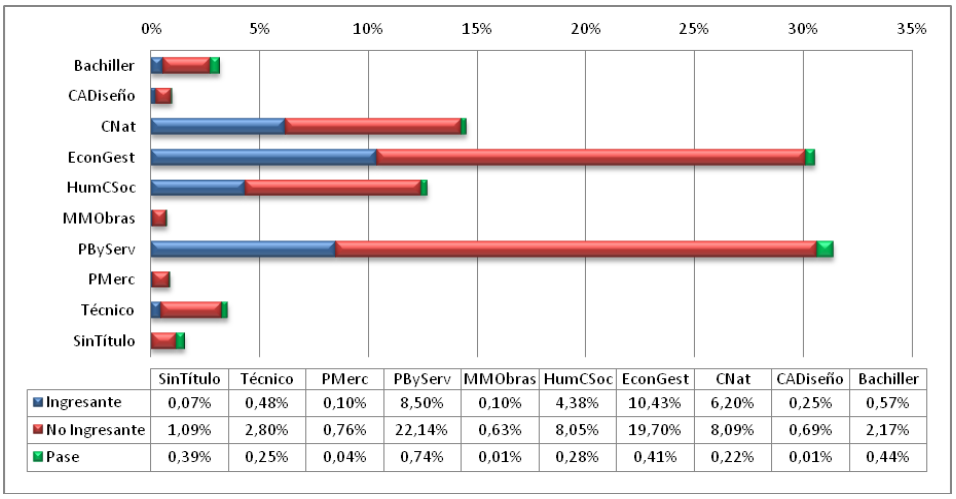
Gestión	**% Respecto a la Gestión**	**% Respecto a la Condición Final**
Pública-Ingresantes	19,88%	32,93%
Pública-No Ingresantes	77,21%	60,13%
Pública-Pase	2,92%	53,65%
Privada-Ingresantes	39,85%	48,50%
Privada-No Ingresantes	57,34%	32,81%
Privada-Pase	2,81%	38,02%
UNCuyo-Ingresantes	57,77%	18,48%
UNCuyo-No Ingresantes	40,91%	6,15%
UNCuyo-Pase	1,32%	4,69%
Sin Declarar-Ingresantes	4,00%	0,09%
Sin Declarar-No Ingresantes	82,00%	0,90%
Sin Declarar-Pase	14,00%	3,65%

Como vemos, si bien más de la mitad de nuestros aspirantes provienen de escuelas de gestión pública, casi la mitad de los Ingresantes vienen de escuelas de gestión privada y más de la mitad de los No Ingresantes son de escuelas públicas.

Respecto a los egresados de escuelas de la Universidad Nacional de Cuyo, vemos que sólo aportan el 10% de los aspirantes pero, de ellos, ingresa más de la mitad.

Desde esta perspectiva, nos pareció de interés el análisis de los títulos de los aspirantes y su relación con la situación final de ingreso.

La siguiente tabla describe los porcentajes obtenidos:



	SinTítulo	Técnico	PMerc	PByServ	MMObras	HumCSoc	EconGest	CNat	CADiseño	Bachiller
Ingresante	0,07%	0,48%	0,10%	8,50%	0,10%	4,38%	10,43%	6,20%	0,25%	0,57%
No Ingresante	1,09%	2,80%	0,76%	22,14%	0,63%	8,05%	19,70%	8,09%	0,69%	2,17%
Pase	0,39%	0,25%	0,04%	0,74%	0,01%	0,28%	0,41%	0,22%	0,01%	0,44%

Fig. 2. Distribución de los aspirantes según su título de nivel medio y su situación de ingreso. Período 2003-2012.
Referencias:
CADiseño: Modalidad Comunicación, Arte y Diseño
CNat: Modalidad Ciencias Naturales
EconGest: Modalidad Economía y Gestión de la Organizaciones
HumCSoc: Modalidad Humanidades y Ciencias Sociales
MMObras: Maestro Mayor de Obras
PByServ: Producción de Bienes y Servicios
PMerc: Perito Mercantil

Los datos indican que las títulos de nivel medio que más se presentan entre los aspirantes corresponden a las modalidades de Producción de Bienes y Servicios (31%), Economía y Gestión de las Organizaciones (31%), Ciencias Naturales (15%) y Humanidades y Ciencias Sociales (13%).

Si nos detenemos en los títulos Técnicos, vemos que sólo representan el 4%, como el de Maestro Mayor de Obras, que se presenta en sólo el 1% de los aspirantes. En principio, esta situación nos debe llamar la atención y ver, en un futuro, qué estudian o qué hacen al terminar sus estudios secundarios los alumnos con estos títulos. Aunque vale aclarar que no hemos podido discriminar las especialidades dentro de la modalidad de Producción de Bienes y Servicios, muchas de las cuales son técnicas, como, por ejemplo, los títulos de Técnico Químico o Técnico Mecánico.

3 Análisis de la información

Nuestro interés en esta temática se centra en la posibilidad de describir un perfil de nuestros aspirantes e ingresantes. Si bien el perfil de nuestros aspirantes e ingresantes ha sido descripto en otros trabajos realizados por nuestro equipo de trabajo, nos preocupa que, ante un curso de nivelación que incluye sólo algunos de los contenidos

básicos del nivel medio, haya muchos alumnos que no logran obtener buenos resultados en las evaluaciones.

Surge así la necesidad de estudiar las condiciones académicas de nuestros aspirantes y ver si las diferencias en los resultados dependen de variables tales como la gestión de la escuela de procedencia, el título obtenido o la carrera elegida.

Para esto recurriremos a un análisis de varianza que estudie los títulos y las carreras, por un lado y, la gestión de la escuela de procedencia y los títulos, por otro.

Tabla 5. Porcentaje de Ingresantes, No Ingresantes e Ingresantes por Pase discriminados por título del nivel medio y carrera entre los aspirantes a carreras de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo en el período 2003-2012

	Ingresantes			**No Ingresantes**			**Pase**		
Carreras / Títulos	**Civil**	**Industrial**	**Petróleos**	**Civil**	**Industrial**	**Petróleos**	**Civil**	**Industrial**	**Petróleos**
Bachiller	0,4%	0,8%	0,7%	0,9%	1,1%	1,3%	3,1%	10,9%	1,6%
CADiseño	0,2%	0,4%	0,2%	0,4%	0,3%	0,4%	0,0%	0,5%	0,0%
CNat	3,9%	12,7%	3,4%	3,0%	6,2%	3,0%	0,5%	6,3%	1,0%
EconGest	7,7%	21,4%	4,4%	8,8%	13,9%	7,1%	2,1%	10,4%	2,1%
HumCSoc	2,9%	9,7%	1,5%	3,2%	5,8%	3,2%	2,6%	5,7%	1,6%
MMObras	0,2%	0,0%	0,1%	0,6%	0,2%	0,2%	0,5%	0,0%	0,0%
PByServ	6,1%	15,1%	6,2%	9,7%	15,4%	8,5%	3,6%	16,1%	6,8%
PMerc	0,1%	0,1%	0,0%	0,3%	0,5%	0,4%	0,0%	1,0%	0,5%
Técnico	0,1%	0,1%	0,0%	0,5%	0,7%	0,4%	4,7%	9,4%	0,0%
Sin Título	0,1%	0,8%	0,6%	0,5%	2,3%	1,4%	1,6%	5,7%	1,6%

Referencias:
CADiseño: Modalidad Comunicación, Arte y Diseño
CNat: Modalidad Ciencias Naturales
EconGest: Modalidad Economía y Gestión de la Organizaciones
HumCSoc: Modalidad Humanidades y Ciencias Sociales
MMObras: Maestro Mayor de Obras
PByServ: Producción de Bienes y Servicios
PMerc: Perito Mercantil

El estudio realizado con las restricciones propias de un análisis de varianza con un nivel de significancia de 0,05 nos permite concluir que, en todos los casos, la cantidad de Ingresantes, No Ingresantes e Ingresantes por pase, se ve influida por el título del aspirante y la carrera a la que aspira ingresar. Los títulos que presentan una diferencia significativa positiva son los de la modalidad de Economía y Gestión de las Organizaciones, seguido por Producción de Bienes y Servicios y Ciencias Naturales.

Además, en el caso de las carreras elegidas se observa que los aspirantes a Ingeniería Industrial ingresan en cantidades significativamente mayores que los de

Ingeniería en Petróleos e Ingeniería Civil. Aunque también son los que presentan diferencias significativas entre los No Ingresantes.

Tabla 6. Porcentaje de Ingresantes, No Ingresantes e Ingresantes por Pase discriminados por título del nivel medio y gestión de la escuela de procedencia entre los aspirantes a carreras de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo en el período 2003-2012

	Ingresantes			**No Ingresantes**			**Pase**		
Gestión / Título	**Privada**	**Pública**	**UNCuyo**	**Privada**	**Pública**	**UNCuyo**	**Privada**	**Pública**	**UNCuyo**
Bachiller	1,1%	0,8%	0,0%	1,4%	1,9%	0,0%	11,5%	4,2%	0,0%
CADiseño	0,0%	0,4%	0,0%	0,3%	0,7%	0,0%	0,0%	0,5%	0,0%
CNat	8,3%	3,4%	8,2%	5,1%	5,3%	1,9%	3,1%	3,6%	1,0%
EconGest	0,5%	0,3%	0,0%	0,4%	0,6%	0,1%	0,5%	0,0%	0,0%
HumCSoc	23,5%	5,4%	4,6%	15,3%	12,7%	1,7%	7,3%	6,8%	0,5%
MMObras	11,1%	1,8%	1,2%	6,2%	5,3%	0,7%	5,7%	3,1%	1,0%
PByServ	3,8%	19,3%	4,3%	3,0%	28,7%	1,8%	2,1%	22,4%	2,1%
PMerc	0,1%	0,3%	0,0%	0,2%	0,9%	0,0%	1,0%	0,5%	0,0%
Técnico	0,2%	1,4%	0,0%	0,4%	3,8%	0,0%	2,6%	6,3%	0,0%
Sin Título	0,2%	1,4%	0,0%	0,4%	3,8%	0,0%	2,6%	6,3%	0,0%

Referencias:
CADiseño: Modalidad Comunicación, Arte y Diseño
CNat: Modalidad Ciencias Naturales
EconGest: Modalidad Economía y Gestión de la Organizaciones
HumCSoc: Modalidad Humanidades y Ciencias Sociales
MMObras: Maestro Mayor de Obras
PByServ: Producción de Bienes y Servicios
PMerc: Perito Mercantil

El análisis de varianza (con un nivel de significancia de 0,05) no muestra diferencia significativa en las medias de Ingresantes discriminados por la gestión de la escuela de procedencia aunque sí se observan diferencias significativas en el caso de los No Ingresantes y de los Ingresantes por pase. En estos casos, la gestión pública, en primer lugar y la gestión privada, en segundo lugar, aportan positivamente, mientras que los aspirantes provenientes de las escuelas de la Universidad Nacional de Cuyo, aparecen por debajo de la media.

Respecto al título, sólo se observan diferencias significativas entre los Ingresantes, siendo las modalidades de Economía y Gestión de las Organizaciones y la de Producción de Bienes y Servicios las que más afectan positivamente, mientras que los

aspirantes con título de Perito Mercantil y Maestro Mayor de Obras, se presentan por debajo de la media.

3 Reflexiones finales

En investigaciones anteriores habíamos observado que los aspirantes a las distintas carreras presentan perfiles sociales y académicos diferenciados. Ante esta situación, nos preguntamos cómo mediar pedagógicamente para contemplar las diferencias propias de un grupo heterogéneo de aspirantes con distintas actitudes, aptitudes, nivel social, condiciones ambientales y muchas otras variables que influyen en su rendimiento académico, tanto en el curso de nivelación como en su posterior desempeño universitario.

Tras los resultados obtenidos en el presente trabajo observamos que la gestión y el título son factores que influyen, aunque en distintas medidas, sobre los resultados de las aspirantes a ingresar a la Facultad de Ingeniería.

Si bien no hemos podido discriminar la modalidad de Producción de Bienes y Servicios entre sus títulos técnicos y los que no lo son, advertimos que son muchos los aspirantes con este título, así como los egresados con título en la modalidad de Economía y Gestión de las Organizaciones y en Ciencias Naturales. Posiblemente nuestros aspirantes eligieron la modalidad a seguir en el nivel medio sin ver más allá o sin tener definida su vocación. La afluencia de aspirantes de modalidades que han tenido pocas asignaturas relacionadas con las del curso de nivelación amplía la brecha que ya hemos comentado.

Los aspirantes con títulos técnicos que ingresaban a las carreras de Ingeniería ya no lo hacen en la misma medida. Aunque esto se puede deber, también, a que cada vez hay menos escuelas con estas modalidades.

Seguimos frente a un gran desafío, el de conocer a nuestros aspirantes desde diversos aspectos y no sólo desde que llegan a nuestra Facultad, sino que debemos comenzar a hacerlo antes, para prever sus características y necesidades.

Referencias

1. Chaile, MO: Alternativas pedagógicas para favorecer prácticas y condiciones de acceso en educación en Ciencias. Segundas Jornadas de Ingreso y Permanencia en Carreras Científico-Tecnológicas. Universidad de Salta, 2010.

Simulación del Comportamiento de un Manipulador Robótico de Cuatro Grados de Libertad

Eric Sánchez[a], Mauricio Cáceres[a],
Eduardo Totter[a], Silvia Raichman[a] Aníbal Mirasso[a]

[a] Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ingeniería, Lencinas s/n, 5500 Mendoza Argentina
sanchezeric.91@gmail.com, mauric.caceres@gmail.com, etotter@fing.uncu.edu.ar , sraichman@fing.uncu.edu.ar, aemirasso@fing.uncu.edu.ar

Resumen. Una de las estrategias didácticas utilizadas en el ámbito de la asignatura Matemática Avanzada que se dicta en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo, consiste en el desarrollo por parte de los estudiantes de un Trabajo Integrador de Investigación. El mismo tiene por objetivo, promover un acercamiento inicial al conocimiento de las diversas etapas que es necesario transitar en un proyecto de investigación científica y profundizar los contenidos matemáticos y numéricos adquiridos durante el cursado de la asignatura. En este trabajo se muestran aspectos fundamentales del comportamiento de un manipulador robótico de cuatro grados de libertad, propuesto por un grupo de estudiantes de Matemática Avanzada y desarrollado en el marco de los Trabajos Integradores mencionados. Se presentan algunos de los resultados obtenidos y se establecen conclusiones referidas a dichos resultados y a la propuesta pedagógica en la que fueron desarrollados.

Palabras Clave: Manipulador robótico. Matemática Avanzada. Cinemática. Dinámica.

1 Introducción

La asignatura Matemática Avanzada que se desarrolla durante el transcurso del cuarto semestre de la carrera de Ingeniería en Mecatrónica, que se dicta en Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo, tiene como uno de sus objetivos el estudio y comprensión de modelos matemáticos de sistemas dinámicos lineales y su resolución a partir de la utilización de métodos analíticos y numéricos.

Una de las estrategias contenidas en el modelo pedagógico de la asignatura, consiste en el desarrollo por parte de los estudiantes de un Trabajo Integrador de Investigación, [1],[2],[3], realizado en pequeños grupos, que permite a los alumnos transitar desde un punto de vista relacionado a la metodología de trabajo utilizada en investigación científica, cada una de las fases de resolución de una situación problema de interés ingenieril planteada al inicio del curso.

En el marco mencionado y en un todo de acuerdo a los objetivos curriculares de la carrera de ingeniería en Mecatrónica [4], uno de los proyectos desarrollados por un grupo de estudiantes durante el ciclo lectivo 2011, se enmarca en el área temática de investigación: Modelado de sistemas físicos complejos, brazo robótico de *n* grados de libertad. Dicho Trabajo Integrador de Investigación, a partir de un manipulador robótico propuesto por los alumnos, genera un ámbito propicio para el estudio y

análisis del funcionamiento de dispositivos tales como el mencionado, en base a la profundización de los conceptos asociados al modelado matemático del sistema físico y su correspondiente resolución a partir de metodologías adecuadas.

En el presente trabajo se describe el estudio del comportamiento cinemático y dinámico de un manipulador robótico de cuatro grados de libertad propuesto por un grupo de estudiantes de la asignatura Matemática Avanzada y se presentan las correspondientes conclusiones derivadas a partir de los resultados obtenidos y de la propuesta pedagógica desarrollada.

2 Conceptos preliminares

Con el objeto de definir con precisión y especificar el ámbito en el que se ha desarrollado el presente trabajo, se describen algunos conceptos fundamentales sobre los dispositivos que son objeto del mismo.

Se considera un manipulador robótico como un dispositivo formado por una serie de eslabones interconectados a través de juntas, rotacionales o prismáticas, en forma de cadena cinemática abierta, es decir, el extremo final de la cadena donde se coloca la herramienta de trabajo del manipulador, no se encuentra conectado mecánicamente a la base del robot.

Es importante aclarar que las denominadas juntas prismáticas o deslizantes son aquellas que permiten realizar movimientos lineales, en tanto que las juntas rotacionales, permiten el giro relativo de un eslabón de la cadena, respecto del siguiente.

La estructura mecánica de un manipulador robótico se caracteriza por poseer un determinado número de grados de libertad, los cuales definen en forma única su configuración. Cada grado de libertad se encuentra asociado a una variable que lo representa, denominada variable articular. En el caso de juntas rotacionales, las variables articulares están constituidas por ángulos de giro en tanto que en el caso de las juntas prismáticas o deslizantes, dichas variables están constituidas por desplazamientos.

La configuración geométrica del manipulador robótico en un instante determinado, implica necesariamente el conocimiento de la posición espacial del extremo del mismo. De esta manera, se requiere de 6 coordenadas en el espacio tridimensional para la correcta ubicación del extremo final del manipulador robótico: 3 coordenadas para la posición cartesiana y 3 coordenadas para la orientación de la herramienta de trabajo.

Es así que se denomina cinemática directa a la relación que existe entre las coordenadas articulares del robot con las coordenadas cartesianas y la orientación de la herramienta de trabajo colocada en el extremo final del mismo. Como parte de la representación matemática de la cinemática directa es necesario el uso de transformaciones homogéneas para representar orientación y traslación de la herramienta de trabajo con respecto a un sistema de referencia fijo, que en general se ubica en la base del robot manipulador.

En forma adicional, el estudio del comportamiento real de un manipulador robótico, requiere la adecuada consideración en los modelos, de una serie de

fenómenos físicos propios de la naturaleza dinámica del mismo, tales como efectos inerciales, fuerzas centrípetas y de Coriolis, pares gravitacionales y fenómenos de fricción presentes en las juntas del dispositivo.

Dicha consideración se realiza a partir del modelo dinámico del problema en estudio, el cual está constituido por ecuaciones diferenciales no lineales que reproducen el comportamiento del sistema estudiado [5]. La obtención de dicho modelo matemático y su correspondiente resolución numérica, constituyen un proceso de fundamental importancia para el correcto diseño del dispositivo manipulador estudiado y para los correspondientes procesos de simulación previos a su construcción.

3 Descripción del manipulador robótico propuesto

En forma previa al desarrollo del trabajo, es necesario definir claramente las características principales que posee el manipulador robótico propuesto para el desarrollo de la experiencia. En este caso el mismo se encuentra conformado por una cadena cinemática de tres eslabones y cuatro juntas o articulaciones. Estas últimas corresponden a una junta traslacional en la base y tres juntas rotacionales asociadas a los eslabones superiores, conformando de esta manera una cadena cinemática de 4 grados de libertad. La Figura 1 permite observar un esquema del dispositivo propuesto.

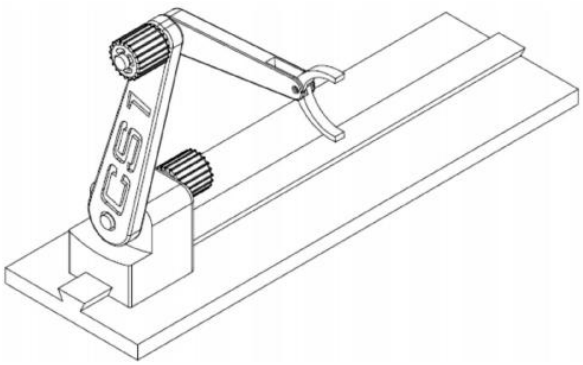


Fig. 1. Esquema del manipulador robótico propuesto.

De esta manera y en base a la configuración mencionada, se tiene una variable articular por cada grado de libertad propuesto, asociada a un sistema de referencia en cada articulación. A los efectos de considerar tanto el sentido de medición del ángulo o desplazamiento correspondiente en cada junta, así como también las línea o ejes articulares de referencia para la medición de los mismos, en este trabajo se adopta la denominada convención de Craig [6], la cual establece todas las pautas necesarias para dicho fin.

De acuerdo a las condiciones descriptas, el espacio articular correspondiente al manipulador robótico propuesto en el presente trabajo, queda definido por cuatro variables articulares, las cuales pueden observarse en la Tabla 1, junto con una descripción de las mismas.

Designación	Descripción de la variable
d_1	Desplazamiento del manipulador con respecto a la base fija del dispositivo
t_2	Giro del segundo eslabón de la cadena, con respecto al eje del primer eslabón de las misma
t_3	Giro del tercer eslabón de la cadena, con respecto al eje del segundo eslabón de la misma
t_4	Giro del eje de la herramienta de trabajo, con respecto al eje del tercer eslabón de la cadena cinemática.

Tabla 1. Definición del espacio articular del manipulador robótico presentado.

Con el objeto de avanzar en el desarrollo de los modelos matemáticos que representan el problema en estudio y de acuerdo a las convenciones adoptadas, es necesario establecer la ubicación de un sistema de referencia en cada una de las juntas del manipulador robótico.

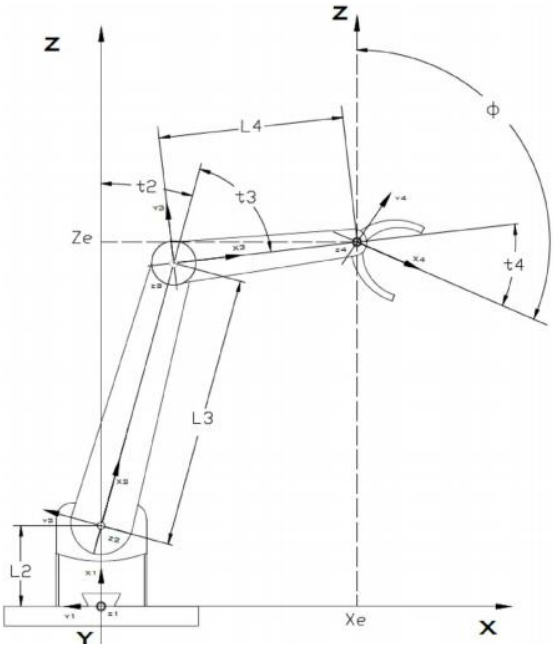


Fig. 2. Esquema del manipulador robótico propuesto.

En forma adicional es necesario definir la totalidad de los parámetros que configuran la geometría del manipulador, tales como longitudes de los diversos eslabones de la cadena y orientaciones de los sistemas de referencia con respecto a los ejes de los eslabones de la cadena. La Figura 2 permite visualizar las variables articulares del manipulador y algunos de los parámetros geométricos definidos para el mismo.

4 Formulación matemática del problema

Las variables articulares presentadas en el párrafo precedente, se agrupan en un vector $\boldsymbol{q}$, denominado vector de coordenadas generalizadas. En este caso el vector $\boldsymbol{q}$ está dado por la siguiente expresión:

$$\boldsymbol{q} = \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_1 \\ t_2 \\ t_3 \\ t_4 \end{bmatrix}. \qquad \textbf{(1)}$$

Uno de los principales problemas a resolver en el estudio del comportamiento de un manipulador robótico tal como el descripto, es la determinación de la posición espacial de la herramienta de trabajo con respecto a un sistema de referencia fijo ubicado en la base del dispositivo, para valores conocidos de las coordenadas generalizadas ya descriptas. Esto constituye la denominada cinemática directa del manipulador, que se describirá globalmente a continuación.

4.1 Cinemática directa

De acuerdo a lo mencionado, la cinemática directa es una función vectorial $\boldsymbol{f}(\boldsymbol{q})$ que relaciona las coordenadas generalizadas $\boldsymbol{q}$ y las propiedades geométricas del sistema mecánico con las coordenadas cartesianas (x, y, z) y la orientación de la herramienta colocada en el extremo final (Φ) , dadas estas últimas por el vector $\boldsymbol{p}$. Es decir:

$$\boldsymbol{p} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ x \\ \Phi \end{bmatrix} = \boldsymbol{f}(\boldsymbol{q}) . \qquad \textbf{(2)}$$

A los efectos de la obtención del vector $\boldsymbol{p}$, es necesario definir una matriz denominada ${}^{\mathbf{4}}_{\mathbf{0}}\boldsymbol{T}$, la cual constituye la matriz de transformación homogénea que indica la posición y orientación del sistema de referencia del extremo asignado con respecto al sistema fijo de la base. Dicha matriz se obtiene por un proceso algebraico que consiste en determinar las matrices ${}^{\boldsymbol{i}}_{\boldsymbol{i-1}}\boldsymbol{T}$, es decir las matrices de transformación correspondiente a cada enlace respecto del anterior, y luego multiplicarlas entre sí en forma de cadena para obtener la posición y orientación del extremo.

De acuerdo a este proceso, la matriz resultante para el caso planteado está dada por la siguiente expresión.

$$\boldsymbol{T} = \begin{bmatrix} -\sin(t_2 + t_3 + t_4) & -\cos(t_2 + t_3 + t_4) & 0 & -l_4 \sin(t_2 + t_3) - l_3 \sin(t_2) \\ 0 & 0 & -1 & -d_1 \\ \cos(t_2 + t_3 + t_4) & -\sin(t_2 + t_3 + t_4) & 0 & l_2 + l_4 \cos(t_2 + t_3) + l_3 \cos(t_2) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad \textbf{(3)}$$

Donde los valores de l_2, l_3 y l_4 (Figura 2) corresponden a las longitudes de los enlaces de la cadena. A partir de la ecuación (3) es posible observar que a partir del ingreso de los parámetros mencionados y realizando los cálculos indicados se obtiene la matriz de transformación buscada.

4.2 Cinemática inversa

La denominada cinemática inversa busca determinar los valores de las variables articulares del manipulador contenidas en el vector $\boldsymbol{q}$, a partir de valores conocidos del vector $\boldsymbol{p}$ definido en el parágrafo anterior. Es decir:

$$\boldsymbol{q} = \boldsymbol{f^{-1}}(\boldsymbol{p}). \quad \textbf{(4)}$$

Existe más de un método para resolver este planteo. Uno de ellos es el denominado método geométrico, que busca valores de las variables articulares en función de valores conocidos del vector $\boldsymbol{p}$, utilizando consideraciones puramente geométricas. De esta manera y a partir del estudio de la Figura 2, es posible escribir las siguientes relaciones:

$$q_1 = -y. \quad \textbf{(5)}$$

$$q_2 = arctg\left(\frac{x}{z - l_2}\right) - arctg\left(\frac{l_4\ sen(q_3)}{l_3 + l_4 \cos(q_3)}\right). \quad \textbf{(6)}$$

$$q_3 = arccos\left(\frac{(x)^2 + (z - l_2)^2 - (l_3)^2 - (l_4)^2}{2\ l_3\ l_4}\right). \quad \textbf{(7)}$$

$$q_4 = \Phi - q_3 - q_2\ . \quad \textbf{(8)}$$

Para valores consistentes de los datos, es decir datos adecuados al espacio de trabajo del manipulador robótico, las ecuaciones (5), (6), (7) y (8), pueden presentar más de una solución, ya que es posible que existan variadas posiciones o configuraciones de los enlaces y de las articulaciones que provocan el mismo

resultado final. La Figura 3 permite visualizar la simulación de un caso tal como el descripto, para el manipulador robótico propuesto.

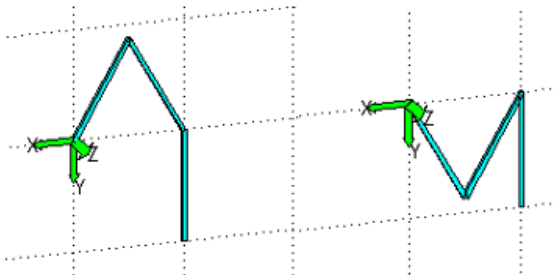


Fig. 3. Distintas configuraciones para una misma posición y orientación del extremo del manipulador

Además del método geométrico mencionado, existen diversas estrategias y técnicas para la resolución de la cinemática inversa del problema, generalmente basadas en la utilización de matrices de transformación, las cuales no serán abordadas en el ámbito del presente trabajo.

4.3 Dinámica del problema

La modelación dinámica de un robot manipulador constituye un aspecto de fundamental importancia a la hora de abordar procesos de simulación del comportamiento del mismo. Entendemos por modelo dinámico de un robot manipulador a aquel que tiene en cuenta en su formulación matemática una variedad de fenómenos físicos propios de la naturaleza del mismo, tales como efectos inerciales, fuerzas de Coriolis y fuerzas de fricción por citar algunas. Dichos modelos son en general fuertemente no lineales y poseen un alto grado de acoplamiento en sus variables, por lo cual la resolución de los mismos presenta en muchos casos importantes dificultades.

Existen diversas técnicas para la obtención del modelo dinámico de un manipulador robótico, tales como las derivadas de la aplicación de las Leyes de Newton, las asociadas a la utilización de los principios de Hamilton y las ecuaciones de movimiento de Euler-Lagrange. La utilización de los métodos mencionados, derivan en la obtención del modelo matemático dinámico dado por el siguiente sistema de ecuaciones diferenciales no lineales:

$$\boldsymbol{\tau} = \boldsymbol{M}(\boldsymbol{q})\,\ddot{\boldsymbol{q}} + \boldsymbol{G}(\boldsymbol{q}) + \boldsymbol{V}(\boldsymbol{q},\dot{\boldsymbol{q}}) + \boldsymbol{F}(\dot{\boldsymbol{q}})\,. \qquad \textbf{(9)}$$

Donde:

$\boldsymbol{\tau}$: es el vector que contiene los pares o fuerzas ejercidos por los actuadores en las articulaciones. Para el presente caso, el mismo resulta un vector de dimensión 4x1 cuya primera componente corresponde a una fuerza dado que la junta es de tipo prismática.

$\boldsymbol{M}(\boldsymbol{q})$: se trata de una matriz que para el presente caso toma una dimensión 4x4 y está asociada a las masas del manipulador propuesto.
$\boldsymbol{G}(\boldsymbol{q})$: es un vector de pares generados por la acción de la gravedad según sea la posición del robot en un instante. Su dimensión en este caso es de 4x1.
$\boldsymbol{V}(\boldsymbol{q}, \dot{\boldsymbol{q}})$: es un vector de pares que tiene en cuenta la acción de las fuerzas centrífugas y de Coriolis, es no nulo en articulaciones de rotación. Su dimensión en este caso es de 4x1.
$\boldsymbol{F}(\dot{\boldsymbol{q}})$: Es un vector de pares asociados a la fricción de las juntas. Su dimensión en este caso es de 4x1.

Dado un conjunto de datos referidos a posición, velocidad y aceleración de las variables articulares, se denomina dinámica inversa al cálculo de los pares y fuerzas necesarios en cada articulación para llevar al manipulador robótico a ese estado determinado.

De la misma manera, dado un conjunto de fuerzas y pares determinados, el cálculo del movimiento del brazo, es decir, posición, velocidad y aceleración, se denomina dinámica directa. Para ello se requiere una integración del modelo dinámico, que se realiza generalmente utilizando técnicas numéricas.

5 Resultados obtenidos

Se muestran en el presente apartado, algunos de los resultados obtenidos desde el punto de vista del comportamiento del manipulador robótico propuesto en el presente trabajo. La resolución y el análisis numérico de los ejemplos desarrollados se realizó a partir de la utilización de tanto del programa Matlab® [7], como también de un paquete de herramientas y funciones específicamente diseñadas para el cálculo y simulación gráfica de la cinemática y dinámica de los modelos de manipuladores robóticos, orientada y diseñada para el apoyo a la enseñanza de la robótica, denominada HEMERO [6], [8].

A los efectos de realizar las primeras pruebas y corridas de simulación, se comenzó trabajando con la dinámica inversa del problema, teniendo en cuenta que para la resolución del modelo se deben colocar condiciones iniciales de posición $\boldsymbol{q}$, velocidad $\dot{\boldsymbol{q}}$ y aceleración $\ddot{\boldsymbol{q}}$. Dichos valores iniciales son cargados en la simulación como un vector fila de cuatro componentes. En primer lugar se corrieron simulaciones con una posición determinada, despreciando los efectos de gravedad, fuerzas de rozamiento y fuerzas de Coriolis. Esto se realiza, no teniendo en cuenta los términos correspondientes del modelo dado por la ecuación (9). Luego y en sucesivas etapas, se plantearon diversos escenarios que incluían cada uno de estos efectos y se observó su correspondiente efecto.

A continuación se presenta una de las situaciones planteadas acompañadas de sus correspondientes resultados. La misma corresponde al estudio del comportamiento del manipulador a partir de una serie de condiciones iniciales dadas por las expresiones (10), las cuales constituyen las condiciones iniciales, con consideración de los efectos gravitatorios.

$$\boldsymbol{q} = \begin{bmatrix} 1 \\ 90° \\ -45° \\ 45° \end{bmatrix}; \quad \dot{\boldsymbol{q}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \quad \ddot{\boldsymbol{q}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}. \tag{10}$$

La Figura 4 muestra una representación de las condiciones iniciales descriptas.

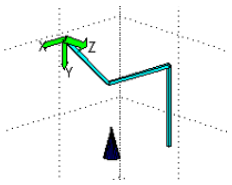


Fig. 4. Posición inicial del manipulador para las condiciones dadas por (10)

En este caso y a partir de la resolución de la dinámica inversa, se obtiene como resultado el siguiente vector de pares y fuerzas:

$$\boldsymbol{\tau} = \begin{bmatrix} 0.0000 \\ -45.2306 \\ -10.8956 \\ -0.4905 \end{bmatrix}. \tag{11}$$

La interpretación de dichos resultados indica que las fuerzas y pares obtenidos se deben en su totalidad al aporte del vector de gravedad ya que al tener vectores velocidad y aceleración nulos, no hay influencia de la inercia de los elementos, ni de aceleraciones de Coriolis.

En el caso de la dinámica directa del problema, dado un vector de fuerzas y pares determinado, se calcula la posición, velocidad y aceleración del manipulador. Los cálculos entregan como resultado un vector de tiempo ***T***, donde se encuentra discretizado el tiempo utilizado en la simulación, y dos matrices denominadas ***Q*** y ***QD***, las cuales contendrán los datos de posición y velocidad articular, hallándose formadas por una fila para cada instante contenido en el vector ***T***, y tantas columnas como variables articulares existan en el manipulador, en nuestro caso serán 4.

Para el caso analizado en el presente trabajo, se introducen pares aplicados en las articulaciones que siguen funciones de par constante. De esta manera se realiza el estudio concreto del comportamiento del dispositivo para un par constante en la base del mismo, considerando dos opciones:

Opción A: corresponde al caso sin consideración de efectos gravitatorios, sin efectos friccionales y con un vector de fuerzas y pares iniciales constante. En este caso, para velocidades y aceleraciones iniciales nulas, podemos observar en la Figura 5, una representación de la trayectoria del brazo manipulador tratado. Se puede apreciar que al aplicar un par constante en la base el manipulador se tiene una velocidad inicial pequeña en comparación con la velocidad final, dado que debe vencer la inercia del mismo. Esto se puede apreciar con el hecho de que las posiciones sucesivas están más cercanas en el inicio del movimiento. Se mantiene la posición inicial porque no interactúa la gravedad, el robot no cae por efecto de la misma.

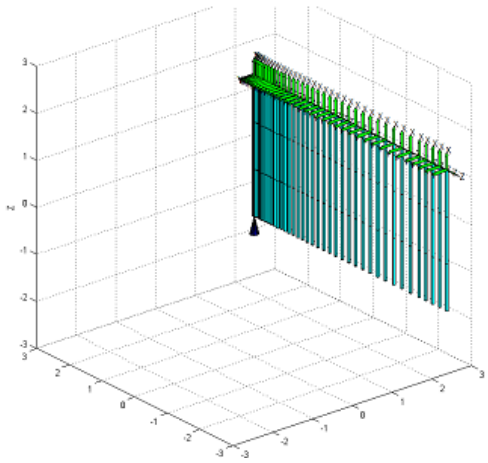


Fig. 5. Sucesivas posiciones del robot durante la simulación realizada, describiendo su movimiento en el caso de la Opción A de análisis.

Opción B: en este caso se toma en cuenta el efecto friccional de las articulaciones, los efectos gravitatorios y se mantiene el vector de fuerzas y pares constantes correspondientes a la Opción A. En forma adicional se definen los vectores iniciales dados por las siguientes expresiones:

$$\boldsymbol{q} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}; \quad \dot{\boldsymbol{q}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \quad \ddot{\boldsymbol{q}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}. \tag{12}$$

Los valores friccionales se adoptaron constantes para las 4 articulaciones. El análisis de las simulaciones, indica que el movimiento es más lento en todo sentido. Se aprecia en las mismas que el movimiento del extremo es afectado en forma más notoria por las modificaciones incorporadas y que la posición del mismo prácticamente no cambia con respecto a su pocision inicial relativa al enlace la cual se encuentra sujeto.

Se puede apreciar además cómo los enlaces caen por acción de la gravedad mientras se desplaza linealmente, a la vez que sus posiciones sucesivas se van barriendo de forma suave por acción del rozamiento, lo que no se daba en otras simulaciones con movimientos más bruscos y desordenados. En la Figura 6, se puede apreciar el barrido del robot cayendo desde la posición inicial hasta la final. Esto demuestra que los movimientos se encuentran relacionados entre sí y es necesario actuar en todas las articulaciones para lograr un determinado movimiento bien definido.

Si se busca mover por separado cualquier articulación, es necesario ejercer un par en las demás para dejarlas en la posición que uno desee. Si no se hace esto, la gravedad, la fuerza centrífuga, la inercia y demás fuerzas actuantes y todos los aspectos modelados manifestarán su influencia sobre el movimiento, lo que brindará un resultado diferente al deseado.

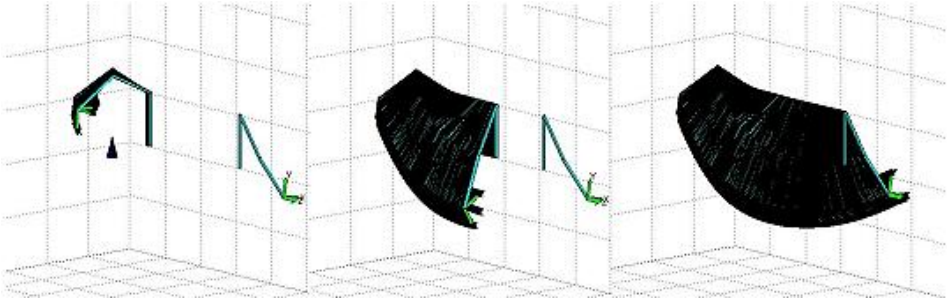


Fig. 6. La imagen muestra posición inicial, final y el movimiento del manipulador, con el par aplicado, la fricción y la gravedad influyendo en el mismo.

Un aspecto interesante de estudio, lo constituye la denominada dinámica de la trayectoria. La misma consiste en la dinámica inversa del problema, para una trayectoria deseada previamente fijada. Es decir, se propone una trayectoria que seguirá el brazo en forma de un conjunto de puntos discretos y se busca obtener el par que cada actuador deberá ejercer en cada instante para obtener la trayectoria deseada. La definición de la trayectoria, debe incluir datos sobre la orientación del extremo y de la posición del mismo. De esta manera, es necesario definir una matriz que en cada columna deberá tener las posiciones articulares de cada punto por donde se desea que pase el robot y donde cada fila se asociará a una articulación del manipulador. Se debe ingresar además el tiempo a transcurrir entre cada posición de la trayectoria planteada. Luego se procede a interpolar los puntos mencionados, para obtener una trayectoria más simple de manejar numéricamente y más precisa. Con los puntos y los tiempos se obtienen vectores $\boldsymbol{q}, \dot{\boldsymbol{q}}$ y $\ddot{\boldsymbol{q}}$, lo cual permite definir el modelo dinámico.

A los efectos del ejemplo presentado, se propone una trayectoria con 15 puntos. Se definen además las velocidades correspondientes a cada uno de los puntos de la trayectoria, lo cual es importante para modelar alguna necesidad específica de velocidades en ciertos puntos o para preservar la estructura de una dinámica destructiva o simplemente para optimizar el movimiento. En el presente análisis se consideraron todas las velocidades al llegar a los puntos de la trayectoria igual a cero. La Figura 7 permite observar el resultado de la resolución del problema descripto.

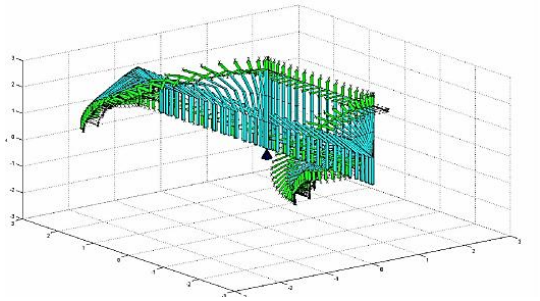


Fig. 7. La imagen muestra el barrido del manipulador por la trayectoria propuesta.

Suele ser de importancia conocer la trayectoria de movimiento del extremo del manipulador. Esto constituye un aspecto que fue estudiado por los estudiantes, los cuales obtuvieron las representaciones gráficas que muestran este tipo de resultados, tal como puede observar en la Figura 8.

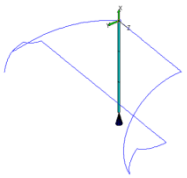


Fig. 8. Trayectoria de movimiento del extremo del manipulador.

De la misma manera y a partir de desarrollos realizados por los estudiantes en la Fig. 9 se observa la posición articular para la trayectoria dada anteriormente. En estas gráficas se puede apreciar el hecho de que la velocidad entre posiciones es cero, el brazo se frena en cada punto de la trayectoria por donde se le indicó que debía pasar la trayectoria.

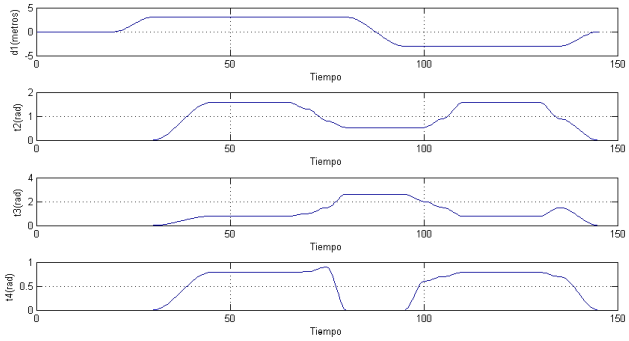


Fig. 9. Gráficas temporales de la posición articular para la trayectoria dada.

De la misma manera, es posible visualizar en la Figura 10, las gráficas de velocidades articulares correspondientes.

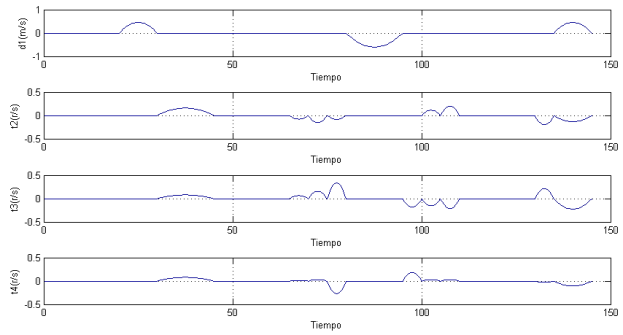


Fig. 10. Gráficas temporales de la velocidad articular para la trayectoria dada.

Las correspondientes aceleraciones articulares, se observan en la Figura 11.

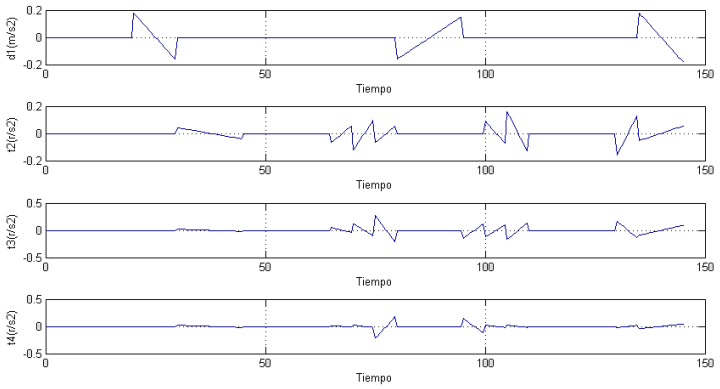


Fig. 11. Gráficas temporales de aceleraciones articulares para la trayectoria dada.

Las gráficas de fuerzas y pares son de fundamental importancia, ya que se utilizan para el diseño de los actuadores. En las mismas se pueden observar los valores máximos y los intervalos de tiempo en donde deben estar entregando fuerzas o pares. La Figura 12, muestra los resultados obtenidos para el ejemplo desarrollado.

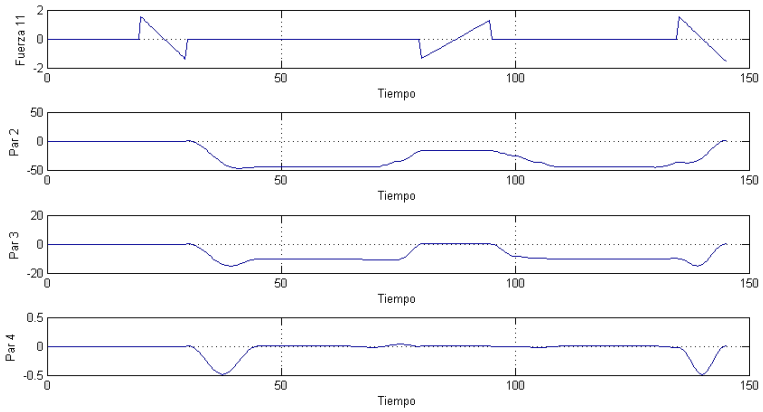


Fig. 12. Fuerzas y pares en cada articulación.

6 Conclusiones

Las tecnologías rápidamente cambiantes y los actuales retos del medio en el que se desempeñarán los futuros profesionales, exigen una transformación de la educación superior que implica llevar al aula universitaria intervenciones educativas innovadoras, que promuevan la adquisición de conocimientos y habilidades que

forman parte del desarrollo inicial de la competencia experta de los perfiles profesionales buscados. Un rol muy importante dentro de dichas estrategias en el marco del modelo pedagógico de la asignatura Matemática Avanzada, lo cumple el denominado Trabajo Integrador de Investigación, que consiste en una actividad no sincrónica, desarrollada a partir de la variedad de contenidos que posee la asignatura y de la diversidad de posibilidades de vinculación de los mismos con aplicaciones de la Ingeniería en Mecatrónica. De acuerdo a esta propuesta, los estudiantes llevan adelante el estudio, análisis y resolución de un problema de interés ingenieril, orientado hacia contenidos relacionados con la asignatura, seleccionado por los propios estudiantes y que en general posee una complejidad y profundidad, que supera el nivel de los contenidos desarrollados en clase.

En este trabajo se ha presentado el proyecto elaborado por un grupo de estudiantes correspondientes al ciclo lectivo 2011, que implica la simulación del comportamiento de un manipulador robótico de cuatro grados de libertad, por ellos propuesto. A partir del estudio de los modelos matemáticos asociados a la cinemática y la dinámica del robot diseñado y de la implementación computacional de los mismos con la ayuda de la herramienta Hemero, fue posible simular la cinemática y dinámica tanto directa como inversa de dicho dispositivo, enriqueciendo los conceptos de modelación y resolución de sistemas dinámicos desarrollados en las clases teórico prácticas de la asignatura.

El proceso de desarrollo de los Trabajos Integradores, brinda la posibilidad a los estudiantes de vivenciar en un nivel adecuado a sus conocimientos y a los recursos disponibles, las diferentes etapas definidas en la Metodología de Investigación Científica. La elaboración del Trabajo Integrador de Investigación, constituye una actividad significativa de aprendizaje que implica el desarrollo de habilidades complejas integradas, a la vez que exige un rol activo por parte del estudiante en su propio proceso para adquirir, aplicar y transferir el conocimiento. A partir del desarrollo del Trabajo Integrador de Investigación se potencia el aprendizaje significativo de los contenidos tratados, en un marco constructivista que promueve el desarrollo de capacidades asociadas a competencias genéricas incluidas en el perfil del futuro ingeniero en Mecatrónica.

Referencias

1. Totter, E, Raichman, S.R., Mirasso, A.E.: Enfoque pedagógico orientado a promover el acercamiento a la investigación científica de estudiantes de matemática avanzada en carreras de Ingeniería. 7° Jornadas Nacionales de Matemática, Universidad Nacional de La Rioja, (2012)
2. Totter, E, Raichman, S.R., Mirasso, A.E.: El rol de la visualización y de los recursos tecnológicos en el aprendizaje significativo de conceptos de Matemática Avanzada. VII Congreso de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología. ISBN-978-987-28185-0-9. Pergamino, (2012)
3. Raichman, S.R., Totter, E., Mirasso, A.E.: Estrategia metodológica para el aprendizaje significativo de contenidos de matemática avanzada en el marco de formación basada en competencias. I Congreso Argentino de Ingeniería CADI 2012. ISBN-978-987-1312-46-7. Mar del Plata, (2012)

4. Plan de Estudios. Carrera de ingeniería en Mecatrónica. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Cuyo. http://www.fing.uncu.edu.ar, (2009).
5.Reyes Cortes, F.: Matlab aplicado a robótica y Mecatrónica. Editorial Alfaomega Grupo Editor, México (2012)
6. Ollero Baturone, Aníbal: Robótica. Manipuladores y robots móviles. Alfaomega (2007)
7. Programa MATLAB. MathWorks Inc. http://www.mathworks.com/products/matlab/
8. HEMERO: Herramienta Matlab/Simulink para el estudio de manipuladores y robots móviles. http://grvc.us.es/hemero/descargar.html

Implementación del Uso de las TIC en el Proceso Enseñanza – Aprendizaje de Química Orgánica

Ferrer, Liliana Elizabeth[a], Videla, María Silvina[a], Quiroga, María Cristina[a], Sebök Martín, Alejandra[a], Ohanian, Gabriela[a].

[a]Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo
Centro Universitario. Parque General San Martín. Mendoza.
lferrer@fing.uncu.edu.ar, svidela@fing.uncu.edu.ar, mcquiroga@fing.uncu.edu.ar,
ale_sebok@hotmail.com, gohanian@fing.uncu.edu.ar

Resumen. Para adaptarse a las necesidades de la sociedad actual, las instituciones de educación superior deben flexibilizarse y desarrollar vías de integración de las TIC en los procesos de formación. Las TIC pueden ser de apoyo en la enseñanza de la química debido a una serie de posibilidades que ofrecen, tales como ayudar en simulaciones de procesos y prácticas de laboratorio, modelización y representación gráfica de determinados fenómenos.

El objetivo del trabajo fue cubrir las necesidades de los alumnos dando un soporte no presencial de la cátedra con la finalidad de complementar las clases presenciales, tanto teóricas como de laboratorio, para apoyar al alumno en el proceso de aprendizaje y de su formación como profesional, además de motivar a los alumnos a aprender la química orgánica utilizando complementos virtuales e iniciar a los alumnos en la investigación científica.

Debido a que nuestra propuesta es de carácter complementario y de soporte, depende entonces en gran parte de la predisposición de los alumnos y del interés de los mismos por ampliar los conocimientos fuera del espacio del áulico.

Nuestro desafío principal fue seleccionar actividades y contenidos que resultasen atractivos y motivadores para los alumnos y lidiar con dificultades propias del cambio propuesto.

Palabras claves: TIC, química orgánica, innovación pedagógica, aula virtual, tecnología educativa.

1. Introducción

Es habitual hablar de este tiempo de cambios, propiciado por los avances de las tecnologías de la información y la comunicación, como del inicio de una nueva era, a la que suele llamarse sociedad de la información. Para adaptarse a las necesidades de la sociedad actual, las instituciones de educación superior deben flexibilizarse y desarrollar vías de integración de las tecnologías de la información y la comunicación en los procesos de formación [1]. A nivel pedagógico, son numerosos los aportes que indican que las tecnologías facilitan el aprendizaje autónomo de los alumnos, favorecen un estilo docente más flexible, personalizado y participativo y mejoran el rendimiento del alumnado con necesidades educativas especiales [2], [3], [4], [5]. Sin embargo, también advierten que, a pesar de que las TIC pudieran resultar poderosos

instrumentos de motivación es necesario utilizarlas con una sólida base metodológica; ya que su simple incorporación como sustituto de las responsabilidades del profesor produciría efectos contrarios a los buscados, es decir, una desmotivación y un fracaso de la experiencia educativa, como ha ocurrido ya [6]. En otras palabras, es necesario un planteo estratégico para aplicar las TIC en el aula con objetivos claros y un significado consciente[7].

Las posibilidades que hoy nos ofrecen las nuevas tecnologías forman parte de la cotidianeidad de los jóvenes estudiantes universitarios por lo que hoy más que nunca los docentes no podemos omitir la aplicación de las mismas, a su vez el mundo laboral al que deberán entrar los futuros graduados universitarios demanda personas capaces de desarrollarse y manejarse fluidamente con las mismas. Es por ello que la universidad como institución presencial debe saber aprovecharlas oportunidades que éstas ofrecen para ampliar el espectro de posibilidades y debe ser el espacio para ordenar y orientar los conocimientos tecnológicos que allí se adquieren [8].Las modalidades de formación apoyadas en las TIC llevan a nuevas concepciones del proceso de enseñanza-aprendizaje que acentúan la implicación activa del alumno en el proceso de aprendizaje [9]. De igual manera, el rol del personal docente también cambia en un ambiente rico en TIC. El profesor deja de ser fuente de todo conocimiento y pasa a actuar como guía de los alumnos, facilitándoles el uso de los recursos y las herramientas que necesitan para explorar y elaborar nuevos conocimientos y destrezas; pasa a actuar como gestor de recursos de aprendizaje y a acentuar su papel de orientador y mediador [10].

La incorporación de nuevos materiales, nuevos comportamientos y prácticas de enseñanza y nuevas creencias y concepciones, entre otros, son cambios que están relacionados con los procesos de innovación en cuanto a mejoras en los procesos de enseñanza-aprendizaje [11]. El aula virtual no sólo es un recurso de apoyo a la enseñanza presencial, sino también un espacio en el que el docente genera y desarrolla acciones diversas para que sus alumnos aprendan. Uno de los problemas fundamentales con que nos encontramos para la inserción curricular de los medios audiovisuales, informáticos y nuevas tecnologías se refiere directamente a la formación que el profesor tiene respecto a ellos. Ninguna tecnología despierta de manera mágica las ansias de aprender (aunque es cierto que la computadora aparece como un recurso muy motivador), ni tampoco deja fuera el papel de la institución y del educador. El educador no desaparece, se traslada en estos casos de escenario. Por ello, la mediación pedagógica alcanza a la tarea directa del educador y a los materiales que, mediados, resultan útiles para promover y acompañar el aprendizaje. La UNCuyo no es ajena a esta realidad, por lo que cuenta con un modelo pedagógico tecnológico construido sobre la base de una concepción de interactividad cognitiva, diferenciada de la mera interactividad instrumental. Está situado en la convicción de que los medios pueden favorecer la interactividad cognitiva, pero este proceso no se establece por sí mismo ni de manera instrumental. El desafío es diseñar una serie de acciones didácticas, secuenciadas y ordenadas que le permitan al alumno la reconstrucción significativa de los contenidos en la medida en que va reconstruyendo su mirada del mundo y de sí mismo. Se cuenta con un campus virtual que brinda nuevas estrategias educativas para el desarrollo de los procesos de enseñanza y de aprendizaje basadas en una concepción educativa que se optimiza a través de la utilización de las herramientas telemáticas [12].En la Facultad de Ingeniería hay

algunas cátedras que trabajan con esta plataforma educativa. La cátedra de Química Orgánica tiene como modalidad de dictado de clases el uso del pizarrón, por lo que los alumnos tienen dificultades para visualizar las moléculas orgánicas en tres dimensiones, esto implica que temas como estructura orgánica e isomería sean difíciles de incorporar para los estudiantes. Además, en encuestas realizadas, los alumnos piden tener mayor cantidad de ejercitación disponible, y mayor disponibilidad de los docentes para realizar consultas referidas a la ejercitación.

2. Objetivos

- Cubrir las necesidades de los alumnos dando un soporte no presencial de la cátedra con la finalidad de complementar las clases presenciales, tanto teóricas como de laboratorio, para apoyar al alumno en el proceso de aprendizaje y de su formación como profesional.
- Cubrir las necesidades puntuales de los alumnos vinculadas a limitaciones temporales (geográficas, de salud, trabajo en horarios rotativos), con el objeto de evitar la discontinuidad de las clases y el retraso del alumno en la recepción de los contenidos.
- Motivar a los alumnos a aprender la química orgánica utilizando complementos virtuales.
- Iniciar a los alumnos en la investigación científica.

3. Desarrollo

Hasta la fecha se ha abierto un espacio virtual en la plataforma de la Universidad Nacional de Cuyo, el cual se ha utilizado durante el cursado de los alumnos.

Cuando se presentó a los alumnos la modalidad de trabajo de la cátedra, éstos se mostraron muy interesados, al informarles que, además de las clases teóricas, prácticas de laboratorio, clases de consulta de manera presencial, se dispondría de una serie de recursos para complementar el proceso de aprendizaje (Figura 1).

Fig. 1. Captura de pantalla de la entrada al espacio virtual de química orgánica.

Se han utilizado modelos moleculares para la explicación de temas como isomería y estructuras, la visualización en 3D permite una clara comprensión de la estructura tridimensional de las moléculas y de muchas propiedades físicas y químicas derivadas de ellas.

Se han usado videos como soporte para las explicaciones teóricas.

Se han utilizado aplicaciones informáticas varias que permiten la visualización de moléculas en su estructura y comportamiento, con proyección en diferentes formatos y dimensiones y la visualización de los mecanismos de reacción (Figura 2)

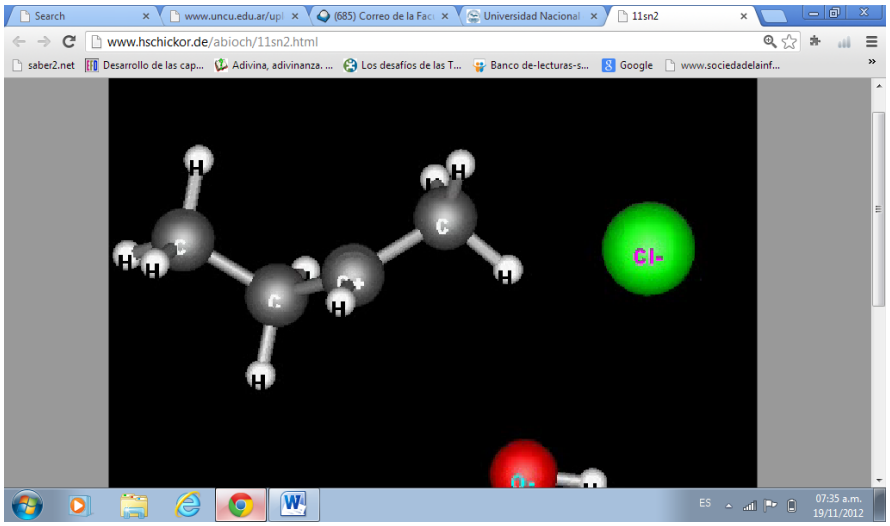


Fig. 2. Captura de pantalla de animación que muestra el mecanismo de reacción de una sustitución nucleofílica alifática

En la plataforma virtual se puede consultar los horarios de las consultas presenciales, fechas de parciales, programa curricular, cronograma de trabajo, integrantes de la cátedra y cualquier otra información relevante acerca del cursado de la cátedra.

Se grabó un video didáctico del práctico de laboratorio de Acidez y basicidad, el cual fue colocado en el espacio virtual y está disponible para su consulta, tanto para antes de los exámenes finales, como antes de realizar el práctico, lo cual permite que los alumnos asistan a realizar el trabajo práctico con una idea de lo que van a realizar.

Se utilizó como repositorio de apuntes de clase y ejercicios, ejercicios complementarios y ejercitaciones para los parciales.

Creación de una WebQuest sobre el tema *detergentes*, entre los objetivos de una WebQuest se encuentran que el alumno elabore su propio conocimiento al llevar a cabo la actividad, que el alumno navegue por la red con una tarea puntualmente definida para que así emplee su tiempo de manera eficaz, usando y reconstruyendo la información. La estructura de la WebQuest está definida de la siguiente manera:

- *Introducción*: establece el marco de trabajo.
- *Tareas*: proporciona las tareas a realizar
- *Proceso*: describe los pasos a seguir en las tareas
- *Recursos*: proporciona enlaces con información relevante
- *Evaluación*: explica cómo se evaluarán las tareas
- *Conclusión*: recuerda lo aprendido y anima al proceso de aprendizaje

Utilización del espacio virtual como medio para información permanente a los alumnos de novedades como cambio de fechas, recordatorio de parciales, trabajos prácticos, etc.

Utilización de formularios on line para que los alumnos se inscribieran a los trabajos prácticos de laboratorio en la fecha más conveniente para consultas a los docentes.

Uso del correo electrónico propio de la plataforma (Fig. 3)

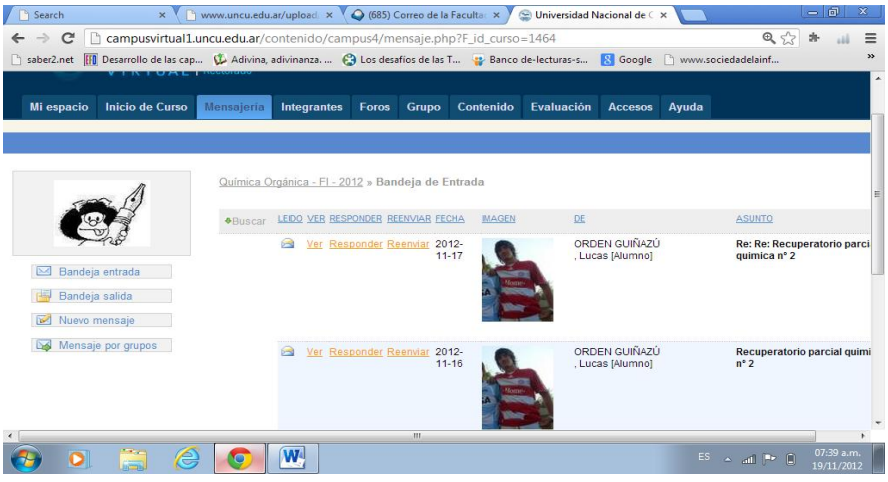


Fig. 3. Captura de pantalla de la pestaña mensajería

Uso del powerpoint y prezy como un apoyo a las tradicionales clases de pizarrón.

4. Resultados

A fin de evaluar la percepción de los estudiantes con respecto a: - si le resultaron útiles los aportes realizados por el aula virtual al curso presencial y - cuáles son los principales factores que condicionan el uso del aula virtual, se elaboró una encuesta que se entregó a los alumnos una vez que rindieron el examen final. La encuesta fue anónima y voluntaria, como todas las demás actividades presentadas en el aula virtual. Se analizó también el rendimiento de los estudiantes en los exámenes parciales del curso 2012. Estos datos forman parte de la documentación que todos los años maneja la cátedra de química orgánica.

El número de estudiantes que respondió a la encuesta fue 63, lo que representa el 52 % de los alumnos cursantes durante el ciclo lectivo 2012. De acuerdo a las respuestas obtenidas se puede decir que:

a) El 10% de los encuestados opinó que el aporte que realizó el aula virtual fue nulo.

b) El 75% opinó que el aula virtual fue un apoyo para el cursado presencial.

c) El 15% opinó que el uso del aula virtual fue intrascendente. (Fig. 4)

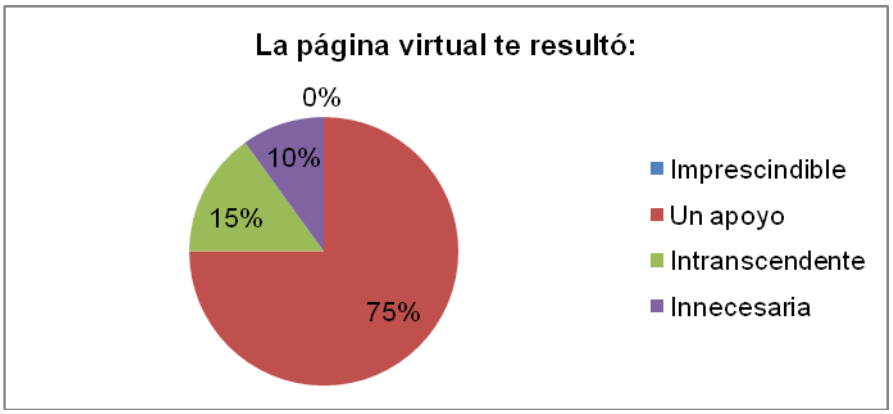


Fig. 4: Representación porcentual sobre la valoración de la página virtual por parte de los estudiantes

La causa principal del poco uso del aula virtual para los alumnos fue el limitado tiempo de los estudiantes que cursan las otras materias de ese semestre, además del hecho de que no haya sido obligatorio su uso.

No se encontraron grandes diferencias entre el porcentaje de alumnos aprobados en los exámenes parciales del ciclo 2011 (sin uso de plataforma virtual) y del ciclo 2012. (Figura5)

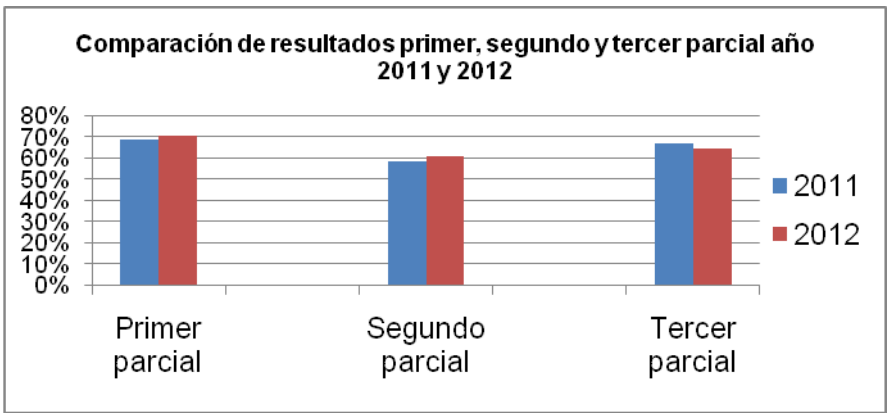


Fig. 5. Comparación de resultados de parciales año 2011 y 2012

Se analizó la participación activa en el curso virtual, observando que el 70% de los alumnos que hicieron al menos 5 entradas en el aula virtual aprobaron los tres exámenes parciales, por lo que podemos suponer que su participación generó un efecto beneficioso. También se observó que el 60% de los estudiantes que no participaron del aula virtual, no aprobaron los tres exámenes parciales. (Fig. 6)

Fig. 6: Resultados de los parciales año 2012 para quienes participaron y no participaron de las actividades virtuales.

5. Conclusiones

Las TIC son actualmente herramientas indispensables en los procesos de enseñanza - aprendizaje de la química, porque permiten desarrollar actividades que eran imposibles hasta hace pocos años.

Destacamos como fortaleza la predisposición por parte de los docentes y de los alumnos cursantes, sobre todo la disponibilidad para trabajar en equipo de manera solidaria y colaborativa.

Algunas debilidades encontradas son: debido a que nuestra propuesta es de carácter complementario y de soporte, depende entonces en gran parte de la predisposición de los alumnos y del interés de los mismos por ampliar los conocimientos fuera del espacio áulico.

Para los alumnos que cursen el año siguiente, se incorporará una evaluación on line para algunos temas que reemplazarán a las tradicionales evaluaciones parciales, para hacer un uso más obligatorio del aula virtual.

La propuesta contribuiría a apoyar la docencia presencial, pero la escasa cantidad de tiempo del alumnado que cursa todas las materias, sería el principal obstáculo para su aprovechamiento.

Se hace necesario seguir trabajando en la detección de fortalezas y debilidades del proceso de enseñanza – aprendizaje bajo esta modalidad de soporte a la presencialidad, como en la capacitación docente para mejorar el desempeño de los profesores como tutores.

No debemos olvidar que nuestra aula virtual es optativa, por lo tanto queda a criterio de los estudiantes participar o no de ella, sacrificando tiempo que dedican a otras materias, ya que, como expresaron en la encuesta, la falta de tiempo es un factor importante para decidir o no su uso. Estamos de acuerdo con [13] en que lo importante es empezar a hacer pruebas educativas con recursos TIC, a adquirir experiencia, y, sobre todo, a hacer públicas nuestras experiencias para que sean de utilidad y de ánimo para otros colegas.

Dado que se ha realizado esta experiencia en un solo ciclo lectivo de la materia Química Orgánica, no se pretendió en este trabajo analizar estadísticamente los resultados, sino simplemente percibir si el aula virtual sirve como soporte no presencial para el cursado.

En años siguientes se pretende seguir usando el aula virtual como apoyo a la presencialidad, para lo cual se irán incorporando recursos didácticos para lograr cumplir los objetivos.

6. Referencias

1. Salinas, J. (2004). Innovación docente y uso de las TICs en la enseñanza universitaria. Revista Universidad y Sociedad del Conocimiento. 1(1): 01-16.
2. MacClintock, R. (2002) Prácticas pedagógicas emergentes, Cuadernos de Pedagogía, 290, 74-77.
3. Chiecher, A.; D. Donolo y M. C. Rinaudo, Percepciones del aprendizaje en contextos presenciales y virtuales. La perspectiva de alumnos universitarios. RED, Revista de Educación a Distancia, 13. En línea (2005) http://www.um.es/ead/red/13/ Consultado Agosto (2011) .
4. Alonso, F., G. López, D. Manrique y J. M. Viñes. (2008). Learning objects, learning objectives and learning design, Innovations in Education and Teaching International 45 (4): 389–400
5. Boza, A.; R. Tirado y M. D.Guzmán-Franco, Creencias del profesorado sobre el significado de la tecnología en la enseñanza: influencia para su inserción en los centros docentes andaluces, RELIEVE, 16 (1), 1-24. En línea (2010)

http://www.uv.es/RELIEVE/v16n1 /RELIEVEv16n1_5.htm Consultado en Agosto 2011.

6. Turpo, O. W., Análisis y perspectiva de la modalidad educativa blendedlearning en el sistema universitario iberoamericano. En línea (2008) http://www.scribd.com/doc/2982384/Blendedlearning-en-el-sistema-universitario-iberoamericano. Consultado en agosto 2011.

7. Lamas, M, Massié, A, Quero, E. (2010) Implementación de un aula virtual bajo la modalidad mixta: El Caso de Química Agrícola en la Universidad Nacional de Salta. Formación Universitaria 3 (4)

8. Cabrera, S, D´Angelo, E Química Orgánica 2.0. En línea http://www.puntodeencuentro.utn.edu.ar/wp-content/uploads/TESET_p377a398. Consultado en Agosto 2011

9. Salinas, J. (1997). "Nuevos ambientes de aprendizaje para una sociedad de la información". Revista Pensamiento Educativo [artículo en línea] .20: 81-104. http://www.uib.es/depart/gte/ambientes.html Consultado en Agosto 2011

10. Salinas, J. (1998). "Redes y desarrollo profesional del docente: el foro de trabajo colaborativo". Profesorado [artículo en línea]. 2 (1). Universidad de Granada. http://www.uib.es/depart/gte/docente.htm. Consultado en Agosto 2011

11. Fullan, M.,Stiegelbauer, S) (1991). *The new meaning of educational change*. Nueva York: TeachersCollegePress [ed. esp.: *El cambio educativo, guía de planeación para maestros.*México: Trillas, 2000.

12. UNCuyo. Campus virtual. Modelo pedagógico tecnológico. http://www.uncuvirtual.uncu.edu.ar/paginas/index/estrategias-pedagogicas-y-organizacionales. Consultado en Agosto 2011

13. Campanario, J.M. Metalibros: La construcción colectiva de un recurso complementario y alternativo a los libros de texto tradicionales basado en el uso de Internet, Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, 2, 2, Artículo 5, 2003. http://www.saum.uvigo.es/reec. Consultado en Agosto 2011.

Hacia la Elaboración de una Base de Casos de Análisis en el contexto del Diseño Instruccional. Una perspectiva desde la Construcción de Modelos en Carreras de Ingeniería.

Alejandro Armando Hossian
1: Departamento de Ciencias Básicas Facultad Regional Neuquén Universidad Tecnológica Nacional Plaza Huincul Pcia de Neuquén, e-mail: alejandrohossian@yahoo.com.ar
Lilian Cejas
2: Departamento de Ciencias Básicas Facultad Regional Neuquén Universidad Tecnológica Nacional Plaza Huincul Pcia de Neuquén, e-mail: lcejas@frn.utn.edu.ar
Guido Torti Moraga
3: Departamento de Ciencias Básicas Facultad Regional Neuquén Universidad Tecnológica Nacional Plaza Huincul Pcia de Neuquén, e-mail: guido_torti@yahoo.com.ar

Resumen. El presente artículo se focaliza en los avances registrados en el proyecto de investigación que se lleva a cabo en el seno del departamento de Ciencias Básicas de la Facultad Regional Neuquén de la Universidad Tecnológica Nacional. Cabe destacar, que la estrategia central de este proyecto tiene como eje potenciar las capacidades intelectuales de los estudiantes en las fases iniciales de la carrera de ingeniería, poniendo especial énfasis en un enfoque orientado hacia la construcción de modelos matemáticos que sean capaces de modelar situaciones reales propias de la futura actividad profesional del ingeniero. Se toma como punto de partida la implementación progresiva y gradual, que se está realizando, de un modelo de instrucción que fomente el desarrollo cognitivo de los educandos y promueva el análisis crítico y reflexivo de situaciones problemáticas pertenecientes a asignaturas del ciclo básico de las carreras de ingeniería. El proceso de implementación del mencionado modelo de instrucción, se focaliza en fortalecer la capacidad de análisis del educando a los efectos de poder afrontar en mejores condiciones las asignaturas específicas correspondientes al ciclo superior de la carrera; así como también contribuir a incrementar su nivel de motivación y de desarrollo analítico para optimizar la actividad de diseño.

Palabras Clave: Modelo de Instrucción, Educando, Base de Casos, Construcción de Modelos, Variables Educativas.

1 Introducción

La idea central de este artículo de investigación se sustenta en la tesis de maestría en el campo de la Ingeniería de Software desarrollada y defendida por el autor en la Universidad Politécnica de Madrid: *"Sistema de Asistencia para la Selección de Estrategias Instruccionales"*, cuya principal temática consistió en la construcción de un sistema experto que recomienda estrategias y actividades de enseñanza en función de variables educativas tales como: características del estudiante, tipo de contenido a enseñar, objetivos y ambiente de aprendizaje entre otras [1]. Cabe señalar en este

sentido, que el desarrollo de la propuesta en la que se focaliza este trabajo forma parte de un proyecto de investigación y mejora con asentamiento en el departamento de Ciencias Básicas de la Facultad Regional Neuquén de la Universidad Tecnológica Nacional y cuyo eje central consiste en el mejoramiento de la enseñanza de los contenidos temáticos pertenecientes al ciclo básico de las carreras de ingeniería.

En esta línea de análisis, se toma como punto de partida del presente proyecto la hipótesis de que el estudiante del ciclo básico de la carrera de ingeniería, atraviesa por una serie de etapas hasta adquirir la capacidad de abstracción necesaria que le permita alcanzar el grado de madurez suficiente para confeccionar y resolver un modelo simplificado de la realidad asociada con un determinado problema que se le presenta.

El hecho de que el estudiante alcance este grado de madurez en la construcción y resolución de modelos asociados a una situación problemática de la realidad, constituye uno de los hitos fundamentales del proyecto en lo que respecta a la consecución de objetivos educacionales, entendiendo, en este aspecto, que la estructura cognitiva[1] del estudiante está en condiciones de abordar casos de estudio correspondientes a los años superiores. En este sentido, es recomendable que el estudiante de las ciencias básicas sea receptor de una instrucción que sea acorde a la fase de desarrollo cognitivo en la que este se encuentra. Esto le permitirá afianzarse y evolucionar hacia el próximo nivel o fase de su desarrollo cognitivo [9].

En caso de que sea posible conseguir esta evolución en el educando, esto hará que su aprendizaje sea realmente *"significativo"* [11] y, por lo tanto, le permita posicionarse desde otro lugar en la carrera, ganar confianza en sí mismo y resignificar los contenidos de las ciencias básicas como herramientas sustanciales dentro de su proceso de formación. En otras palabras, cuando el educando recibe una instrucción cuyas estrategias didácticas son adecuadas para su etapa de desarrollo y, por consiguiente, le permiten capturar los aspectos relevantes del conocimiento que debe asimilar; entonces este se encuentra identificado en cuanto a sus necesidades cognitivas, percibe que tiene sentido lo que aprende, que se afianza en sus conocimientos y que está en condiciones de avanzar hacia fases de mayor exigencia intelectual.

Por el contrario, cuando este hecho no tiene lugar y la instrucción que recibe el estudiante no se halla encuadrada en su fase de desarrollo, entonces este se frustra y cae en el desánimo, produciéndose el estancamiento en sus estudios. Esto sucede en los casos en que la propuesta de instrucción supera su desarrollo cognitivo para esa instancia.

A modo de cierre de esta sección introductoria, cabe destacar que llevar a cabo de manera aceptable la tarea de adecuar la instrucción al estadio cognitivo de, al menos, la mayoría de los educandos que la reciben, no resulta nada sencillo y, en opinión de los autores, constituye uno de los mayores desafíos a los que nos vemos sometidos continuamente los docentes universitarios, especialmente en la mayoría de las asignaturas pertenecientes al ciclo básico de las carreras de ingeniería.

[1] En el presente trabajo se entiende por *Estructura Cognitiva* como la red semántica de conceptos y sus relaciones existentes en la mente del educando, que será tanto más flexible cuanto más asimilable sea la experiencia educativa por la que este debe atravesar.

2 Estado de la Cuestión

En esta sección se presenta una breve exposición teórica acerca de los aspectos principales referidos a la *"instrucción"*, así como también los aspectos que los autores consideran de mayor relieve en el campo del *"diseño de la instrucción"* y de las *"teorías de la instrucción"*, las cuales constituyen la base teórica de la formulación del modelo de instrucción que se expone.

2.1 Concepto de Instrucción

La instrucción consiste en la creación intencional de condiciones en el ambiente de aprendizaje a los efectos de facilitar la consecución de determinados objetivos educacionales [2]. Este hecho tiene como implicancia la interacción del estudiante con las experiencias de aprendizaje provistas por el entorno instruccional, tales como materiales de respaldo, herramientas y personas en el marco del ambiente con la idea de facilitar el proceso de aprendizaje [3].

Desde una perspectiva didáctica, cabe afirmar que la instrucción consiste en un conjunto de actividades de aprendizaje, las cuales se diseñan para facilitarle al educando la obtención de las correspondientes metas curriculares [4]. Estas actividades pueden ser definidas como todo lo que se espera que hagan los educandos con el objetivo de aprender, practicar, aplicar, evaluar o de cualquier otro modo responder al contenido curricular, incluyendo lectura y escritura entre otras cosas.

Por otra parte, las actividades de aprendizaje se articulan en determinadas estrategias de instrucción [1], a partir de las cuales es posible hacer operativas dichas actividades. Estas estrategias consisten en métodos educativos (técnicas didácticas) que ofrecen una guía explícita sobre la forma más adecuada de estimular un mejor desarrollo y aprendizaje.

2.2 Diseño de la Instrucción

El diseño de la instrucción consiste en un conjunto de procedimientos sistemáticos para el desarrollo de ambientes educativos, entendiendo que es aconsejable que dicho diseño esté sustentado en principios teóricos que justifiquen la razón de los procedimientos y estrategias empleadas.

Con esta base conceptual, es conducente hacer mención a la siguiente frase: "El diseño y desarrollo instruccional deben basarse en alguna teoría de aprendizaje y/o conocimiento, siendo posible el diseño efectivo solo si la persona o equipo que lo desarrolla ha efectuado una meditada toma de conciencia de las bases teóricas subyacentes en el diseño" [5].

Desde este punto de vista, se puede afirmar que un diseño instruccional efectivo emerge de la aplicación deliberada de alguna teoría particular de aprendizaje (conductista, constructivista, etc). Conforme a esta idea, los métodos (estrategias) de instrucción deben incorporar una teoría de aprendizaje y, más específicamente, reflejar una epistemología [6].

2.3 Teorías de la Instrucción

De acuerdo a los conceptos presentados en la subsección anterior, los fundamentos teóricos que sustentan el diseño instruccional pueden abordarse desde dos perspectivas diferentes, *"descriptiva"* o *"prescriptiva"* [9], a saber:

- Perspectiva Descriptiva: estas teorías constituyen un conjunto de descripciones que son capaces de describir los resultados que se observan en virtud de la aplicación de un modelo instruccional dado y bajo ciertas condiciones del ambiente de aprendizaje en el cuál se desenvuelve el educando.

- Perspectiva Prescriptiva: estas teorías constituyen un conjunto de normas o prescripciones que proporcionan información acerca de cuál es el modelo instruccional adecuado para poder conseguir los resultados deseados bajo condiciones dadas del ambiente de aprendizaje. En otros términos, cabe afirmar que la teoría que fundamenta el diseño instruccional presenta un conjunto de modelos que recomiendan las estrategias instruccionales más apropiadas ante ciertas características del entorno de aprendizaje en el cual se desenvuelve el educando. A estas teorías se las llama "Teorías del Diseño Instruccional" o "Teorías de Diseño Educativo" [7].

A modo de resumen acerca de los conceptos expuestos, es posible afirmar que las *"Teorías Descriptivas"* describen los efectos que se producen cuando tiene lugar una determinada clase de sucesos causales, o que detallan la secuencia en la que se produce un determinado tipo de sucesos. Al respecto, pueden ser de utilidad para predecir (dado un suceso causal, predecir qué efecto tendrá, o, dado un suceso en un proceso, predecir cuál es el efecto que se va a producir a continuación) o para explicar (dado un efecto que ha tenido lugar, explica que es lo que lo debe haber causado o la ha precedido)" [8].

En este sentido, se puede citar por caso la teoría del tratamiento de la información como un tipo de teoría descriptiva, dado que la información nueva ingresa en la memoria inmediata antes de entrar en la memoria a largo plazo, pero está indicando que es lo que se debe hacer para facilitar el proceso de aprendizaje. Por su parte, las "Teorías Prescriptivas" no se orientan hacia la descripción, sino que son de carácter prescriptivo; es decir, que están orientadas hacia la práctica o hacia un objetivo y proporcionan orientación acerca de los métodos más apropiados para obtener un objetivo determinado [9].

Por ejemplo, supóngase que se pretende fomentar la retención a largo plazo de algún tipo de información nueva que va a tener lugar (un objetivo educativo), entonces se debería ayudar al educando a que relacione esa información con otro tipo de conocimientos pertinentes que haya recibido con anterioridad (un método educativo).

2.4 Las Teorías Prescriptivas en el Diseño de la Instrucción

Tal como se ha puesto de manifiesto en los epígrafes anteriores, una teoría de diseño educativo ofrece una guía explícita sobre la mejor forma de ayudar a que la gente aprenda y se desarrolle. Así es que por ejemplo, cabe citar la teoría de diseño educativo denominada "Teoría Uno" [7], la cual proporciona una orientación acerca de lo que debe incluir un proyecto educativo para fomentar el aprendizaje cognitivo. Dicha enseñanza debería proporcionar los siguientes elementos:

- ✓ Información clara: Descripción y ejemplos de los objetivos, el conocimiento necesario y el rendimiento que se espera.

- ✓ Práctica reflexiva: Oportunidad de que los alumnos participen de forma activa y reflexiva, con independencia de lo que se está aprendiendo, a efectuar operaciones elementales (suma, resta, multiplicación y división entre otras), a resolver problemas sintácticos o a escribir una redacción.

- ✓ Respuesta informativa: Un asesoramiento claro y detallado acerca del rendimiento de los alumnos les ayudará a avanzar de manera más eficiente.

- ✓ Una fuerte motivación, ya sea intrínseca o extrínseca: Actividades que recompensen por sí mismas, ya sea porque son muy interesantes e inciten a la participación o porque se satisfagan otros logros que sean de interés para el educando.

En esto consiste una teoría de diseño educativo; y si bien cada uno de estos puntos es posible explorarlos con mayor grado de detalle en [7], en esta pequeña exposición se ofrecen los lineamientos básicos que presenta una teoría de diseño educativo.

3 Descripción del Problema

El elevado índice de deserción que se produce en los años correspondientes al ciclo básico de las carreras de ingeniería constituye el disparador esencial de la investigación que se aborda en el presente artículo. En este sentido, si bien es cierto que este fenómeno de deserción se caracteriza por su *"policausalidad"*, habida cuenta de la presencia de razones tales como la estructura familiar del estudiante, su alimentación y su base de conocimientos previos entre otras causas; la extensa práctica docente alimentada por una nutrida experiencia áulica en el campo de las ciencias básicas en carreras de ingeniería por parte de los autores, les ha permitido establecer una primera hipótesis sobre la cual se basa una de las principales causas de este fenómeno.

Esta hipótesis se focaliza en las características de la instrucción que recibe el estudiante en los años de estudio que comprende el ciclo básico en las carreras de ingeniería. En tal sentido, es frecuente que en esta instancia el educando no presente el desarrollo cognitivo acorde a la exigencia intelectual que a la que debe hacer frente,

originando que en numerosas circunstancias este se vea envuelto en un estado de desánimo y frustración.

Es así que en el marco del desarrollo de este proyecto de investigación, el seguimiento sostenido llevado a cabo en ciertas asignaturas consideradas centrales del ciclo básico de la carrera de ingeniería tales como Análisis Matemático I, Álgebra, Física I y Química General entre otras, ha demostrado que uno de los patrones que se ponen de manifiesto en forma frecuente en el proceso de aprendizaje de los estudiantes, consiste en las dificultades que estos presentan para alcanzar los niveles de abstracción que se le exigen en las fases iniciales de sus estudios.

En un plano más específico de la discusión y siempre en un contexto de reflexión acerca de la práctica docente, sobre todo teniendo en cuenta la fase de aprendizaje en la que se encuentra el estudiante, sucede que en gran parte de las situaciones problemáticas que se le presentan a los alumnos del ciclo básico, en realidad se les está demandando que *"Construyan un Modelo"* (por lo general matemático y con un importante número de ecuaciones) que permita modelar una determinada situación de la realidad (podemos citar por caso, la caída libre de un cuerpo o el análisis dinámico de un sistema vinculado en movimiento).

Es necesario concientizar al estudiante de ingeniería ya en las etapas tempranas de su formación, que la práctica de la Ingeniería requiere el uso continuo de modelos matemáticos para representar sistemas reales, es decir que se hace el reemplazo en forma conceptual de un sistema de dominio real formado por objetos materiales por otro formado por objetos de otro dominio, este formado por entes matemáticos, es decir que no se trabaja en la realidad, sino con una representación de la misma [13].

El aprendizaje de los procesos que permiten desarrollar esos modelos matemáticos, requiere interpretar eficientemente que son estos modelos y cuáles son las estrategias que permiten construirlos, transformarlos y usarlos exitosamente. Esta es una competencia importante que debe ser aprendida y entrenada en la formación universitaria de las carreras de ingeniería.

Si bien existe una coincidencia general en la comunidad universitaria sobre la gran trascendencia de la actividad de *"Construcción de Modelos"* [10] en la formación del futuro ingeniero, no menos cierto es que se ha comprobado que esta construcción requiere un importante nivel de abstracción para los estudiantes en esta etapa de su formación.

4 Análisis de Caso Complejo

En la presente sección se aborda un caso de análisis desde el Modelo de Instrucción que se propone y que ya ha sido presentado en otros ámbitos [14] y [15], entre otros; en los cuales los casos de estudio analizados estaban referidos a situaciones problemáticas más estándar que la que se presenta en esta sección.

El problema que se estudia en este trabajo se circunscribe al campo de cinemática de la partícula en dos dimensiones (tiro parabólico), suponiendo que el estudiante ya ha resuelto los casos corrientes; en este sentido, se hace referencia a los casos en los cuales son conocidas las variables habituales tales como velocidad y ángulo de disparo. Por consiguiente, se considera apropiado el abordaje de problemas donde se

le requiere al estudiante que realice razonamientos en orden inverso, a los efectos de determinar valores de estas variables en base a determinadas condiciones que se establecen. Lo que se conoce habitualmente, para ciertos problemas pertenecientes a asignaturas del ciclo superior, como *"condiciones de borde o de contorno"*.

Cabe destacar, que el análisis de esta clase de casos desde el modelo de instrucción de cinco fases que se propone, le permite al equipo de investigación profundizar en el desarrollo de la quinta fase de este modelo de instrucción denominada *"Elaboración de una Base de Casos de Análisis"*. Es decir, que el análisis de situaciones problemáticas de acuerdo a la perspectiva que se propone en esta sección y las siguientes, se espera que perfeccione al estudiante en la generación de nuevos casos de estudio a partir del propuesto. Este hecho permite enriquecer la base de casos con situaciones de problemas de ingeniería con mayor profundidad conceptual.

4.1 Desarrollo del Modelo de Instrucción

El modelo de diseño de instrucción que se propone en este apartado consta de cinco fases donde el estudiante comienza con la incorporación de aquellos conceptos que forman la base del dominio del cual trata la situación problemática que se presenta, luego elabora las asociaciones entre estos conceptos [11], para después pasar a la construcción del modelo matemático del problema y su correspondiente resolución.

Se estima conveniente resaltar la hipótesis señalada en la sección de introducción, la cual reza*: "el estudiante de ingeniería que comienza a dar sus primeros pasos en la carrera, atraviesa por una serie de etapas hasta adquirir esa capacidad de abstracción que le permita alcanzar la pericia necesaria para confeccionar y resolver un modelo simplificado de la realidad asociada con un determinado problema que se le presenta"*; habida cuenta que con base en este importante supuesto, se sientan las bases del presente modelo de instrucción el cuál consta de cinco fases, a saber:

Fase I: *Asimilación de los conceptos base del domino del problema a la estructura cognitiva del educando*

En esta fase se procura que el estudiante asimile aquellos conceptos más relevantes en relación con el dominio que se le presenta. A partir de la incorporación de este cuerpo de conocimientos básicos, el educando podrá construir bloques conceptuales de mayor complejidad, para luego llevar a cabo asociaciones significativas entre estos bloques. Dado que en esta fase, los procesos cognitivos que se presentan con mayor frecuencia son la adquisición de conocimientos y la comprensión, las estrategias de enseñanza deben estar orientadas a afianzar e integrar estos bloques conceptuales.

Se citan las siguientes estrategias de instrucción para esta fase: 1) formulación de preguntas con una fluida retroalimentación acerca de las respuestas por parte del educando y 2) estrategias tendientes a promover la asociación de los conocimientos previos que posee el educando en el dominio con los conceptos que están presentes en el problema que se plantea. Es importante que la instrucción que se provee esté dotada de un adecuado grado de interactividad y así adaptarla en función del estadio cognitivo en el que se encuentra el educando.

Supongamos que se presenta un caso de estudio real perteneciente al campo de la cinemática bidimensional de la partícula. El mismo hace referencia a un tiro

parabólico que se ilustra en la figura 1, y que a partir del mismo observemos cuáles son los conocimientos que inmediatamente pretendemos que se le venga a la mente a un alumno avanzado de un curso de Física I.

Cabe consignar, que a partir del conocimiento de la posición P_1 (x_1, y_1) que debe alcanzar el objeto para un determinado instante t_1, es requisito optimizar el disparo tratando de obtener la mínima velocidad inicial (V_{0MIN}) con que debe ser lanzado el cuerpo y bajo que ángulo Θ de disparo.

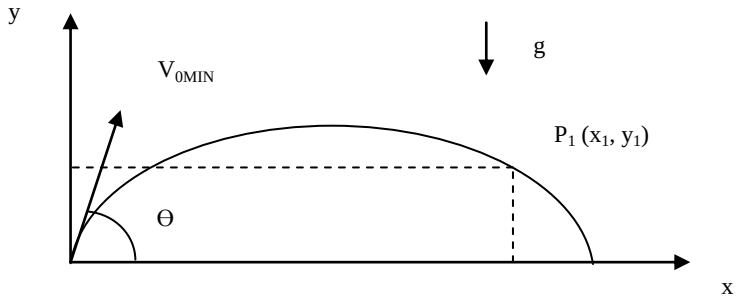


Fig. 1. Esquema de tiro parabólico de un cuerpo que debe alcanzar la posición P_1 (x_1, y_1) en el instante t_1 y con una V_{0MIN}

Los conceptos básicos que se presentan en la estructura cognitiva del estudiante en esta instancia son: posición, velocidad, aceleración, ángulo de inclinación, trayectoria parabólica y el concepto de composición de movimientos. En este sentido, un alumno avanzado es probable que asocie esta composición con un movimiento rectilíneo uniforme (MRU) según el eje x compuesto con un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado (con aceleración g) según el eje y (MRUV).

El estudiante identifica estos conceptos y pasa a la siguiente fase del proceso.

Fase II: *Construcción de un modelo conceptual del caso de análisis en la estructura cognitiva del educando*

En esta fase el estudiante construye las asociaciones entre los conceptos identificados en la fase anterior, e incorpora otros conceptos de utilidad. Los procesos cognitivos asociados a esta fase están relacionados fundamentalmente con la aplicación de leyes y teoremas; y el grado de profundidad con que el educando conozca los fundamentos conceptuales de estos, fortalece el proceso de asociación y le permite avanzar a la próxima fase del modelo. Las estrategias aplicadas se basaron en la observación y la reflexión y consistieron en: 1) articulación de los contenidos, 2) procesamiento de la información teórica y 3) articulación las diferentes ideas emergentes del proceso de análisis del problema. A los efectos de hacer operativas estas estrategias, se realizaron actividades tales como experiencias en laboratorio y el uso de transparencias para un desarrollo más ágil de la instrucción.

Para el caso de estudio que se plantea, en la estructura cognitiva del estudiante se va concibiendo la idea de confeccionar un *"modelo conceptual"* del caso real que esté conformado por las respectivas funciones matemáticas de posición, velocidad y

aceleración en función del tiempo para cada eje x e y. Asimismo, también se hacen presentes los conocimientos de vectores y sistema de referencia para que estas ecuaciones reflejen el caso real. Esta idea se ilustra en figura 2.

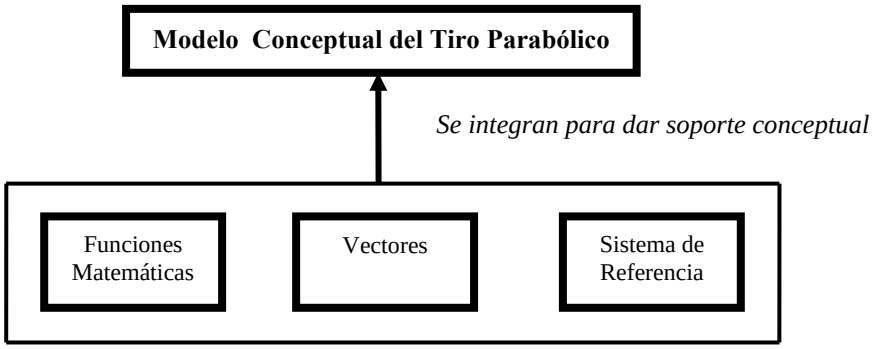


Fig. 2. Modelo conceptual en la estructura cognitiva de educando para la confección del Modelo Matemático del Tiro Parabólico

Fase III: *Confección de un modelo matemático representativo del caso real*

En esta fase el educando se avoca a la confección de un modelo matemático que intente representar de la manera más fidedigna posible la realidad expuesta por la caso de estudio. Los procesos cognitivos asociados a esta fase están relacionados con sintetizar e integrar los elementos conceptos identificados en las fases anteriores. Las estrategias aplicadas se basaron en la observación y la reflexión y consistieron en: 1) estimular la reflexión, 2) estimular la inferencia y 3) asociación de conceptos. Estas estrategias promueven un proceso de construcción del conocimiento dentro la estructura cognitiva del estudiante, permitiéndole el acceso a la próxima fase del modelo de instrucción. Para la implementación de estas estrategias, se realizaron actividades tales como experiencias más avanzadas en laboratorio y la simulación de mecanismos en gabinetes de informática con la utilización del software apropiado.

Continuando con el caso de estudio, el estudiante exige su capacidad de abstracción por medio de un proceso mental para sintetizar e integrar todos los conceptos obtenidos en las fases II y III (posición, velocidad, aceleración, ángulo de inclinación, trayectoria parabólica, composición de movimientos, funciones matemáticas, vectores y sistema de referencia, entre otros que pueden agregarse). De esta manera, el estudiante confecciona el siguiente modelo matemático que refleja los tipos de movimientos según ambos ejes (MRU para el eje x y MRUV para el eje y).

Eje X (MRU)

$$\begin{cases} X = \mathrm{V}_0 \cos\theta t & (1) \\ V_x = \mathrm{V}_0 \cos\theta & (2) \end{cases}$$

Eje Y (MRUV)

$$\begin{cases} Y = \mathrm{V}_0 \sin\theta t - \frac{1}{2} g t^2 & (4) \\ V_y = \mathrm{V}_0 \sin\theta t & (5) \end{cases}$$

$$A_x = 0 \qquad (3) \qquad\qquad A_y = -g \qquad (6)$$

El estudiante asume que las posiciones iniciales según x e y son nulas y el signo negativo en la ecuación (4) se debe a que el sentido del vector g (que siempre apunta hacia el centro de la superficie terrestre) es contrario al sentido positivo adoptado para el eje y. Cabe destacar la significación de este hecho y que el mismo sea advertido por el alumno, dado que el mismo refleja la interacción entre el modelo conceptual planteado en la Fase II y el modelo matemático construido en la Fase III.

Asimismo, las ecuaciones (1), (2), (3), (4), (5) y (6) conforman el modelo matemático de la realidad presentada para el caso planteado, a la vez que constituyen el núcleo central del proceso de instrucción.

Fase IV: *Resolución del modelo matemático y análisis de los resultados obtenidos*

En esta fase el estudiante resuelve el modelo matemático planteado en la fase III. Los procesos cognitivos asociados a esta fase consisten en:

- Resolución del modelo matemático por medio de la manipulación de las variables que conforman dicho modelo y en función de la o las consignas establecidas en el problema.
- Análisis crítico de los resultados obtenidos como consecuencia del proceso anterior.

En esta fase del modelo de instrucción, se asume que el educando desarrolla modelos mentales de la situación que analiza con una mayor flexibilidad cognitiva respecto a las fases anteriores. Por consiguiente, se adoptan estrategias que estimulen en grado sumo a la inferencia y a la reflexión y en las cuáles se contemplen actividades que pongan especial énfasis en el empleo de técnicas de comunicación y estimulen formas de pensamiento cooperativo y el trabajo grupal. Para hacer operativas estas estrategias se usa software de matemática para agilizar los cálculos y construir las funciones que se necesiten, posibilitando de esta manera, que el estudiante se focalice en el análisis de los resultados.

Continuando con el caso de estudio, el estudiante comienza sintetizando el primer proceso cognitivo correspondiente a la resolución del modelo matemático y asume que para el instante de tiempo t_1 la posición del móvil es la de P_1 (x_1, y_1); haciendo valer este hecho en las funciones matemáticas correspondientes a las ecuaciones (1) y (4) y llamando D a x_1 y H a y_1, se obtienen las ecuaciones (7) y (8):

$$\mathrm{D} = \mathrm{V}_0 \cos\theta 1 \ (7) \qquad\qquad \mathrm{H} = \mathrm{V}_0 \sin\theta 1 - \frac{1}{2} g (t1)^2 \quad (8)$$

Como no es menester conocer el tiempo t_1 que tarda la piedra en alcanzar el punto P_1 y despejando t de (7) y colocándolo en (8) se obtiene la expresión (9):

$$\mathrm{H} = \mathrm{D}\,\mathrm{tg}\theta - \frac{gD^2}{2V_0^2(\cos\theta)^2} \qquad (9)$$

Teniendo en cuenta la relación trigonométrica: $\frac{1}{(\cos\theta)^2} = 1 + (\mathrm{tg}\theta)^2$

Reemplazando en (9) el estudiante obtiene la expresión (10):

$$\mathrm{H} = Dtg\theta - \frac{gD^2(1+(tg\theta)^2)}{2V_0^2} \qquad (10)$$

En esta instancia de la Fase IV el estudiante infiere a partir de la observación de la expresión (10), que para que el objeto alcance una posición (D, H) en su trayectoria, este debe ser lanzado con un ángulo de inclinación Θ y una velocidad V_0. Por consiguiente, y dado que se pide la mínima V_0 para alcanzar la posición (D, H), se entiende que D y H son parámetros constantes y debe obtenerse el ángulo Θ que haga mínima a V_0. A partir de la expresión (10), el estudiante obtiene una expresión que vincule funcionalmente a V_0 y Θ, obteniendo la siguiente expresión de V_0 en función de Θ, es decir una V_0 (tgΘ):

$$\mathrm{V}_0(tg\theta) = \sqrt{\left(\frac{gD^2(1+(tg\theta)^2)}{2(Dtg\theta - H)}\right)} \qquad (11)$$

En principio el estudiante obtiene la función derivada de (11) respecto a tg(Θ):

$$\frac{\mathrm{dV}_0}{\mathrm{dtg}(\theta)} = \frac{(gD^2 2tg(\theta)2(Dtg\theta - H) - gD^2(1+(tg\theta)^2)2D)}{4(Dtg\theta - H)^2 2\sqrt{\frac{gD^2(1+(tg\theta)^2)}{2(Dtg\theta - H)}}} \qquad (11)$$

Para obtener el mínimo de V_0 se iguala esta expresión a cero y se obtiene tgΘ para que V_0 sea mínima; para lo cual debe ser cero el numerador de la expresión (11):

$$\mathrm{gD}^2 2tg(\theta)2(Dtg\theta - H) - gD^2(1+(tg\theta)^2)2D = 0$$

De esta expresión se obtiene una ecuación de segundo grado en tgΘ:

$$2\mathrm{gD}^3(tg\theta)^2 - 4gD^2H(tg\theta) - 2gD^3 = 0 \qquad (12)$$

Las raíces de esta ecuación son:

$$\mathrm{tg}(\theta)_1 = \frac{H + \sqrt{(H^2 + D^2)}}{D} \quad (13); \quad \mathrm{tg}(\theta)_2 = \frac{H - \sqrt{(H^2 + D^2)}}{D} \quad (14)$$

La expresión (13) es la que tiene sentido físico, dado que el numerador de la expresión (14) siempre es negativo para todo H y para todo D; por lo que $\mathrm{tg}(\Theta)_2$ es siempre negativa. También el estudiante puede comprobar que para $\mathrm{tg}(\Theta)_1$ la función

V_0 (tgΘ) toma un valor mínimo. Para obtener este valor mínimo el estudiante sustituye el valor de $tg(\Theta)_1$ en la expresión (11), y realizando algunas operaciones algebraicas se obtiene la expresión (15):

$$V_{0MIN} = V_0(tg(\theta)_1 = \frac{H + \sqrt{(H^2 + D^2)}}{D}) = \sqrt{g(H + \sqrt{(H^2 + D^2)})} \quad (16)$$

En esta instancia del desarrollo de la Fase IV, el estudiante está en condiciones de sintetizar el segundo proceso cognitivo asociado a esta fase en base a un análisis crítico de las expresiones obtenidas.

Si se toma la expresión $H = Dtg\theta - \frac{gD^2(1+(tg\theta)^2)}{2V_0^2}$ (10), se sustituye H por Y, D por X y se reordena la expresión, se obtiene la ecuación (17) de la trayectoria Y(X) que es una función de segundo grado; la cual posee ramas hacia abajo (el coeficiente del término cuadrático es siempre negativo para el sistema de referencia X – Y adoptado) y ordenada al origen nula:

$$Y = -\frac{g(1+(tg\theta)^2)}{2V_0^2} X^2 + tg(\theta) X \quad (17)$$

Se hará mención a esta expresión en la Fase V de Elaboración de una Base de Casos de Análisis.

Al examinar la expresión $V_0(tg\theta) = \sqrt{\left(\frac{gD^2(1+(tg\theta)^2)}{2(Dtg\theta - H)}\right)}$ (11); el estudiante observa que se debe cumplir:

$$2(Dtg\theta - H) > 0 \Rightarrow tg\theta > \frac{H}{D} \Rightarrow H < D\,tg\theta$$

Como el numerador de (11) es siempre positivo, también debe ser positivo el denominador para que el radicando de (11) sea positivo. En la medida que $tg\theta$ tienda a $\frac{H}{D}$, se ve que V_0 tiende a un valor infinito para que el objeto alcance la posición (D, H). En otras palabras: $\lim V(tg\theta) = +\infty$

$$tg\theta \to (H/D)^+$$

Si se toma la expresión (10), se reordena y se forma una ecuación cuadrática en $tg\theta$, se llega a la siguiente expresión:

$$gD^2(tg\theta)^2 - 2V_0^2 DH(tg\theta) + 2V_0^2 H + gD^2 = 0 \quad (18)$$

El análisis de esta ecuación, le permite inferir al estudiante que para un valor prefijado de V_0 el objeto puede alcanzar la posición (D, H) con dos valores de Θ ($Θ_I$ y $Θ_{II}$) y, por lo tanto, describiendo dos trayectorias distintas (I y II) como se ve en figura 3. Por otra parte, el estudiante sintetiza en base a sus conocimientos de funciones enlazados con la situación física que analiza, que el hecho anterior tiene lugar cuando al plantear la resolvente de la (18) el discriminante de la misma es positivo; en caso de que este sea negativo, tiene como interpretación física que para una velocidad V_0 determinada no existe ningún valor de Θ que haga posible que el cuerpo alcance la posición (D, H). Si el discriminante es nulo, existe una sola solución para tg Θ; y en consecuencia, una única trayectoria para que el cuerpo alcance la posición (D, H).

Ahora bien, es interesante observar que en este último caso, el único valor que se obtiene para tgΘ es el mismo que el de la expresión (13); obteniéndose en consecuencia, la misma V_{0MIN} que la que el estudiante obtuvo en la expresión (16).

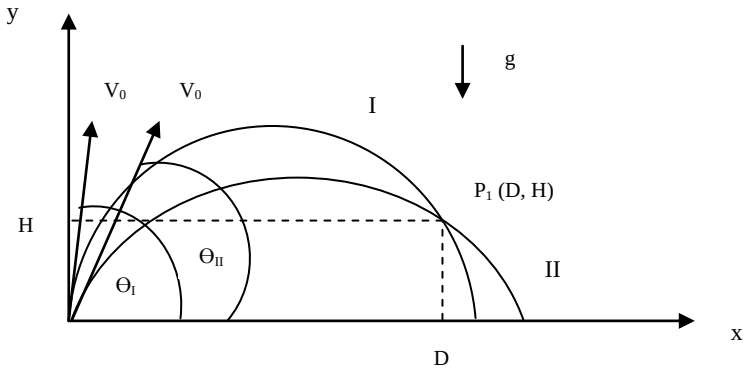


Fig. 1. Trayectorias I y II con ángulos $Θ_I$ y $Θ_{II}$ alcanzar la posición P_1 (H, D) con igual V_0

Si el estudiante analiza la expresión $\mathrm{tg}(\theta)_1 = \dfrac{H + \sqrt{(H^2 + D^2)}}{D}$ (13); observa que pueden tener las siguientes situaciones:

a) Si H=0, $tgΘ_1$=1, es decir, que el ángulo de lanzamiento es $Θ_1$=45º; se sabe que esto corresponde al máximo de los alcances horizontales del cuerpo para una velocidad V_0 prefijada (recordar que la expresión del alcance máximo para un cuerpo en tiro parabólico es $A = \left(\dfrac{V_0^2 \sin(2\theta)}{g} \right)$), y como se puede ver, el máximo de esta expresión se obtiene para Θ=45º). En realidad, este caso corresponde si la posición del objeto es P_1 (D, 0); entonces la ordenada del

punto de paso D coincide con el valor que toma A para Θ=45º, que sería A_{MAX} ($A_{MAX} = A(\theta = 45^o) = \frac{V_0^2}{g}$).

b) Si D=0, $\mathrm{tg}\theta \to \infty$, es decir, que el ángulo de lanzamiento es Θ_1=90º; o sea, en tiro vertical. En este caso, la posición del objeto coincide con el punto superior de la trayectoria y es P_1 (0, H).

Por último, al analizar la expresión $V_{0MIN} = \sqrt{g(H + \sqrt{(H^2 + D^2)})}$ (16); el estudiante observa un caso de interés cuando H=0; para el cual, se obtiene: $V_{0MIN} = \sqrt{2gH}$ que debe tener el objeto para alcanzar la posición (0, H), que coincide con la velocidad de un cuerpo antes de tocar el suelo cuando se lo deja caer libremente desde una altura H.

Es importante destacar la motivación especial que despierta en los estudiantes el análisis detallado de este tipo de casos con esta clase de análisis, donde se profundiza el estudio de las distintas expresiones que conforman el modelo matemático del fenómeno analizado.

De esta manera, es posible pasar al estadio más avanzado del modelo de instrucción, a los efectos de explorar los diferentes casos de análisis que se desprenden del desarrollo de la Fase IV.

Fase V: *Elaboración de una base de casos de análisis*

Una vez que el estudiante ha sido adecuadamente entrenado en el análisis crítico del modelo tal cual fue elaborado originalmente, en esta fase el educando estaría en condiciones de variar algunos aspectos de la situación problemática original generando *"el mismo"* nuevos casos para analizar[2].

A modo de ejemplo para el caso en cuestión, se plantea la situación de obtener las mismas expresiones (13) y (16) para el ángulo y velocidad mínima, a partir de la ecuación cuadrática (18) obtenida a partir de la expresión (10).

También se plantea la situación de analizar que sucede con las expresiones (13) y (16) cuando se fija un valor para una de las variables de posición (por ejemplo se fija D y se varía H); y viceversa.

Otro aspecto de interés se plantea al tomar la expresión (17) y despejar la tgΘ, quedando una ecuación de segundo grado, tomando X e Y como un blanco prefijado de la trayectoria. Actualmente, el equipo de investigación trabaja con el grupo de estudiantes en la obtención de la llamada *"curva de seguridad"* que se obtiene del análisis de esta ecuación de segundo grado; para luego examinar los diferentes casos que se desprenden de este análisis.

[2] Esta fase se halla actualmente en estado de desarrollo con un cierto grupo de estudiantes avanzados cuya madurez cognitiva ha evolucionado con mayor celeridad. En este sentido, se espera poder incorporar en forma progresiva una mayor cantidad de educandos a esta fase, con la idea de que sea el propio estudiante el que vaya enriqueciendo la base de casos de análisis.

En esta etapa de desarrollo cognitivo, se asume que el estudiante es capaz de formar modelos mentales que le permitan vincular los diferentes casos que ya conoce con otros que el mismo puede generar en su estructura cognitiva. Es decir, que en este punto los casos ya no se almacenan como entidades aisladas, sino que se relacionan y se integran dando lugar a la conformación de ciertos *"patrones"* de análisis [12]. En tal sentido, a las estrategias utilizadas en los estadios anteriores se sugieren aquellas que estimulen que estimulen procesos de asociación e integración de casos, poniendo mayor acento en actividades que estimulen formas de pensamiento cooperativo y de trabajo en grupo, a la vez de potenciar las experiencias con software y en laboratorio.

5 Referencias

1. Hossian Alejandro., *Sistema de Asistencia para la Selección de Estrategias Instruccionales*., Tesis de Magíster en Ingeniería del Software., Instituto Tecnológico de Buenos Aires., Universidad Politécnica de Madrid, 2003.
2. Gagné R. M., Briggs L. J. & Wager W. W., *Principles of Instructional Design*., Ed. Wadsworth/Thomson Learning. Belmont, CA. USA., 1992.
3. Adler, M. The Paedeia proposal: *An Educationmanifiesto*., Ed. *Nueva York: Mc Millan*., 1982.
4. Merrill, M. D., *Instructional Transaction Theory: Instructional Design Based on Knowledge Objects*., Ed. Educational Technology, 36, 30-37., 1996.
5. Duffy, M. & Jonassen, H., *Constructivim and the technology for instruction: a conversation*., Ed. Lawrence Erlbaum Associates. Washington. USA., 1982.
6. Schuel, T. J., *Cognitive Conceptions of Learning*., Ed. Review of Educational Research., Vol 56 (4) pp. 411-436., 1996.
7. Perkins, D. N. Smart schools: *Better thinking and learning for every child*., Ed. Nueva York: The Free Press., 1992.
8. Jonassen, D. H. Certainty., *Determinism and Predictability in Theories of Instructional Design: Lessons from Science*., Ed. Educational Technology., 1997.
9. Reigeluth, Charles. M. *Instructional design theories and models: a new paradigm of instructional theory*., Ed. Lawrence Erlbaum Associates., 1999.
10. Bútikov, M., Bíkov, A. & Kondrátiev, A., *Física en ejemplos y problemas*., Ed. Mir., Moscú., 1991.
11. Ausubel, D. P. Psicología Educativa., *Un punto de vista cognoscitivo*., 2° Edición., Ed. Trillas., México., 1983.
12. Alexander C., *A Timeless Way of Building*., Ed. Oxford University Press., 1999.
13. Buch, T. Sistemas tecnológicos. Contribuciones a una teoría general de la artificialidad. Buenos Aires, editorial AIQUE. (2006)
14. Hossian A., Cejas Lilian., *"Una propuesta de diseño instruccional para su aplicación en carreras de ingeniería. Un caso de estudio en asignaturas del ciclo básico"*. Jornadas de Enseñanza de la Ingeniería. JEIN 2011.
15. Sierra E. Hossian A. García Martínez R, Sistemas Expertos que recomiendan estrategias de instrucción. Un modelo para su desarrollo. Revista Latinoamericana de Tecnología Educativa Vol 1 (1) pp. 19-30. Facultad de Educación. Universidad de Extremadura, 2002.

ÁREA VII EnIDI

ENSEÑANZA

RESÚMENES

Desde la Empresa a la Universidad: el Rol de la Estadística en el Trabajo del Ingeniero

Ortigala, Julio[1], Graciela René López [1,2], Marconi, Liliana[3],
Monetti Julio [3] , Daniel Rios[3]
Sabrina Mori[4]
[1] Cátedra Control Estadístico de Procesos, Departamento de Ingeniería, Facultad Regional Mendoza Universidad Tecnológica Nacional ,
Rodriguez 273, 5500 Ciudad, Argentina
[2]Instituto Regional de Estudio Sobre Energía – IRESE, Facultad Regional Mendoza Universidad Tecnológica Nacional,
Rodriguez 273, 5500 Ciudad, Argentina
[3]Departamento de Ciencias Básicas, Facultad Regional Mendoza,
Universidad Tecnológica Nacional,
Rodriguez 273, 5500 Ciudad, Argentina
[4]Estudiante de Ingeniería Química
julioortigala@yahoo.com.ar ; energia.irese@frm.utn.edu.ar,

Resumen. El papel jugado por la ciencia estadística en todos los órdenes de la vida humana ha ido en aumento a medida que transcurre el tiempo y hoy en día su importancia en el desarrollo del conocimiento no es puesto en duda. Es frecuente encontrar en todos los programas profesionales universitarios al menos un curso de estadística. Inclusive, en muchos países, la ciencia estadística forma parte del currículo de la educación secundaria y también aparecen conceptos de estadística en la formación de los alumnos de la educación primaria.

La dinámica del mundo moderno, exige que todo ciudadano, para ejercer sus derechos y comprender su entorno, requiera de una alfabetización en estadística.

El objetivo de este proyecto es realizar una indagación con los ingenieros tecnologicos graduados de la UTN-FRM para conocer que significancia tiene para ellos la ciencia estadística y que consideración realizan sobre su importancia para lograr una formación profesional acorde con las exigencias del mundo actual. Además se indagará para conocer que uso han realizado y realizan de las herramientas estadísticas en su labor profesional, que importancia le asignan al conocimiento de los contenidos de la Estadística y de la Teoría de la Probabilidad, que conceptos y herramientas estadísticas hubieran necesitado y no recibieron en su trayecto académico y a partir de esto, generar un plan de capacitación que sea significativo en el marco de su desarrollo profesional y/o científico.

Palabras clave. Empresa, estadística, ingeniería, innovación.

Inecuaciones: ¿Un Problema Menor en la Ingeniería?

Marcela Rodríguez[a,b], Clarisa Noemí Berman[a], Ana María Narvaez[a,b],

[a] Departamento de Ciencias Básicas, Facultad Regional Mendoza, Rodriguez 273, 5500 Mendoza, Argentina
bercla@gmail.com, marcela.rodriguez.aghem@gmail.com

[b] Facultad de Ingeniería, UNCuyo, Ciudad Universitaria, Parque General San Martín, 5500 Mendoza, Argentina
anarvaez@fing.uncu.edu.ar

Resumen. Los alumnos de primer año de Ingeniería, tienen una problemática común en su formación preuniversitaria, en inecuaciones. Esta problemática fue detectada en investigaciones propias realizadas sobre Límite funcional, desde 2009. Se pretende elaborar un material didáctico sobre inecuaciones, que permita superar las deficiencias detectadas en los estudiantes. En el diseño del mismo es relevante considerar algunas características propias de las Facultades de Ingenierías de la UNCuyo y la FRMendoza de la UTN y documentos emanados del Ministerio de Educación de la Nación, referidos a las carreras de Ingeniería. De dicha documentación se destaca el énfasis en lograr la confluencia de las tres dimensiones: equidad, calidad y pertinencia. Los marcos teóricos utilizados son la Teoría APOE y la Teoría de Transposición Didáctica, esta última tiene especialmente en cuenta el funcionamiento real de la enseñanza, pues, en carreras de riesgo social, no es razonable, prescindir de la influencia institucional y social en los procesos de enseñanza y aprendizaje. La metodología utilizada es la Ingeniería Didáctica de Producción. Entre las conclusiones obtenidas en esta etapa, se destaca la necesidad de realizar análisis didáctico continuo sobre los objetos matemáticos involucrados en nuestras prácticas docentes en Ingeniería, considerando las interrelaciones con la sociedad.

Palabras Clave: Inecuaciones en reales, teoría APOE.

Sistema Adaptativo Aplicado a la Enseñanza del Álgebra

Adriana Schilardi, Sandra Segura, Julio Monetti, Mariana Brachetta, Oscar León

Facultad Regional Mendoza, UTN, Rodriguez 273,
Mendoza, Argentina
aschilardi@frm.utn.edu.ar, ssegura@frm.utn.edu.ar, jmonetti@frm.utn.edu.ar
mariana.brachetta@frm.utn.edu.ar, oleon@frm.utn.edu.ar

Resumen. El proyecto consiste en un desarrollo tecnológico e investigación experimental (PID UTN1733), en cual se trabaja en la transposición de un contenido disciplinar de la asignatura Álgebra y Geometría Analítica, en términos de la teoría didáctica para la enseñanza de la matemática denominada APOE (Acciones, Procesos, Objetos y Esquemas). Para esto se aplica un procedimiento denominado descomposición genética, el cual permite describir las construcciones mentales que los alumnos realizan durante el proceso de aprendizaje, permitiendo realizar una predicción de cómo un concepto matemático es modelado cognitivamente por ellos. El modelo elaborado será representado mediante una red semántica, implementada en la plataforma Moodle, tomando como parámetros adaptativos el rendimiento y los estilos de aprendizaje de los alumnos. Posteriormente los grupos experimental y de control de estudiantes, operarán sobre el modelo durante el desarrollo de la experiencia, para obtener una base de datos con la información de las interacciones y actividades de los alumnos. Paralelamente a lo anterior, se desarrollará el software necesario para extraer la información de la base de datos generada, con el fin de realizar el análisis comparativo de resultados y elaborar conclusiones, respecto del modelo de enseñanza propuesto y el proceso de aprendizaje realizado por los estudiantes.

Palabras Clave: didáctica de la matemática, entornos virtuales de enseñanza, modelos de datos.

Diagramas de Cuerpo Libre en Cursos de Física para Estudiantes de Ingeniería

Raúl Ernesto Chernikoff[a,b], Ernesto Muñoz Puntes[a,b], Franco Leonardo Redondo[a,c]

[a] Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria, Universidad Nacional de Cuyo,
Bdo. de Irigoyen 375, San Rafael, Mendoza, Argentina
rchernik@yahoo.com.ar

[b] Facultad Regional San Rafael, Universidad Tecnológica Nacional
Gral Paz y Urquiza, San Rafael, Mendoza, Argentina

[c] Becario SeCTyP, Universidad Nacional de Cuyo

Resumen. En los primeros cursos de Física los estudiantes de ingeniería tienen, habitualmente, cuando estudian la mecánica de la partícula, serias dificultades en la construcción e interpretación de diagramas de cuerpo libre (DCL) en problemas que involucran uno o más cuerpos. Un prerrequisito para lo anterior es la identificación de todas las fuerzas relevantes que intervienen en el fenómeno en estudio. Los DCL son muy útiles para que los estudiantes entiendan como se relacionan las distintas fuerzas que actúan sobre cada cuerpo. También son sumamente eficaces en el diagnóstico de errores conceptuales persistentes en la aplicación de las leyes de Newton. Con el objeto de encontrar algunos de tales errores, y estudiar la influencia de las actividades y materiales preparados en este proyecto para tratar de corregirlos, en el presente trabajo se estudian las respuestas brindadas por estudiantes de Física I a dos cuestiones de opción múltiple utilizadas en evaluaciones parciales, una en los años 2008 y 2010, y la otra en los años 2009 y 2011, y se comparan las mismas, luego de la implementación de las actividades ya elaboradas en el marco de este proyecto, con las respuestas de los alumnos en evaluaciones aplicadas durante 2012.

Diseño de una Metodología de Enseñanza con el Uso de las TICs

Hugo García[a] , Silvia Estela Valdivia[a], Carolina Tonidandel[a] , Verónica Elisabeth Vizcaino[a]

[a] Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional San Rafael, Gral. Paz 417
5600 San Rafael, Mendoza, Argentina
hugoagarcia@speedy.com.ar, silviavaldivia@speedy.com.ar, ctonidandel@yahoo.com.ar, vevizcaino@yahoo.es

Resumen. El ingreso de alumnos con netbooks a la facultad ha producido un verdadero cambio en la forma de aprender de los jóvenes. Los docentes necesitamos capacitarnos y aprender más sobre el uso de las nuevas tecnologías y optimizar el uso de las netbooks en el aula. Es necesario que busquemos la forma de utilizar de la manera productiva las Tics en el proceso de enseñanza- aprendizaje. Durante años hemos trabajado en forma casi excluyente con el Mathematica en nuestras clases. Para incorporar otros elementos a la educación, tales como uso de las redes sociales, producciones audiovisuales, publicaciones web, etc. debemos hacerlo en forma organizada y reflexiva de manera de poder realizar una evaluación sobre qué elementos son los mejores para agregarlos a los ya usados. Es de nuestro interés desarrollar una metodología de trabajo acorde a las necesidades de esta era de comunicación.

Palabras Clave: Tics

Implementación de un Sistema de Mejora Continua en Asignaturas Electivas del Área de Gestión Ingenieril de Carreras de Ingeniería Utilizando SERVQUAL®

Esteban Anzoise[1], Silvia Curadelli[1], Cristina Scaraffia[1], Daniel Grosso[1]

[1] Instituto de Gestión Universitaria – Grupo IEMI
Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza
Rodríguez 273 Ciudad – Mendoza - Argentina C.P.: (M5502AJE)
esteban.anzoise@frm.utn.edu.ar, silvia.curadelli@gmail.com, cscaraffia@yahoo.com.ar,
grossodani@yahoo.com.ar

Resumen. En el proceso de enseñanza – aprendizaje existe una transferencia bidireccional de conocimientos que debe ser gestionada por el equipo de cátedra de modo de incrementar su eficiencia y eficacia en un proceso de mejora continua. Por ello se requiere la implementación de un sistema de gestión que capture las expectativas de los alumnos al inicio del ciclo lectivo, lo transfiera en la planificación de cada actividad y mida el nivel de satisfacción de los alumnos al finalizar el cursado. Para medir las expectativas y el nivel de satisfacción de los alumnos se diseñaron encuestas de satisfacción en base al modelo validado de SERVQUAL®. Dichas encuestas se aplicaron en los ciclos lectivos 2010 a 2012 en las asignaturas electivas institucionales: Introducción a los Sistemas de Gestión Gerencial, Formación de Emprendedores; y en las electivas del Departamento de Ingeniería Química: Gestión Empresarial I y Gestión Empresarial II, todas pertenecientes al Área de Gestión Ingenieril de la FRM-UTN. Los resultados se traducen en medidas concretas de mejora a aplicar en el siguiente ciclo. El nivel de satisfacción de los alumnos se incrementó 18% y se mantuvo consistentemente en el decil del 90% - 100%.

Palabras Clave: Mejora continua, Calidad educativa, Gestión ingenieril.

Microescala en Química: Aprendizaje y Sustentabilidad

Marcela Rodriguez[a,b], Nidia Viviana Brusadín[a,b], Silvia Lucero Aguado[a,b]

[a] Departamento de Ciencias Básicas, Facultad Regional Mendoza, Rodriguez 273, 5500 Mendoza, Argentina
marcela.rodriguez.aghem@gmail.com; vivianabrusadin@gmail.com; silaguado@frm.utn.edu.ar

[b] Facultad de Ingeniería, UNCuyo, Ciudad Universitaria, Parque General San Martín, 5500 Mendoza, Argentina

Resumen. En investigaciones previas realizadas en la cátedra de Química General de la UTN, FRMendoza, se incluyeron algunas técnicas de microescala en los prácticos de laboratorios, vista ésta como un método alternativo de trabajo experimental que busca un cambio cultural en la forma en que los químicos utilizan las sustancias. Una conclusión importante fue que la reducción de tiempo lograda por la aplicación de dichas técnicas, permite optimizar otros aspectos como la investigación previa a la experiencia o el análisis crítico de los resultados.

En el marco de esta propuesta, nuestro objetivo es elaborar guías de laboratorio, no como un seguimiento de instrucciones, sino como Pequeñas Investigaciones Guiadas (Clasificación Caamaño (1992)).
Se utiliza como marco teórico, investigaciones didácticas realizadas por varios autores, especialmente Hodson (1994) en las que establece las distintas fases que debe tener un práctico de laboratorio para lograr un aprendizaje significativo. El presente trabajo muestra las dificultades que presentan los alumnos en la comprensión de algunos conceptos y la necesidad de realizar experiencias de laboratorio que ayuden a lograr los objetivos de aprendizaje propuestos, con una visión sustentable.

Palabras Clave: Microescala, aprendizaje significativo, visión sustentable, experiencias de laboratorio.

Análisis de Competencias Argumentativas Desarrolladas por Estudiantes de Ingeniería en Clases de Física

Lidia Catalán[a], Silvia Clavijo[a], Noelia Ruiz Alcantú[a] , Cecilia Musale[a]

[a] Grupo Enseñanza, Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria, UNCuyo, Argentina
scclavijo@fcai.uncu.edu.ar, lcatalan@fcai.uncu.edu.ar

Resumen. La argumentación es un modo de organizar el discurso que pretende conseguir la adhesión de un auditorio a las opiniones que sostiene el autor. Esta competencia implica la capacidad de construir textos argumentativos que conformen explicaciones científicas sobre experiencias relativas al estudio de las ciencias experimentales. En este trabajo se analizan cuatro modelos de argumentación elaborados por alumnos de ingeniería a quienes se ha enseñado a argumentar, en contraposición con cuatro modelos argumentativos pertenecientes a alumnos a quienes no se ha enseñado un modelo argumentativo. El objetivo del trabajo es: indagar la capacidad de argumentar que presenta un conjunto de alumnos al resolver diversas situaciones dentro del campo conceptual del electromagnetismo. Los argumentos presentados fueron analizados tomando como referencia el Modelo de Toulmin (1958), un modelo de seis etapas. Los resultados obtenidos evidencian un crecimiento progresivo de la capacidad argumentativa en los alumnos que fueron instruidos con un modelo de argumentación.

Palabras Clave: argumentación, campo conceptual, capacidades y habilidades, modelo.

Sobre la Formación de Ingenieros Investigadores

Jorge Barón

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo
jbaron@fing.uncu.edu.ar

Resumen. Los alumnos de grado tienen escasa participación en proyectos de investigación. Esta ha sido una observación consistente efectuada por la CONEAU ante las diversas evaluaciones de las Carreras de Ingeniería, en la Universidad Nacional de Cuyo y en otras universidades. Ante esta evidencia, en la UNCuyo se estableció una estrategia que se formalizó en la incorporación al Plan de Estudios de Ingeniería Civil, y de Ingeniería Industrial, de una materia optativa de características y reglamentación particulares: Investigación en Ingeniería. Esta asignatura anual, vigente desde el año 2008, es una especie de "pasantía" en el ámbito de un Proyecto de Investigación acreditado, donde el alumno de grado recorre las diversas instancias que hacen a las tareas específicas de un investigador. Además, recibe una formación conceptual a través de un curso-taller metodológico. Los alumnos con inquietudes por investigar pueden desarrollarse con un plan acotado dentro de un proyecto formal. Al finalizar su trabajo, deben presentar un informe escrito y efectuar una defensa oral sobre el tema en el que han estado investigando. Esta dinámica permite despertar vocaciones de investigadores en futuros ingenieros, y algunos continúan luego Carreras de Postgrado y se incorporan al sistema científico de la Argentina.

Palabras Clave: Investigación en Ingeniería, Formación, Ingenio.

Implementación y Desarrollo Algoritmos: una Herramienta Pedagógica en la Enseñanza de la Ingeniería

Maximiliano José Tomás Martel[a], Nicolas Paulino Muros[a], Elías Sebastián Fernández[a], Iván Fonseca[a], Guillermo Daniel García[a], Fabricio Orlando Sanchez Varretti[a],

[a] Grupo de Físico Química de Sistemas Complejos (GFQSC), Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Rafael, Gral. J. J. de Urquiza, 340M5602GCH.
max_total90@hotmail.com, nicomuros@gmail.com, esf_floyd@hotmail.com, ivandecipo@hotmail.com, ggarcia@frsr.utn.edu.ar, fsanchez@frsr.utn.edu.ar

Resumen. El desarrollo herramientas útiles para la investigación científica, la práctica profesional y la jerarquización académica, se basan en la implementación de recursos pedagógicos, académicos y científicos novedosos. En el caso del presente trabajo, consisten en una serie de ejercicios teórico-prácticos, cursos y materias electivas destinadas a desarrollar en el alumno una forma crítica, ordenada y sistemática de pensamiento, guiada por la implementación algorítmica y problemas motivadores. Si bien el objetivo final de la actividad es la inserción de los estudiantes en el ámbito de la investigación creativa y el desarrollo de innovaciones tecnológico-científicas y la práctica profesional, hasta ahora las actividades realizadas han tenido resultados a nivel netamente educativo. Utilizando como plataforma pedagógica de mediación de conocimientos, la programación en lenguaje C++, los alumnos logran simular la interacción entre moléculas; considerando su masa, fuerza y comenzando con interacciones simples entre partículas cargadas y modelos sencillos de magnetismo a nivel atómico. Se logra la relación y profundización de conocimientos adquiridos en las asignaturas correspondientes a las materias básicas de ingeniería. La metodología utilizada enfatiza el trabajo en equipo, mediante el debate continuo de los distintos enfoques al enfrentar un problema, y evaluando a su vez la solución más efectiva.

Palabras Clave: Pedagogía, Algoritmos, Programación Simulación.

Experiencias en la Tutoría Disciplinar en el Ciclo de Tecnologías Básicas y Aplicadas en las Carreras de Arquitectura e Ingeniería Industrial, Civil, Mecatrónica y Petróleo de la UNCuyo

Pedro Baziuk [a,b], Mauro Blanco [a,b], Sara Rodríguez [a,b], Evelina Haist [a,b], Raquel Zumel [a,b]

[a] Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo
Mendoza, Argentina
pbaziuk@fing.edu.ar; mblanco@fing.uncu.edu.ar; srodriguez@fing.uncu.edu.ar; ehaist@fing.uncu.edu.ar; rzumel@fing.uncu.edu.ar

[b] Proyecto TRACES (Trayectorias Académicas Estudiantiles)
Rectorado, Universidad Nacional de Cuyo

Resumen. El presente trabajo tiene por objetivo mostrar la experiencia en las tutorías disciplinares realizadas en el marco del proyecto TRACES destinadas a los alumnos del llamado ciclo de tecnologías básicas y aplicadas de las carreras de Arquitectura y de Ingeniería Industrial, Civil, Mecatrónica y Petróleo de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo. A partir del análisis estadístico de los alumnos se concluyó que el rendimiento académico negativo (rendir menos de dos materias por año) está lejos de ser un indicador válido para la situación de riesgo de un alumno de las carreras mencionadas. Se propuso establecer 3 categorías de acuerdo a la cantidad de materias rendidas en promedio por año. El 65% de los alumnos analizados se encuentran con riesgo elevado o moderado. Dentro de los problemas trabajados con los alumnos: miedo a rendir exámenes orales y dificultades durante el examen oral (sobre todo de léxico y expresión oral), dificultad en la organización de los tiempos y en la planificación del calendario de estudio. Se realizaron varios encuentros con distintas metodologías de abordaje. Se creó una página de Facebook para poder mantener un contacto más fluido con los alumnos.

Palabras Clave: Tutorías disciplinares, alumnos en riesgo, rendimiento académico negativo

El Uso de las Nuevas Tecnologías en la Formación del Capital Humano de la Universidad

Bruno A. Roberti Ferri[a], Claudia Correa[b], Daniela B. Carbonari[a],

[a] Docente Tecnicatura Superior en Administración y Gestión de Instituciones Educación Superior, Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Mendoza, Rodriguez 273, 5500 Mendoza, Argentina
broberti@frm.utn.edu.ar, dcarbonari@frm.utn.edu.ar

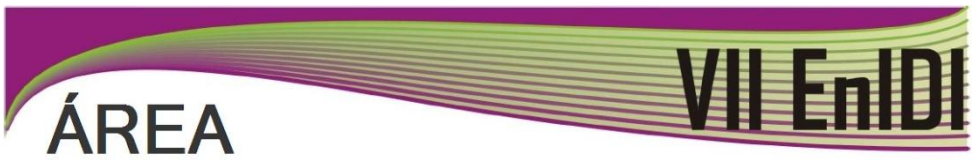
[b] Directora de la Tecnicatura Superior en Administración y Gestión de Instituciones Educacoón Superior, Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Mendoza, Rodriguez 273, 5500 Mendoza, Argentina
ccorrea@frm.utn.edu.ar

Resumen. La Tecnicatura Superior en Administración y Gestión en Instituciones de Educación Superior es una propuesta de formación que está dirigida al personal no docente de distintas Regionales de la Universidad Tecnológica Nacional.

Actualmente la carrera se encuentra implementada en forma conjunta en las Regionales Mendoza, Delta, San Rafael y La Plata, para lo cual se ha previsto el dictado de las materias con modalidad presencial en la Regional Mendoza, y mediante video conferencia para el resto de las Regionales involucradas en el proyecto. Este dictado de clases se encuentra complementado con el uso de aulas virtuales a través del Campus Virtual Global que posee la Universidad en las que se desarrolla tanto la teoría de cada materia, como así también las actividades prácticas.

A través de la presente comunicación se busca transmitir la experiencia docente a partir del dictado de dos materias integradoras de primer año: "Teoría de las Organizaciones" y "Planificación y Administración de las Organizaciones Universitarias", tanto los desafíos que se presentaron, como las estrategias utilizadas para enfrentarlos y algunas reflexiones para tener en cuenta a futuro teniendo en cuenta la heterogeneidad del público destinatario de la propuesta.

Palabras Clave: Tecnicatura No Docentes, blended learning, aula virtual, experiencia docente.



POSTERS

Evaluación de Métodos Acuosos para la Mejora en Rendimiento de Extracción de Aceite de Semilla de Colza

Daniel A. Castro[a], Carlos A. Carullo[b], Alejandro E. Gentile[c], Mariana Noguerol[d]

[a] Coordinador de Planta Piloto de Procesos Unitarios, FCAI- UNCuyo
dcastro@fcai.uncu.edu.ar
[b] Director Departamento Ingenieria y Gestión FCAI – UNCuyo

Resumen. La extracción de aceites vegetales de semillas oleaginosas emplea tanto métodos químicos de extracción con beneficiosos rendimientos, menor calidad y riesgo en cuanto a seguridad y toxicología, como métodos físicos que producen aceite de buena calidad y rendimientos reducidos. Actualmente se emplean tratamientos previos a la extracción, entre los que se destaca la hidrólisis enzimática, con el fin de debilitar la estructura vegetal y favorecer la migración de aceite. En este contexto se evaluaron tratamientos acuosos previos como medios para mejorar el rendimiento de la extracción de aceite por extracción mecánica convencional. Se determinaron la actividad acuosa de la semilla seca y húmeda con distintas cantidades relativas de agua, la actividad enzimática global de preparados enzimáticos comerciales, y la acción degradativa de tales compuestos sobre muestras de semillas enteras y molidas, en escala de laboratorio. El rendimiento de extracción aumentó con el aumento de la relación E/S para cada tipo de enzima empleado, y con el aumento del tiempo de contacto. Los máximos incrementos de los rendimientos obtenidos son del 37 % aproximadamente, para semillas enteras y del 43 % para semillas molidas.

Palabras Clave: colza, extracción de aceite, hidrólisis enzimática.

1 Introducción

La evolución reciente de la producción y de la comercialización agrícola en la Argentina, ha evidenciado claros signos de transformación de todo el sector en su conjunto. Por cierto, este avance orientado hacia una mayor aplicación de tecnología y a un mejor aprovechamiento de los recursos naturales, se ha traducido en la obtención de volúmenes récord de producción y exportación de granos y subproductos, nunca antes registrado en nuestro país. La producción agropecuaria se enfrenta a la gran responsabilidad de abastecer con alimentos en cantidad y calidad, tanto para el consumo interno como para satisfacer las exportaciones. En nuestro país el cultivo de colza se presenta como un producto capaz de satisfacer estas exigencias. Es adaptable a nuestras condiciones de clima y suelo y ha demostrado tener amplio potencial de rendimiento tanto de grano como de aceite con un esquema sencillo de manejo. De acuerdo a los datos suministrados por las empresas se obtuvieron rendimientos promedios que oscilan entre 1.300 a 1.800 Kg de semillas por hectárea, con un contenido de hasta 45 % de materia grasa. Por las condiciones agro ecológicas de nuestro oasis, noches frescas y altas exposición solar, es esperable obtener rendimientos más elevados. En pequeños emprendimientos se han alcanzado

rendimientos de cultivos del orden de 3.000 Kg/ha. Se debe tener presente la importancia que las condiciones meteorológicas reinantes y las características del suelo disponible en el lugar de siembra, confieren al cultivo, pues la misma variedad se desarrolla y rinde en forma diferente en distintas zonas geográficas. Esto evidencia la importancia de un estudio con carácter regional. Dado que el principal uso y aprovechamiento de la colza se vincula a la obtención de biodiesel, muchos esfuerzos están dirigidos a potenciar y optimizar la extracción del aceite de colza. Entre las principales alternativas de extracción utilizadas, se pueden citar, la extracción química por solvente, y la extracción por presión mecánica llamada comúnmente expresión.

Los aceites extraídos por presión mecánica tienen muy buena calidad, pero el rendimiento de extracción está limitado usualmente al 80-82% del aceite presente. La extracción por solvente, tiene como ventaja un alto rendimiento de recuperación, frecuentemente superior al 98%, pero a expensas de reducir significativamente la calidad del aceite [1]. Por otro lado, aún cuando el aceite obtenido de esta oleaginosa, sea aprovechado solamente como *commoditie* energético, se desaconseja, y en algunos casos se prohíbe, la extracción por solventes [2]. Por ello en la actualidad se emplean, con cierto éxito, medios mecánicos muy diversos para la extracción de aceite. A nivel industrial está muy difundido el empleo de equipos de extracción por presión mecánica del tipo prensas extrusoras de tornillo, con frecuencia con escaso fundamento teórico en su desarrollo y prestaciones. En los últimos años se han realizado esfuerzos más que importantes investigando y desarrollando metodologías específicas para mejorar el aprovechamiento integral de varios cultivos energéticos vinculados a oleaginosas.

Muchos de los trabajos de investigación disponibles están dirigidos a cultivos de oleaginosas de uso más difundido, entre los que se destacan semillas de sésamo, lino, palma, colza y jatropha, y proponen encontrar las mejores condiciones de extracción por presión mecánica convencional (EMC) [1] y [3]. En ellos se evalúa el rendimiento de extracción en distintas condiciones de temperatura y presión, generando modelos matemáticos tanto de carácter empírico, como otros más rigurosos basados en la naturaleza de la estructura celular [4]. Tanto unos como otros emplean las semillas de oleaginosas sin ningún tipo de tratamiento previo a la extracción mecánica del aceite, después de la limpieza y clasificación. Por otro lado también se reporta el empleo de un campo eléctrico pulsado (PEF) aplicado al lecho de semilla que induce un potencial eléctrico crítico a través de la pared celular logrando modificaciones en la estructura celular con incremento de la permeabilidad [5]. Con relación al empleo de gas en condiciones supercríticas, existen dos métodos alternativos no convencionales para la producción de aceites vegetales, alcanzando altos rendimientos de extracción, que hacen uso de dióxido de carbono en condiciones supercríticas, SCE (Extracción en Condiciones Supercríticas) y GAME (Gas Assisted Mechanical Expresión) en desarrollo actual [6].

En este contexto se plantea evaluar la hidratación y la hidrólisis enzimática en escala de laboratorio como tratamientos previos a la extracción mecánica convencional (EMC) de aceite de semilla de colza, como potencial cultivo energético de aprovechamiento regional, tomando como hipótesis de trabajo que tales tratamientos afectan la estructura celular el tejido vegetal favoreciendo la extracción de aceite.

2 Metodología

2.1 Determinación de actividad acuosa

Para estudiar la influencia de la hidratación de la semilla de colza entera sobre el rendimiento de extracción, como tratamiento previo a la extracción mecánica convencional, se procedió a hidratar preliminarmente la semilla de colza limpia sin ningún tratamiento previo. Se agregaron distintas alícuotas de agua a muestras de semillas de colza de tal forma de generar sistemas heterogéneos con diferentes grados de fluidez. Se empleó la actividad acuosa como variable indicativa del proceso de hidratación. Para la determinación de la actividad acuosa a_W se empleó un equipo portátil de origen americano, marca HygroPalm AW1 fabricado por ROTRONIC, que se muestra en la figura 1.

El equipo consta de una celda donde se ubica la cámara porta muestra y la sonda detectora de humedad, conectada a un equipamiento digital electrónico que opera según distintos programas establecidos. Las determinaciones de la actividad acuosa fueron realizadas utilizando el equipamiento configurado en modo de lectura rápida o Programa Q1. Cuando el sistema alcanzó el equilibrio se fijó la lectura final. Este procedimiento tardó aproximadamente 5 a 6 minutos para cada determinación. Para observar el comportamiento de humectación de la semilla en forma exploratoria y preliminar, a una muestra inicial de 100 gramos de semillas se agregaron alícuotas de 5, 10, 20, 30, 40, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 250, 350 y 500 gramos de agua, empleando un agitador magnético de laboratorio, transcurriendo los tiempos de acondicionamiento y contacto necesarios, según se muestra en la figura 2.

Fig. 1. Equipamiento para la medición de la actividad acuosa, empleado para semillas de colza sin tratamiento previo.

Fig. 2. Hidratación previa a la medición de la actividad acuosa a_w para semillas de colza.

Una vez determinada la cantidad adecuada de agua en relación a la cantidad de semillas, que asegure una actividad acuosa superior a 0,90 y resulte adecuada para formar un sistema heterogéneo con fluidez conveniente que permita ser sometido a reducción mecánica de tamaño simultánea con hidrólisis enzimática, en posteriores estudios experimentales, las muestras tratadas serán sometidas a extracción mecánica convencional y establecer así el rendimiento, la mejora y la eficiencia total de extracción. Las semillas así tratadas por hidratación fueron secadas en estufa hasta peso constante y luego sometidas a extracción mecánica convencional en condiciones de 50.0 MPa de presión mecánica y 48 °C de temperatura de compresión. Estas condiciones operativas de extracción mecánica resultaron ser experimentalmente en forma preliminar, las más convenientes y se las referencia como técnica control, obteniendo un 24,2±0,36 porcentual de extracción.

2.2 Etapa de Hidratación

Se desarrolló un diseño factorial experimental 3^2 para evaluar la influencia de la cantidad de agua agregada a 100 gramos de semilla y el tiempo de contacto, como variables independientes, sobre la actividad acuosa. Si bien los datos exploratorios obtenidos preliminarmente mostraron que son necesarias cantidades pequeñas de agua (20 gramos/100 gramos de semillas) para alcanzar una actividad acuosa del orden de 0,90, se eligieron alícuotas de 200, 350 y 500 gramos, mientras que para el tiempo de contacto se establecieron 20, 40 y 60 minutos. Simultáneamente el experimento se utilizó para observar cualitativamente y registrar el comportamiento hidráulico de la mezcla formada en cada caso, como medio de recabar información preliminar para la selección de tratamientos de humectación en pulpas de equipos de bombeo.

2.3 Determinación de actividad enzimática global de preparados pectinolíticos comerciales

Se determinaron experimentalmente las actividades enzimáticas específicas de dos preparados enzimáticos comerciales: INOZYME y EXTRAZYME. Si bien tales productos tienen aplicaciones en la industria enológica, con acción fundamentalmente pectinasas como actividades más importantes, y dado la no disponibilidad de otros productos comerciales, resultó de interés evaluar su potencial acción degradativa sobre la pared celular de las semillas de colza, como tratamiento previo a la extracción mecánica convencional.

No obstante disponer de la información específica suministrada por el fabricante para los preparados pectinolíticos comerciales (PPC) empleados, experimentalmente se determinaron las actividades enzimáticas globales y las condiciones operativas como temperatura y pH. La actividad pectinásica global se determinó sobre los PPC mediante la cuantificación de azúcares reductores liberados a partir de una dispersión de pectina cítrica del 60% de metilación (Fluka 76280), medida colorimétricamente con el reactivo ácido 3,5-Dinitrosalicílico (DNS).

El efecto de la temperatura sobre la actividad pectinolítica se evaluó utilizando el método colorimétrico del reactivo DNS. El sustrato está constituido por una dispersión de pectina cítrica de 60% metilación al 0,25% en buffer acético/acetato de Na 50 mM (pH 5) y las mezclas de reacción se incuban durante 30 minutos en un rango de temperaturas de 10 a 70ºC. Por su parte, el efecto del pH se estudió sobre sustratos constituidos por pectina cítrica de 60% metilación a una concentración de 0,25% en distintos buffers según el pH, abarcando un rango de valores de pH de 3 a 9. Seguidamente, las mezclas de reacción se incuban 30 min a la temperatura óptima previamente determinada y las actividades enzimáticas fueron medidas mediante el método colorimétrico del reactivo DNS. Parte del equipamiento empleado en escala de laboratorio se puede observar en la figura 3.

Fig. 3. Equipamiento empleado para la medición de la actividad enzimática de preparados enzimáticos comerciales.

2.4 Etapa de hidrólisis enzimática en escala de laboratorio

A partir de la exploración previa de las actividades enzimáticas específicas para los preparados comerciales disponibles, se experimentó en escala de laboratorio, la acción degradativa de ambos preparados en forma independiente, sobre muestras de semillas enteras y muestras de semillas sometidas previamente a reducción de tamaño. Para el empleo del medio enzimático comercial INOZYME se fijó la temperatura de trabajo en 40 °C, el pH se ajustó en 4.0 y la cantidad relativa de agua se estableció en 250 gramos por cada 100 gramos de semilla, en función de la fluidez de la pulpa obtenida en forma experimental. Por su parte para el medio enzimático EXTRAZYME, se fijaron condiciones similares, sólo que la temperatura de trabajo se estableció en 50 °C.

Previamente a los tratamientos de hidrólisis enzimática, tanto en escala de laboratorio como en escala de banco, las semillas fueron tratadas térmicamente con vapor de agua a 105 °C durante 5 minutos en autoclave de laboratorio, a fin de inhibir la acción de enzimas naturalmente presentes en la semilla.

Para cada enzima se utilizó un diseño factorial que incluyó tres variables o factores independientes: relación E/S [g/100 g], tiempo de contacto [horas], y estado. La relación E/S se refiere a la masa del preparado enzimático en relación a 100 gramos de semillas sin tratar; esta variable se analizó en tres niveles (-1, 0, +1), que corresponden respectivamente a 0,0625, 0,1563 y 0,2500 gramos de enzima/100 gramos de semilla. Por su parte el tiempo de contacto también se exploró en tres niveles, 1, 2 y 3 horas de tratamiento. La tercera variable denominada “estado” se refiere a si se parte de semilla entera (nivel +1), o semilla molida (nivel -1). La cantidad de agua agregada se fijó en 250 gramos de agua por cada 100 gramos de semilla en base a datos preliminares. Este diseño se repitió para cada una de las enzimas comerciales exploradas. Se escurrió el medio líquido y se acondicionó la humedad de la pulpa a 5±1%. La fase sólida se sometió a las condiciones mecánicas de extracción de la técnica control (Presión 50 MPa, y T: 48 °C).

3 Resultados

3.1 Determinación de actividad acuosa

Se determinó la actividad acuosa a_w para una muestra de semillas de colza sin tratamiento previo y con un contenido de humedad ambiente del 5±1%. Se partió de muestras de 100 gramos de semilla y se agregaron las alícuotas de agua indicadas en cada tratamiento, con agitación durante 30 minutos y estabilización en recipientes cerrados, luego de escurrir el exceso de agua. Los datos se resumen en la tabla 1.

Tabla 1. Medición de actividad acuosa para semillas de colza.

N°	[gr agua / 100 gr semilla]	Actividad acuosa a_w Medición 1	Medición 2	Medición 3	a_w media ± SD	
1	0	0,422	0,472	0,461	0,452	0,026
2	5	0,734	0,711	0,639	0,695	0,050
3	10	0,846	0,892	0,862	0,867	0,023
4	20	0,914	0,925	0,949	0,929	0,018
5	30	0,918	0,953	0,900	0,924	0,027
6	40	0,926	0,935	0,930	0,930	0,005
7	50	0,932	0,948	0,943	0,941	0,008
8	75	0,929	0,96	0,944	0,944	0,016
9	100	0,957	0,963	0,960	0,960	0,003
10	125	0,951	0,966	0,955	0,957	0,008
11	150	0,934	0,95	0,942	0,942	0,008
12	175	0,943	0,934	0,928	0,935	0,008
13	200	0,942	0,937	0,940	0,940	0,003
14	250	0,955	0,958	0,944	0,952	0,007
15	350	0,960	0,951	0,948	0,953	0,006
16	500	0,962	0,958	0,951	0,957	0,006

3.2 Etapa de Hidratación

Los resultados del desarrollo del diseño experimental para la etapa de hidratación se resumen en la tabla 2. La actividad acuosa reportada en cada corrida, fue el resultado de promediar tres réplicas. Se incluyen además observaciones relacionadas a las características de fluidez del sistema heterogéneo formado al agregar "*m*" gramos de agua por cada 100 gramos de semillas.

Tabla 2. Medición de actividad acuosa a_w para una muestra de semillas de colza.

Run #	Variables independientes Factores				Variable dependiente	
	Humedad		Tiempo		Actividad acuosa a_W	Observaciones
	m[g /100g]	M	t [min]	T	a_W ± SD	
1	500	+1	20	-1	0,962±0,005	Mezcla muy fluida. Agitación normal regulada a lenta
2	500	+1	40	0	0,971±0,006	
3	500	+1	60	+1	0,982±0,003	
4	350	0	20	-1	0,961±0,007	Mezcla fluida. Agitación normal
5	350	0	40	0	0,965±0,007	
6	350	0	60	+1	0,968±0,007	
7	200	-1	20	-1	0,941±0,003	Mezcla poco fluida. Agitación detenida
8	200	-1	40	0	0,951±0,005	
9	200	-1	60	+1	0,961±0,006	

Se determinó que relaciones del orden de 250 gramos de agua por cada 100 gramos de semilla aseguran una actividad acuosa superior a 0,90 y son adecuadas para formar un sistema heterogéneo con fluidez adecuada que permita ser sometido a reducción mecánica de tamaño simultánea con hidrólisis enzimática. No se observaron diferencias significativas en cuanto al incremento de extracción de las semillas

tratadas por hidratación previa con respecto a la técnica control, obteniéndose incrementos porcentuales del orden de 0,91±0,22.

3.3 Determinación de actividad enzimática global de preparados pectinolíticos comerciales

En la tabla 3 se resume y comparan las actividades enzimáticas globales de cada enzima comercial y sus desviaciones estándares frente a la temperatura a pH: 4.0.

Tabla 3. Comparación entre actividades específicas enzimáticas de dos enzimas comerciales con la temperatura, a pH: 4.0.

	Actividad enzimática global (UE/g)	
T °C	Extrazyme	Inozyme
20	0,531±0,38	0,933±0,37
30	1,343±0,28	1,713±0,22
40	1,759±0,16	2,614±0,13
50	2,372±0,61	2,378±0,22
60	3,960±0,26	3,337±0,12

En la figura 4 se puede observar en forma gráfica la variación de la actividad enzimática para cada preparado enzimático comercial frente a la temperatura, a pH constante de 4.0. Se incluyen los intervalos de confianza respectivos.

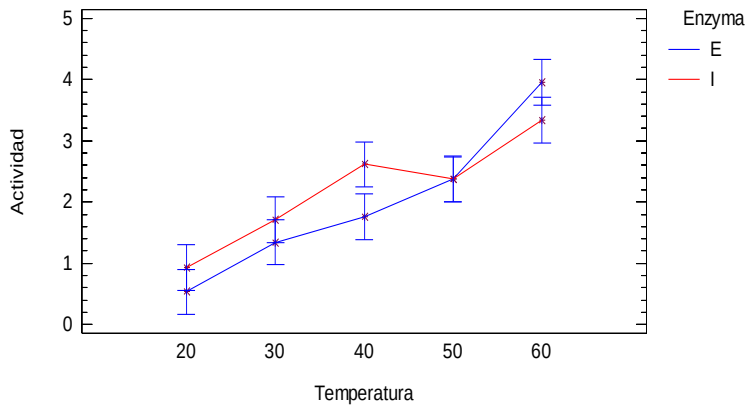


Fig. 4. Variación de las actividades específicas enzimáticas (UE/g) con la temperatura a pH: 4.0. E: Extrazyme. I: Inzoyeme. Interacciones e intervalos de confianza

Los preparados enzimáticos comerciales empleados muestran actividades enzimáticas específicas muy similares en función de la temperatura. INOZYME (I) alcanza un máximo relativo de actividad enzimática a 40 °C de 2,641 UE/g, y uno posterior hacia los 60 °C con valor de 3,337 UE/g. Por su parte EXTRAZYME (E) evidencia un aumento aproximadamente lineal de la actividad específica con la temperatura alcanzando un valor máximo de 3,960 UE/g a 60 °C y pH: 4.0.

3.4 Etapa de hidrólisis enzimática en escala de laboratorio

Los valores de rendimiento reportados en cada corrida de la tabla 4 son el resultado de promediar tres réplicas. Se incluye además el incremento debido a este tratamiento previo con respecto a la extracción mecánica convencional como técnica control. En todos los tratamientos hubo un incremento en el rendimiento de extracción respecto de la técnica control por extracción mecánica convencional.

Tabla 4. Rendimiento e incremento de extracción con pre-tratamiento enzimático con Inozyme para semillas de colza enteras y molidas.

Enzima A: Inozyme								
Condiciones: T: 40 °C, pH: 4,0, m: 250 g agua/100 g semilla								
	E/S		Tiempo		Estado		Rendimiento	Incremento
Run #	[g/100 g]		[hora]				%	%
1	0,2500	+1	3	+1	Entera	+1	33,2±0,15	37,2
2	0,1563	0	2	0	Entera	+1	31,2±0,20	28,9
3	0,0625	-1	3	+1	Entera	+1	29,6±0,15	22,3
4	0,0625	-1	1	-1	Entera	+1	29,7±0,15	22,7
5	0,1563	0	2	0	Entera	+1	31,3±0,21	29,3
6	0,2500	+1	1	-1	Entera	+1	31,3±0,15	29,3
7	0,1563	0	2	0	Molida	-1	32,4±0,21	33,9
8	0,2500	+1	1	-1	Molida	-1	32,3±0,18	33,5
9	0,1563	0	2	0	Molida	-1	32,3±0,16	33,5
10	0,0625	-1	1	-1	Molida	-1	31,3±0,10	29,3
11	0,0625	-1	3	+1	Molida	-1	30,3±0,15	25,2
12	0,2500	+1	3	+1	Molida	-1	34,5±0,15	42,6
	Técnica Control EMC (P: 50 MPa, T: 48 °C)						24,2±0,36	0,0

Se observó que tanto el aumento de la relación E/S como el aumento del tiempo de hidrólisis enzimática, produjeron un aumento en los valores de rendimiento de extracción. Sin embargo en el nivel bajo de relación E/S no hay aumento del rendimiento con el aumento del tiempo de contacto.

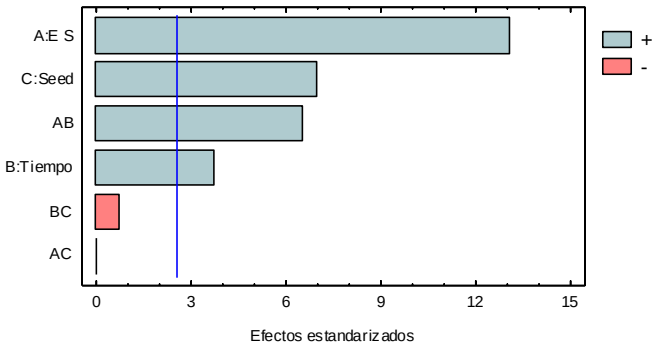


Fig. 5. Diagrama de Pareto estandarizado para Rendimiento con tratamiento previo de hidrólisis enzimática.

La figura 5 muestra el gráfico de Pareto de los efectos estandarizados para el Rendimiento. Se destacan en él cada uno de los efectos estimados en orden decreciente de magnitud. Se observa que el efectos A: E/S, B: tiempo, C: Semilla, y la interacción AB, se extienden más allá de la línea de referencia, estableciendo que son efectos significativos con un nivel de confianza del 95%. Se observa que los efectos A: E/S, B: tiempo, C: Semilla, y la interacción AB tienen el estadístico p-valor inferior a 0,05, indicando que son significativamente diferentes de cero al 95,0% de nivel de confianza. Por su parte, el estadístico R-cuadrado indica que el modelo así ajustado explica el 98,23 % de la variabilidad en Rendimiento. El modelo de regresión ajustado a los datos observados y excluidas las interacciones no significativas, se puede escribir como:

$$\text{Rendimiento} = 30{,}6708 + 0{,}6667 * \text{E/S} - 0{,}2667 * \text{T} + 0{,}7626 * \text{Semilla} + 5{,}4667 * \text{E/S} * \text{T} \quad \textbf{(1)}$$

donde:
Rendimiento: (ml/100 g),
E/S: relación enzima/semilla (g/100g), rango de experimentación [0,0625-0,2500 g/100g],
T: tiempo de contacto (h), rango de experimentación [1-3 h],
Semilla: semilla entera o molida.

Del análisis ANOVA Factorial se concluye que el rendimiento de extracción obtenido empleando la semilla molida para el pre-tratamiento enzimático fue mayor al obtenido con semilla entera, independiente del principio enzimático empleado. La

figura 6 muestra el rendimiento de extracción frente al tipo de enzima empleado y la interacción con la condición de la semilla.

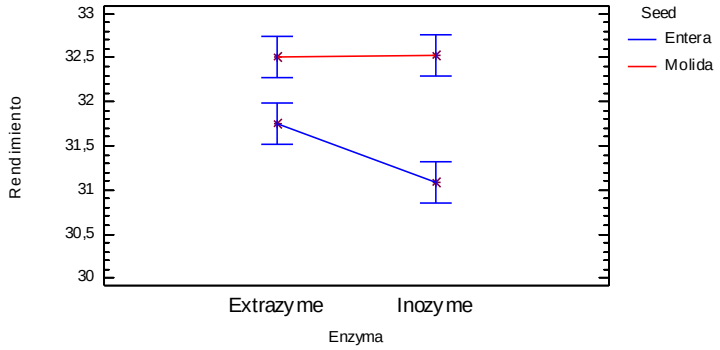


Fig. 6. Diagrama de Rendimiento (ml/100 g) frente a tipo de enzima e interacción con la condición de la semilla. Se incluyen los intervalos LSD.

Por su parte, el rendimiento de extracción aumentó con la relación E/S. Se observa que los mayores rendimientos se lograron cuando los tratamientos enzimáticos se realizaron con la semilla molida. La figura 7 muestra el rendimiento de extracción frente a la relación E/S y la interacción con la condición de la semilla.

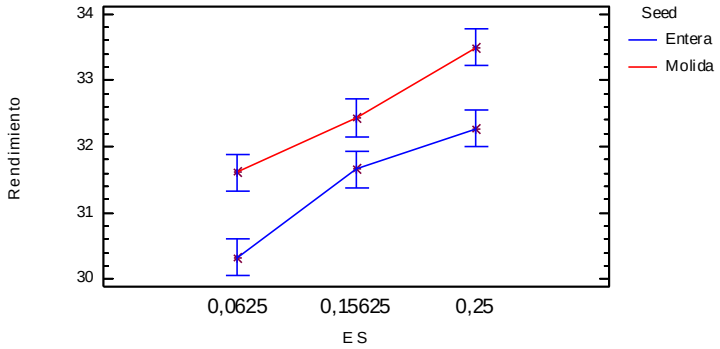


Fig. 7. Diagrama de Rendimiento (ml/100 g) frente a tipo de enzima e interacción con la condición de la semilla. Se incluyen los intervalos LSD.

4 Conclusiones

Adecuadas condiciones de conservación post-cosecha de la semilla se corresponden con valores reducidos de actividad acuosa. Es suficiente la adición de pequeñas cantidades de agua para incrementar en gran medida la actividad acuosa.

La acción del agua como disolvente primario compatible con el medio ambiente no es suficiente en cuanto a la modificación estructural de los tejidos y paredes celulares vegetales favoreciendo cualquier otro tratamiento posterior de extracción de aceite. Sin embargo, es de utilidad esta línea experimental a fin de conocer condiciones y relaciones de agua a emplear en otros procesos acuosos más efectivos.

Los incrementos de los rendimientos obtenidos variaron entre 29 y 37 % para semillas enteras y entre 34 y 43 % para semillas molidas, coincidentes con los valores disponibles, para semillas de colza tratadas previamente por hidrólisis enzimática con mezcla de pectinasa y proteasa y con mezclas de amilasa, βglucanasa y nproteasa. Los rendimientos obtenidos son cercanos a los valores reportados empleando pectinasa a concentración 0,250 g/100 g a 50 °C y tiempo de hidrólisis de 7 horas. Una línea exploratoria de interés llevó a considerar someter a la semilla a un proceso de rotura y desintegración mecánica simultánea a la acción hidrolítica enzimática con el fin de reducir los tiempos de contacto y mejorar las condiciones de extracción de aceite.

En las pruebas en escala de laboratorio realizadas para evaluar la acción degradativa de las enzimas comerciales utilizadas resultaron significativas sobre el rendimiento de extracción la relación enzima/semilla (E/S), el tiempo de contacto y el estado de la semilla (entera o molida). El rendimiento de extracción obtenido empleando la semilla molida para el pre-tratamiento enzimático es mayor al obtenido con semilla entera, y ligeramente superior para la enzima comercial EXTRAZYME. El rendimiento de extracción aumenta con el aumento de la relación E/S para cada tipo de enzima empleado. Sin embargo para relaciones E/S elevadas (cercanas a 0,250 g/100 g) no hay diferencias significativas en emplear una u otra. El rendimiento de extracción aumenta con el aumento del tiempo de contacto. A tiempos bajos hay diferencia con relación al tipo de enzima empleado, mientras que a tiempos del orden de 3 horas, se alcanzan rendimientos beneficiosos sin atender a tal condición. Los máximos incrementos de los rendimientos obtenidos son del 37 % aproximadamente, para semillas enteras y del 43 % para semillas molidas.

5 Agradecimientos

Este trabajo ha sido desarrollado y financiado en el marco del Proyecto de Investigación 2011-2013 Código 06/L109 de la Secretaría de Ciencia Técnica y Posgrado de la UNCuyo, conjuntamente al homónimo del período 2009-2011 y forma parte de la Tesis Doctoral "EVALUACIÓN DE METODOS ALTERNATIVOS PARA LA MEJORA EN RENDIMIENTO DE LA EXTRACCIÓN MECANICA DE ACEITE DE SEMILLA DE COLZA", desarrollada y defendida por el Director del mismo, como requisito para optar al grado académico de Doctor en Ingeniería de los

Alimentos. El autor desea expresar su agradecimiento a las Directoras de Tesis Dra. María E. Balanza y Dra. Alicia L. Ordoñez.

6 Referencias

1. Willems, P.; Kuipers, N.J.; De Hann, A.B.: Hydraulic prressing of oilseeds: Experimental determination and modeling of yield and pressing rates. Journal of Food Engineering 89, 8-16. (2008).
2. Mrema G.C.; McNulty P.B. Mathematical model of mechanical oil expression from oilseeds. Journal of Agricultural Engineering Research, 31 (5), 361 – 370. (1985).
3. Voges, S., Eggers, R., Pietsch, A., Gas assisted oilseed pressing. Separation and Purification Technology (2008), doi:10.1016/j.seppur.2008.03.039
4. Willems, P.; Kuipers, N.J.; De Hann, A.B.: Gas assisted mechanical expression of oilseeds: Influence of process parameters on oil yield. Journal of Supercritical Fluids 45, 298-305. (2008).
5. Guderjan, M., Elez-Martinez, P., Knorr, D., Application of pulsed electric fields at oil yield and content of functional food ingredients at the production of rapeseed oil. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 8 55-62. (2007).
6. Singh, J., Bargale, P.C.: Development of a small capacity double stage compression screw press for oil expression. Journal of Food Engineering 43, 75-82. (2000).

Biodiesel a Partir de Aceite Vegetal Usado

Nehuén Sebastián Angileri, Rodrigo Martín de la Llana[a].

[a] Universidad Tecnológica Nacional, Av. Rodriguez 273, Ciudad Mendoza, Argentina.
angilerinehuen@gmail.com.ar, delallanarodrigo@gmail.com.

Resumen. Debido al gran aumento en los últimos años de la producción de Biodiesel, como un combustible alternativo al Diesel derivado del petróleo, poniendo mayor énfasis en su menor impacto ambiental y colocando a la Argentina como uno de los mayores productores mundiales, es que surge el proyecto de instalar una planta productora de Biodiesel. En un desafío diario se buscan materias primas de menor valor para la producción de éste biocombustible y principalmente que la materia prima disponible no sea de grado alimenticio. Es por esto que surge la idea de su producción a partir de "Aceite Vegetal Usado". Uno de los mayores contaminantes de agua dulce en las grandes urbes son los aceites vegetales utilizados para la cocción de alimentos.

La presente tesis surge como la necesidad de reprocesar estos aceites, convirtiéndolos en un biocombustible, el cual puede funcionar en cualquier motor de combustión interna de ciclo Diesel, es decir que se aprovecha un residuo para generar un combustible amigable con el medio ambiente. El mismo consta del análisis, evaluación y diseño de una planta productora de Biodiesel. Se encuentra dividido en capítulos que tratan de manera aislada y en detalle los diferentes aspectos referidos al mismo.

Palabras Clave: Biodiesel, Biocombustibles, Aceite vegetal usado, BIOAVU.

Estudio de la Contaminación con Mercurio en una Zona Crítica del Canal Cacique Guaymallén

López, M.; Clausen, M.R.; Guzmán, J.; Narvarte, C.; Quiroga, A.; Ferrari, M.; Quintal, A.; Herrera, S.; Dragón, G.; Meneces, L.

Laboratorio de Análisis Instrumental - Facultad de Ingeniería – UNCUYO. Centro universitario s/n. Pque. Gral. San Martín – Mendoza.

mclausen@uncu.edu.ar, malopez@fca.uncu.edu.ar

Resumen. La contaminación con mercurio producida en el año 2010 del agua ingresante a dos plantas potabilizadora de Mendoza a través del Canal Cacique Guaymallén, estuvo asociada a una actividad productiva en particular. Se establece la posibilidad de que ese metal esté acumulado y continúe migrando por distintas vías al agua de bebida y riego. Se establecieron como objetivos, conocer la realidad del estado de contaminación con mercurio del tramo más sospechado del canal Cacique Guaymallén; investigar una problemática local con posibles consecuencias nefastas, logrando diseñar una metodología de muestreo.Se definió el tramo del canal a estudiar según sus características de obra hídrica y en relación al posible enriquecimiento de mercurio. Se establecieron siete puntos de muestreo y se extrajeron dos muestras por cada punto de muestro. Se procesaron y analizaron de acuerdo especificaciones de las Normas EPA.Se utilizó para la determinación un equipo de Absorción Atómica con asistencia de generador de hidruros por vapor frío.A pesar de haber transcurrido tres años de la contaminación, se puede observar que el riesgo sigue latente, ya que se han obtenidos resultados superiores a los legislados por la Ley de residuos peligrosos.

Palabras claves: Mercurio, suelo, agua, contaminación.

Bioenergía a Partir de Materias Primas Renovables

Nehuén Angileri[a], Natalia Virginia Spano[a], Dante Bragoni[a]

[a] Instituto de Energía, Universidad Nacional de Cuyo, Padre Contreras 1300,
5500 Parque General San Martín, Mendoza, Argentina
angilerinehuen@gmail.com, spano.natalia@gmail.com

Resumen. El programa de bioenergía de la UNCuyo se centra en estudiar el ciclo de biocombustibles, como biodiesel, biogás, bioetanol y glicerina, abarcando desde la recepción de la materia prima hasta las técnicas de producción de los mismos.
El biodiesel está compuesto por metil-ésteres de ácidos grasos, se obtiene a partir de la transesterificación de aceites vegetales o grasas animales. Se trata de un combustible de características similares al gasoil, tiene mejores propiedades lubricantes y un índice de cetano mayor.
El bioetanol tiene como fin ser utilizado en motores nafteros, siendo adicionado a la nafta. Se utiliza el topinambur para la producción del combustible. Se trata de un tubérculo de alto contenido proteico de gran resistencia a cambios climáticos y plagas.
La glicerina, obtenida como subproducto en el proceso de producción de biodiesel, se utiliza como combustible para combatir heladas. Al poseer una baja temperatura de combustión debe mezclarse con biodiesel, de otra manera formaría acroleína
Esta glicerina también se utiliza como co-sustrato en la producción de biogás (mezcla de gases compuesta principalmente por metano y dióxido de carbono, que se obtiene en el proceso de digestión anaeróbica a través de la liberación de energía química contenida en la materia orgánica).

Palabras Clave: Bioetanol, Biodiesel, Glicerina, Biogás, Topinambur.

Caracterización de los Sedimentos del Dique Potrerillos

María Cristina Quiroga[a], Liliana Ferrer[a], Alejandra Sebök[a] , María Florencia Gobbi[a]

[a] Grupo de Estudios sobre Tratamiento de Aguas Residuales, Laboratorio de Efluentes Líquidos,IMA,
DETI, Facultad de Ingeniería, UNCuyo
(5500), Mendoza,Argentina
mcquiroga@fing.uncu.edu.ar, lferrer@fing.uncu.edu.ar, ale_sebok@hotmail.com, mfgobbi25@hotmail.com

Resumen El Dique Potrerillos posee disueltas sales y sustancias que nos dan información sobre el tipo de suelo que atraviesa el cauce de agua que lo alimenta (origen litogénico), aunque es modificada por la actividad humana (origen antropogénico). Algunos de estos iones se encuentran en forma mayoritaria, mientras que otros se hallan a niveles de trazas, como es el caso de los metales pesados. Son los objetivos de esta investigación: caracterizar la calidad de las aguas y los sedimentos, según la legislación vigente sobre aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable.

Se llevan a cabo muestreos estacionales de aguas en ocho puntos, y de sedimentos en la entrada del lago y en la desembocadura del río Blanco. La determinación de metales pesados se realiza mediante Espectrometría de Absorción Atómica.

La importancia del estudio de metales pesados en aguas y sedimentos se debe a su elevada toxicidad, alta persistencia y rápida acumulación en los organismos vivos, entre ellos se analizan: Ba, As, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb, Ag, Se, Zn. Es relevante conocer la disponibilidad de los mismos, es decir las condiciones en que pasarán del sedimento al agua y de allí a los seres vivos que la consumen.

Palabras Clave: Sedimento, Metales pesados, Aguas superficiales, Especiación.

Efecto de la Hidrólisis Enzimática Simultánea a la Reducción de Tamaño en la Mejora en Rendimiento de Extracción de Aceite de Semilla de Colza

Daniel Castro[a], Carlos Carullo[b], Alejandro Gentile

[a] Coordinador Planta Piloto de Procesos Unitarios FCAI - UNCuyo
dcastro@fcai.uncu.edu.ar

[b] Director Departamente de Ingeniería y Gestión FCAI – UNCuyo
ccarullo@fcai.uncu.edu.ar

Resumen. La extracción de aceites vegetales de semillas oleaginosas emplea tanto métodos químicos de extracción con beneficiosos rendimientos, menor calidad y riesgo en cuanto a seguridad y toxicología, como métodos físicos que producen aceite de buena calidad y rendimientos reducidos. Actualmente se emplean tratamientos previos a la extracción, entre los que se destaca la hidrólisis enzimática, con el fin de debilitar la estructura vegetal y favorecer la migración de aceite. Sin embargo, se ha reportado que tales tratamientos demandan tiempos prolongados de contacto. En este contexto se diseñó equipamiento en escala de banco que permite la hidrólisis enzimática simultánea a la reducción de tamaño, como etapa previa a la extracción mecánica convencional. Como objetivo específico se propuso evaluar la influencia de la hidrólisis enzimática simultánea a la reducción de tamaño. Para evaluar la eficiencia conjunta entre hidratación simultánea a reducción de tamaño, se propuso un diseño factorial 2^3, alcanzado un incremento máximo de rendimiento del 5%. Para evaluar la eficiencia conjunta entre hidrólisis enzimática simultánea a reducción de tamaño, se incorporó la relación E/S (enzima/semilla). La implementación en escala banco arrojó incrementos muy alentadores en el rendimiento de extracción aproximadamente de hasta 44%, correspondientes al 94% de eficiencia de extracción.

Palabras Clave: colza, enzima, hidrólisis enzimática, extracción

Determinación de la Huella Ecológica, de Carbono e Hídrica de un Grupo de Estudiantes Secundarios y el Medio en que Habitan. Caso de Estudio: Escuela N° 4143 - El Algarrobal, Mendoza

Silvia Curadelli[1], Barbara Civit[1,2], Roxana Piastrellini [1,2], Miriam López[1], Manuel García[1], Yemina Maccagno[1], Pablo Arena[1,2]

[1] Grupo CLIOPE, Universiddad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza, Cnel Rodriguez 273, Ciudad, Mendoza, Argentina.
silvia.curadelli@gmail.com, mclopez@frm.utn.edu.ar, manu31g@yahoo.com.ar, yeminamaccagno@gmail.com

[2] Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
bcivit@frm.utn.edu.ar, roxana.ppp@gmail.com, aparena@frm.utn.edu.ar

Resumen. La importancia de la conservación de recursos como: agua y suelo es crítica en tierras secas por ello se realizan constantes esfuerzos por cuantificar las consecuencias que las actividades antrópicas causan sobre el agotamiento de los recursos. El proyecto es una experiencia piloto en un ámbito acotado, tiene amplia relevancia en tierras secas como la provincia de Mendoza en general, y en El Algarrobal en particular, donde el suelo y el agua son recursos críticos. El uso ineficiente y sin control de estos recursos puede degradarlos hasta el extremo de la irreversibilidad causando desertificación. El objetivo general es "profundizar sobre los aspectos del desarrollo sostenible de las tierras secas, mediante la estimación de tres indicadores de sostenibilidad: huella ecológica, de carbono e hídrica de un grupo de individuos en edad escolar y su medio ambiente. Los datos se obtuvieron de un relevamiento realizado a los estudiantes de la escuela. Se espera que con los resultados se dé comienzo a una línea de acción de capacitación, concientización y promoción de respuestas para alcanzar el desarrollo sostenible en tierras secas, comenzando por las generaciones jóvenes que serán quienes tengan a su cargo la toma de decisiones cruciales en el corto plazo, con impacto en el mediano y largo plazo.

Palabras Clave: Desarrollo sostenible, Huella ecológica, Huella de carbono, Huella Hídrica, Comunidad escolar.

Cambio Estructural de una Arcilla Natural Mediante Pilarización con Polihidroxicationes de Aluminio

Di Santo, R.[1]; Martínez, S.[1]; Carbajal Ramos I.[1]; González, J.1; Duarte, M.[2]; Carbajal Alejandra[3]

(1) Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria - Universidad Nacional de Cuyo - San Rafael - Mendoza

(2) Instituto de Ingeniería Electroquímica y Corrosión (INIEC) - Universidad Nacional del Sur - Bahía Blanca.

(3) Instituto Balseiro. smartinez@fcai.uncu.edu.ar; rdisanto@fcai.uncu.edu.ar

Resumen. Las arcillas laminares intercaladas con polihidroxicationes metálicos constituyen un grupo muy importante de materiales con una estructura microporosa de dimensiones moleculares. En este trabajo el objetivo fue preparar bentonitas pilarizadas con polihidroxicationes de aluminio, a partir de bentonita natural de grado enológico. El procedimiento consistió en una clasificación por tamaño mediante tamizado mecánico, seleccionándose las partículas de malla 80. Se preparó la solución pilareante de acuerdo al procedimiento descrito por Torkatz y Shabtai, mediante adición a 80°C, obteniendo una relación OH/Al de 2,2. Posteriormente, se envejeció esta solución a 80°C, durante dos horas, y a 20°C durante 24 horas y se adicionó lentamente sobre una suspensión de la arcilla en agua al 2% (p/v) a 60°C, teniendo una relación de 12 mmoles Al/g de arcilla. Finalizada la adición inició el proceso de intercalación, el cual consiste en 2 horas de calefacción a 80 °C y 12 horas a 20°C. Las muestras así obtenidas se lavaron con agua destilada, hasta lograr una diferencia de conductividad menor al 1,2% con la solución de lavado. Los análisis químicos y termogravimétricos comprobaron la pilarización. La difracción de rayos X permitió comprobar que se logró un incremento de más del 250% del área específica.

Palabras Clave: Pilarización, Polihidroxicationes, Bentonita.

Obtención y Purificación de Aceite de Colza para la Producción de Biodiesel

Maggioni, R., Di Santo R., Gentile A., Castro D., Vignoni E., Ortega F., Martínez, D., Franco L.

Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria, Bernardo de Irigoyen N° 373, CP 5600, San Rafael, Mendoza, Argentina.
rmaggiom@fcai.uncu.edu.ar, rdisanto@faci.uncu.edu.ar

Resumen. La presente propuesta contempla, la caracterización de las propiedades del aceite de colza y el estudio de las etapas de refinación, optimización de la transesterificación catalizada en fase homogénea, y finalmente la caracterización del Biodiesel obtenido, por medio de análisis fisicoquímicos de acuerdo a la normativa vigente. Al aceite se le realiza una purificación previa a la obtención del Biocombustible que consiste en un desgomado y posteriormente, una extracción de ácidos grasos libres presentes en elevada cantidad. Luego en la etapa de producción, se utiliza Hidróxido de Sodio como catalizador y se hace reaccionar el Alcohol Metílico con el aceite de colza virgen. La operación siguiente es la decantación natural que permite separar los productos más pesados y densos e insolubles como son los ácidos grasos y el glicerol formado. Podemos concluir que el aceite fue desgomado, pero posee un índice de acidez 5 veces mayor que el valor máximo recomendado para la transesterificación alcalina homogénea, por lo que se induce que no es aceite refinado. En la Etapa de Refinación, vemos una excelente disminución en el índice de acidez en las muestras neutralizadas, lo que sin duda permitiría aumentar el rendimiento a un 98% en biodiesel como suele expresar la bibliografía.

Palabras Claves: Aceite de Colza, Desgomado, Biodiesel

Nanorods de Carbono, Síntesis y Aplicaciones al Almacenamiento de Energía

Julián Agustín Tazare[a], Laura Daniela Aguilera[a], Verónica Pamela Aguirre[a], Jorge Carlos Saromé[a], Guillermo Daniel García[a], Fabricio Orlando Sanchez Varretti[a],

[a] Grupo de Físico Química de Sistemas Complejos (GFQSC), Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Rafael, Gral. J. J. de Urquiza, 340M5602GCH.
julian.tazare@gmail.com, laya_aguilera@hotmail.com, pame.pamford@gmail.com, licqcajorge@yahoo.com.ar, ggarcia@frsr.utn.edu.ar, fsanchez@frsr.utn.edu.ar

Resumen. El almacenamiento de energía tiene diversas aplicaciones en el mundo actual sobre todo en los dispositivos electrónicos. Muchas investigaciones se han basado en incrementar la potencia de salida de las baterías en base a las baterías de Ion-Litio. Se han aprovechado los beneficios que las mismas aportan, tales como su elevada capacidad energética, resistencia a la descarga y su capacidad para funcionar con un elevado número de ciclos de regeneración. El presente trabajo de investigación consiste en la fabricación de estructuras de carbón mesoporoso CMK-3 a partir de estructuras SBA-15 para su posterior utilización en ánodos de baterías recargables. El SBA-15 es un sintetizado que se emplea como base para la obtención carbón nano estructurado. El proyecto es de carácter experimental, su finalidad es llevar a cabo la fabricación de la plantilla sobre la que se depositará el carbón mesoporoso. Se tiene por objetivo la búsqueda de variantes a los métodos propuestos para la obtención de resultados similares, diferentes aplicaciones de los productos, y compuestos alternativos para su constitución, buscando maximizar la viabilidad del proceso y ampliar el campo de aplicación del mismo. Las dificultades que se presentan en el desarrollo del procedimiento se vinculan fundamentalmente a problemas logísticos y de aprovisionamiento. Todas las etapas alcanzadas hasta el momento permiten vislumbrar una viabilidad en el procedimiento el cual permite la expansión de estos productos a otros campos de aplicación.

Palabras Clave: Baterias, Ion Litio, Nano Rods, Síntesis.

Estructuras Fractales Caracterizadas Mediante Difusión

Lucas Ismael Cándia[a], Guillermo Daniel García[a], Fabricio Orlando Sanchez Varretti[a]

[a] Grupo de Físico Química de Sistemas Complejos (GFQSC), Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Rafael.
Gral. J. J. de Urquiza 340M5602GCH.
lucashk2003@yahoo.com.ar, ggarcia@frsr.utn.edu.ar, fsanchez@frsr.utn.edu.ar

Resumen. Las movilidades de los iones conductores de un material vítreo presenta una dependencia con la frecuencia del campo aplicado que no está completamente comprendida en la actualidad. Los requerimientos tecnológicas actuales necesitan de la comprensión de las estructuras subyacente a escala molecular. En el trabajo que presentamos hemos caracterizado mediante la difusión de Caminantes al Azar (Random Walks), que están sujetos a un "Bias", a estructuras fractales generadas mediante Agregados Limitados por Difusión (DLA). Se reporta en la literatura el análisis a escala nanométrica de estructuras desordenadas a través del estudio de la difusión de iones al ser sometidos a un campo electromagnético variable. Se ha implementado la simulación de difusión de partículas sobre una estructura DLA. El algoritmo utilizado permite la difusión de caminantes al azar para luego medir su posición respecto a los pasos del resto de los caminantes y analizarlos estadísticamente. Obtenemos posteriormente la posición de todas los caminantes. Los pasos anteriores son repetidos variando la probabilidad que tiene cada caminante de moverse en cada una de las cuatro direcciones posibles, de este modo simulamos el efecto producido por el campo variable. Por último se comparan los resultados obtenidos con datos experimentales para poder generar un modelo que permita realizar predicciones en cuanto a estructuras y comportamiento de diferentes sustratos.

Palabras Clave: Difusión, Random Walk, Iones, Fractal.

Importancia de las Operaciones Vectoriales en Mecánica de Fluidos con Elementos de Contorno

Nicolás Guillermo Tripp[a,b], Sergio Preidikman[a,c], Anibal Edmundo Mirasso[b]

[a]Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina
ntripp@mendoza-conicet.gov.ar
[b] Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo, Argentina
spreidikman@efn.uncor.edu.ar
[c] Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina
aemirasso@uncu.edu.ar

Resumen. Para estudiar el comportamiento de turbinas eólicas es necesario simular el movimiento de fluidos viscosos no-estacionarios en condiciones complejas. La utilización de métodos basados en elementos de contorno permite reducir el problema tridimensional al análisis de la superficie de las aspas únicamente. La desventaja del método radica en el crecimiento del tamaño del problema con cada paso de tiempo adicional. La eficiencia del algoritmo de cálculo en la explotación del hardware disponible establece un limite del tiempo máximo que es posible simular. En el presente trabajo se presentan dos versiones del método de red de vórtices no estacionarios (UVLM), la primera programada utilizando operaciones escalares y la segunda utilizando las funciones vectoriales del software libre GNU Octave. Las funciones vectoriales contienen instrucciones que aprovechan las capacidades propias de los microprocesadores modernos, como por ejemplo, el procesamiento de múltiples datos simultáneamente (SIMD). Se presentan los resultados de la solución de un problema particular y se expone la importancia de la vectorización en este tipo de códigos.

Palabras Clave: elementos de contorno, UVLM, SIMD.

PMIP6: Análisis, Evaluación y Comparación de ambientes Proxy Mobile IP en versión 6, aplicado a Redes de Avanzada

Carlos Taffernaberry*, Gustavo Mercado*, Sebastian Tobar*, Cristian Pérez Monte*, Patricia Clérigo*, Ines Robles*, Marcela Orbiscay§, Santiago Pérez*, Raúl Moralejo*, Joel Noguera*

*gridTICS – Grupo UTN de I&D en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
Departamento de Electrónica - UTN Facultad Regional Mendoza
Rodríguez 273, Capital - Mendoza
{carlos.taffernaberry, gustavo.mercado}@gridtics.frm.utn.edu.ar

§ Centro Científico Tecnológico de Mendoza CONICET
Av. Dr Ruiz Leal S/N, Capital - Mendoza
morbis@mendoza-conicet.gob.ar

Resumen: El uso de redes avanzadas está produciendo cambios importantes en el ámbito de investigación y educación , otorgando nuevas herramientas que acercan cada vez más a las comunidades científicas y educativas del mundo . De esta forma, las investigaciones se llevan a cabo entre equipos de trabajo distantes geográficamente . Esto permite una mayor interacción y apoyo entre investigadores, colaboración en investigación científica avanzada, etc. Por otro lado, el modelo de conectividad a Internet está evolucionando rápidamente hacia un enfoque basado en la movilidad de los usuarios gracias a la aparición de nuevos dispositivos portátiles y a la cada vez más extensa cobertura de las redes de acceso . El objetivo es que los usuarios puedan ser siempre alcanzables , por terceros , de manera transparente y con independencia de la red en la que se encuentren . Sin embargo , aunque los protocolos de movilidad están estandarizados desde hace tiempo , aún qued an algunos aspectos que es necesario resolver para permitir el despliegue a gran escala del servicio de movilidad. En este sentido , del abordaje de las nuevas herramientas tecnológicas , la importancia del presente proyecto radica en que permitirá , para Redes de Avanzada , Analizar, Evaluar y Comparar distintas alternativas disponibles de movilidad IP en su versión 6.

Palabras Clave: IPV6, Movilidad IP, MIPv6, Proxy Mobile, PMIPv6

Paralelismo y Distribución para la Renderización Realista de Volúmenes en Tiempo Real

Cristian F. Perez Monte[1,2], Gustavo Mercado[1], Fabiana Piccoli[2] , Carlos Taffernaberry[1], Nicolás Alias[1], Germán Bianchini[3], Paola Caymes Scutari[3], Cristian Luciano[4], Silvio Rizzi[4]

[1]Grupo UTN gridTICS - Departamento de Ingeniería en Electrónica
UTN Facultad Regional Mendoza
Rodríguez 273, Capital – Mendoza - Argentina
{cristian.perez, gustavo.mercado,nicolas.alias}@gridtics.frm.utn.edu.ar

[2]Grupo Lidic
Universidad Nacional de San Luis
Ejército de los Andes 950, San Luis - Argentina
{mpiccoli,cristian.perez}@unsl.edu.ar

[3]Grupo UTN LICPaD - Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información
UTN Facultad Regional Mendoza
Rodríguez 273, Capital – Mendoza - Argentina
{gbianchini, pcaymesscutari}@frm.utn.edu.ar

[4]Department of Mechanical and Industrial Engineering
University of Illinois at Chicago
842 W Taylor St., 2039 Engineering Research Facility – Chicago, IL 60607 – EE.UU.
{clucia1,srizzi2}@uic.edu

Resumen. Los métodos actuales de visualización de imágenes médicas basadas en datos volumétricos obtenidos por escáneres de resonancia magnética y tomografía computada proporcionan una herramienta fundamental tanto en el diagnóstico por imágenes como también en el entrenamiento médico y el planeamiento pre-quirúrgico. El procesamiento de dichos datos requiere de una potencia de cómputo extremadamente grande para permitir un realismo visual suficiente como para determinar un correcto diagnóstico y a la vez contar con la fluidez y resolución necesaria para que el sistema pueda ser utilizado en la práctica. La utilización de algoritmos de renderización de raytracing por Monte Carlo (MCRT) permite un nivel de realismo lo suficientemente alto para cumplir con las expectativas pero con una *performance* muy baja para los niveles de relación señal ruido generalmente requeridos. Como solución a esta problemática se plantea la utilización de una arquitectura masivamente paralela, compuesta de varios nodos o unidades de cómputo, conectados por una red, cada uno de dichos nodos con un GPU y múltiples CPUs. Con esta arquitectura se logra una potencia de cálculo adecuada a un costo viable.

Palabras Clave: Volume Rendering, MCRT, Ray Tracing, GPU, Scientific Visualization, Parallel Processing.

Eyecciones Coronales de Masa Solares Provenientes de la misma Región Activa: Dos Perspectivas Diferentes

Hebe Cremades[a], Maximiliano Crescitelli[b], Tobias Stirner[a,c], Cristina Mandrini[d], Brigitte Schmieder[e]

[a] Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza, y CONICET,
Rodriguez 243, M5502AJE Mendoza, Argentina
hebe.cremades@frm.utn.edu.ar

[b] Instituto Balseiro, Universidad Nacional de Cuyo, Av. Bustillo 9500,
R8402AGP San Carlos de Bariloche, Río Negro, Argentina
max.crescitelli@gmail.com

[c] Ludwig-Maximilians-Universität München, Faculty of Physics,
Geschwister-Scholl-Platz 1, 80539, Munich, Alemania
tobiasstirner@web.de

[d] Instituto de Astronomía y Física del Espacio (CONICET-UBA) y FCEN (UBA),
CC. 67 Suc. 28, 1428 Buenos Aires, Argentina
mandrini@iafe.uba.ar

[e] Observatoire de Paris, Section de Meudon, LESIA,
92195 Meudon Principal Cedex, Francia
brigitte.schmieder@obspm.fr

Resumen. El complejo formado por las regiones activas 11121 y 11123 (números de NOAA), ubicado aproximadamente sobre el meridiano central solar, resulta de gran interés científico, ya que dio origen a notorios eventos el día 11 de noviembre de 2010. La emergencia de nuevos bipolos magnéticos produjo la desestabilización de filamentos activos y quiescentes que fueron eyectados en forma de eyecciones coronales de masa (CMEs) dirigidas hacia la Tierra. Desde esta perspectiva, los eventos son observados por el telescopio AIA a bordo del Solar Dynamics Observatory (SDO) y los coronógrafos LASCO del Solar and Heliospheric Observatory (SOHO). Quiso el azar que para esta fecha las naves gemelas del Solar-Terrestrial Relations Observatory (STEREO) se encontraran separadas aproximadamente 180º, es decir, observando al complejo desde ambos limbos solares y de manera privilegiada a las CMEs que en él se originaron. Al comparar la cantidad de eventos observados desde la perspectiva terrestre y desde la ortogonal, provista por STEREO, se advierte que el número de eventos varía considerablemente. En este aspecto, las implicancias para los pronósticos del clima espacial son serias, indicando graves falencias al omitir avisos de alarma cuando no se cuenta con observaciones ortogonales a la línea Sol-Tierra.

Palabras Clave: Sol: corona, Sol: eyecciones coronales de masa, Clima espacial

Estudio Preliminar sobre la Valoración de los Espacios Verdes Abiertos Necesarios para Compensar el Sellamiento del Suelo Urbano en Tierras Secas. El Caso del Área Metropolitana de Mendoza

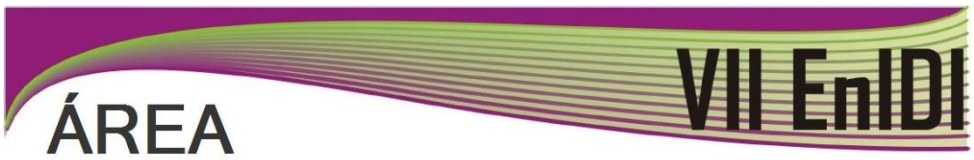
Mariela Arboit[1], Bárbara Civit[1,2]

[1] INCIHUSA - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
marboit@mendoza-conicet.gob.ar

[2] Grupo CLIOPE, Universiddad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza, Cnel Rodriguez 273, Ciudad, Mendoza, Argentina.
bcivit@frm.utn.edu.ar

Resumen. El aumento demográfico acompañado de diversos problemas socioeconómicos tiene como consecuencia una marcada tendencia hacia la urbanización, crecimiento en la mayoría de los casos desordenado, sin políticas de ordenamiento territorial ni pautas de sustentabilidad ambiental. La urbanización intensiva está asociada a la ocupación y modificación del suelo, que en las tierras secas, entendidas como aquellas donde la relación entre la precipitación anual (P) y la evapotranspiración potencial (ET0) está comprendida entre 0,05 y 0,65, el uso no sustentable del suelo deriva en procesos de desertificación. Una de las variables que se considera para determinar el impacto por uso del suelo en tierras secas es la cobertura vegetal, porque se relaciona con el uso del agua, la erosión y el índice de aridez. El objetivo de este estudio es evaluar el impacto ambiental que causa la superficie cubierta por edificaciones en el Gran Mendoza. En este caso de aplicación se considera una muestra representativa de 32 manzanas urbanas seleccionadas de acuerdo a la forma, orientación y morfología edilicia. Los resultados preliminares muestran que los espacios verdes públicos y privados ocupan sólo el 21% de la superficie total de las manzanas consideradas, mientras que el 79% restante está ocupado por área construida, área de veredas y calle y área de acequias cerradas y abiertas. Las áreas verdes abiertas son insuficientes para compensar el impacto por uso del suelo en tierras secas. Se recomienda evaluar estrategias de compensación como incremento de espacios verdes con especies de bajo requerimiento hídrico, o cubiertas de enredaderas para techos, entre otras.

Palabras Clave: Morfología urbana, Espacios verdes, Sellamiento de suelo, Tierras secas, Uso del suelo, Sustentabilidad ambiental.



DOCTORANDOS

Diseño de Procesos para la Aplicación de Microorganismos en el Agua con Alto Contenido de Nitratos

Oscar Daniel Galvez[1]

[1] Grupo GYSAM, Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional,
Rodriguez 273, Ciudad de Mendoza
CP (M5502AJE), Argentina
licdanielgalvez@yahoo.com.ar

Resumen. Compuestos que contienen nitrógeno liberado al medio ambiente puede crear serios problemas, como eutrofización en ríos, deterioro de la calidad del agua y peligro potencial para la salud humana. La desnitrificación biológica permite la transformación de los compuestos de nitrógeno oxidado por un amplio espectro de bacterias heterótrofas en gas nitrógeno inofensivo con la eliminación de carbono. La eliminación biológica de nitratos es utilizada en tratamiento de aguas residuales industriales y de riego. Regionalmente, hay un problema creciente, en el incremento de los niveles de nitratos en aguas de riego, efluentes y agua potable. Ese incremento es resultante del uso del agua de procesos industriales como agua de riego, uso de agroquímicos ricos en nitrógeno presente en abonos comerciales y en pesticidas empleados en control de plagas. La desnitrificación se puede lograr con varios géneros de bacterias. En la presente investigación se trabajará preferencialmente con bacterias del género Pseudomonas y Thiobacillus. Con el fin de cumplir con estándares de agua potable, hay una zona a explorar para implementar o mejorar procesos biológicos de desnitrificación. Para que estos sean efectivos se mejoraran diseños de procesos biotecnológicos, para que los mismos sean eficientes y para que, a la vez, tengan menores costos.

Palabras Clave: desnitrificación, nitratos, efluentes, proceso, Pseudomonas.

Aplicación de Metodologías de Diseño de "Sistemas de Productos y Servicios Sustentables" y Análisis de Ciclo de Vida (LCA) al Caso de Estudio del Transporte Público Urbano en la Ciudad de Mendoza

Gabriela Baron

Grupo CLIOPE, Universidad Tecnologica Nacional FRM, Av. Carlos Thays S/N,
5500 Mendoza, Argentina
gnbaron@mendoza-conicet.gob.ar

Resumen. Tomando el caso de estudio del transporte público, vemos que el núcleo urbano de la ciudad de Mendoza ha crecido de manera exponencial en el último siglo, incorporando a otros núcleos urbanos en lo que se llama "el gran Mendoza" y que esto ha llevado a un incremento insostenido del flujo de transporte en el centro urbano mendocino. Podemos deducir que el actual sistema de transporte para esta cantidad de personas es una de las mayores causas de contaminación ambiental de la provincia, pero actualmente las alternativas más sustentables carecen de eficiencia, difusión y aceptación social. Surge la urgente necesidad de replantear, entonces, estos sistemas de transporte.

Se propone la aplicación de estrategias de diseño sustentable, en el marco del "diseño de sistemas de productos y servicios" (análisis de ciclo de vida, huellas de los productos y servicios, indicadores ambientales) para el análisis de este caso de estudio; y la subsiguiente generación de un sistema de alternativas a nivel de infraestructura urbana que faciliten el uso de transporte no-motorizado, mejorando la experiencia de los usuarios para que la opción mas sustentable sea mas conveniente y socialmente aceptada.

Palabras Clave: Diseño Sustentable, Transporte no-motorizado, Sistemas de productos y servicios, Análisis de ciclo de vida, Movilidad urbana

Objetivos Especificos:

- Aplicar estrategias de diseno sostenible a un caso de studio de actual importancia y urgencia ambiental.
- Obtener informacion objetiva del impacto ambiental causado por el sistema existente.
- Analizar la posiblidad de nuevas formas de uso compartido para el transporte urbano.
- Establecer parámetros de medición y comparación de variables de sustentabilidad social en relación a estilos de vida sustentables.
- Determinar la factibilidad de cambios en la estructura publica urbana (ciclovias, estacionamientos, areas peatonales, estaciones de carga de carburante o electricidad, carriles preferenciales, etc.) para optimizer el nuevo sistema.
- Definir posibles escenarios de transicion de transicion desde el sistema existente al propuesto.

Objetivos Generales:

- Determinar la eficiencia de distintas metodologias de diseno sustentable mediante su aplicacion al caso de studio del transporte publico urbano
- Generar conciencia social sobre el consumo personal de recursos y promover un cambio en la percepcion sobre el uso de movilidad no motorizada
- Posibilitar la futura implementacion real de los resultados obtenidos en este studio. Asi como su replica, adaptacion e implementacion en otros centros urbanos de Argentina.

Antecedentes: El plan actual de transporte publico en Mendoza y el caso de la bicicleta

En la administración actual del Gobierno Provincial de Mendoza se decidió crear la Secretaría de Transporte, afianzando permanentemente lo que antes era la 'Dirección de transporte'. Con esta medida quedó clara una política orientada a jerarquizar la planificación y la administración del transporte y la movilidad a futuro, acorde a las implicancias de las políticas de transporte en el desarrollo urbano y los usos del suelo. Por este motivo la Secretaría de Transporte comenzó a participar activamente en la definición de estrategias del Plan de Ordenamiento Territorial. Se observa que en el Gran Mendoza crecen en población los Departamentos más alejados del microcentro (Luján 19% en el 2010, Maipú 12% en el 2010) ubicándose sobre áreas semi-rurales. Así, el crecimiento urbano propicia el uso de vehículo privado, debido a las bajas densidades en zonas alejadas sin dotación de infraestructura básica. Las consecuencias son: grandes costos en infraestructura, gran consumo de espacio público por pasajero transportado, contaminación ambiental y congestión.

Dentro de las ultimas medidas desarrolladas para innovar en el sistema actual de transporte encontramos la Resolución de Tecnología, N° 4875/2012 resuelve la implementación de innovaciones tecnológicas mediante dispositivos GPS, GPRS, cámaras de seguridad y el soporte informático correspondiente en todas las unidades del transporte de pasajeros. Esto permite la gestión integral del transporte público de pasajeros, con herramientas como: Organización y Gestión de Paradas y Recorridos, Control de Flota, Cámaras de Seguridad, Control de uso de Tarjetas RedBus y Abonos Especiales, Paradas Inteligentes, etc. El éxito para la integración de dichos sistemas de movilidad depende, no sólo de la implementación de la infraestructura, sino también de la integración y complementariedad entre los diferentes tipos de transporte.

Desde luego este plan de transporte prevee numerosas mejoras a nivel de infraestructura, logística y usabilidad, pero no tiene en cuenta que el mayor potencial de movilidad sustentable esta presente en el transporte no-motorizado, el cual, ha sido escasamente tenido en cuenta.

Estabilidad del Carotenoide Licopeno en Conservas de Tomate

Doctorando: Cecilia Flores, Directora de Tesis: Alicia Ordóñez

Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria. Universidad Nacional de Cuyo. Bdo de Irigoyen 375. San Rafael. Mendoza. cflores@fcai.uncu.edu.ar

Introducción. Los propósitos específicos del plan de trabajo se encuadran dentro del Programa de Investigación y Desarrollo de la UNCuyo: DISEÑO Y VALORACIÓN DE ALIMENTOS FUNCIONALES REGIONALES CON ACCIÓN PREVENTIVA-CURATIVA EN TUMOROGÉNESIS Y OTRAS PATOLOGÍAS. En la Argentina, en general, y específicamente en la provincia de Mendoza, la industria alimentaria está embarcada en el estudio y aprovechamiento de propiedades funcionales naturales de los alimentos y al mismo tiempo en desarrollar productos suplementados que tengan algún efecto beneficioso para la salud. Hay mucha información disponible en cuanto a las enfermedades humanas causadas por estrés oxidativo provocado por radicales libres, tales como: cáncer, enfermedades cardiovasculares, inflamatorias y gastrointestinales, entre otras. Por esta razón es que actualmente se ha incrementado el interés de la aplicación de antioxidantes en tratamientos médicos. El producto a estudiar es de una reconocida importancia económica para Mendoza presentando una probable acción curativa/preventiva en tumorogénesis y otras patologías. Es así que se estudiará la estabilidad del carotenoide licopeno en conservas de tomate y en conservas de tomate fortificadas con vitaminas E, B12 y B6, ácido fólico y selenio con optimización de sus procesos.

Antecedentes. Las diferencias de estabilidad entre los distintos carotenoides están influenciadas por su estructura individual. La reactividad de estos pigmentos en reacciones de captación ("scavenging") de radicales, en general, disminuye al disminuir el número de dobles enlaces coplanares y debido a la presencia de grupos hidroxilos y carbonilos. Dentro de los carotenoides el licopeno es el mejor captador de radicales libres debido a sus 11 dobles enlaces conjugados.

La temperatura actúa como acelerador de la reacción de degradación de los pigmentos. Por lo general, los carotenos con mayor actividad biológica son aquellos que tienen todos sus dobles enlaces en forma del isómero trans, que se transforman parcialmente en la forma cis durante tratamientos térmicos en ausencia de oxígeno; esta reacción de isomerización se puede efectuar durante el proceso de esterilización de productos enlatados, con lo que se pierde parte del poder vitamínico de los carotenos. Estudios recientes revelan que la degradación del b-caroteno y licopeno debida a diferentes condiciones de calentamiento sigue una cinética de primer orden y la primera etapa de degradación es la isomerización reversible del licopeno trans menos coloreada a los isómeros cis más oxidables (Lin & Chen, 2003; Boskovic, 1979).

El escaldado industrial de los alimentos puede producir pérdidas de carotenoides, si bien la inactivación enzimática que produce previene pérdidas posteriores durante el procesado y almacenamiento. En cambio, la congelación, la adición de antioxidantes y la exclusión del oxígeno (vacío, envases impermeables al oxígeno, atmósfera inerte) disminuyen las pérdidas durante el procesado y almacenamiento de los alimentos (Rodriguez-Amaya, 1999).

El escaldado en agua a diferentes temperaturas (50, 70 y 90°C) durante 15 minutos mantiene los niveles de licopeno bastante estables independientemente de las temperaturas ensayadas (Meléndez-Martínez, 2004).

Las condiciones de procesamiento y almacenamiento de productos derivados del tomate pueden causar la degradación del licopeno (Nguyen y Schwartz, 1999; Shi y Le Maguer, 2000). Los factores ambientales tales como el oxígeno, la luz y la temperatura pueden ser muy importantes para la isomerización y la auto-oxidación de licopeno en los productos de tomate (Anguelova y Warthesen, 2000).

Abushita y col. (2000) no observaron cambios en la concentración de licopeno cuando el tomate fresco fue procesado a pasta de tomate. Al contrario Takeoka y col. (2001) reportaron que el procesado térmico de tomate a pasta de tomate puede resultar en una disminución de la concentración de licopeno de 9-28%. Este incremento de la pérdida de licopeno puede estar asociado a un mayor tiempo de procesado. En general, el licopeno en alimentos es relativamente resistente a la degradación comparado con el licopeno puro en sistemas modelos. Otros constituyentes, incluyendo los tocoferoles, el ácido ascórbico, y los antioxidantes fenólicos, pueden ayudar a estabilizar el licopeno durante el procesado.

La biodisponibilidad del contenido de nutrientes de los productos derivados del tomate depende de la transformación que han sufrido, de la duración y condiciones de almacenamiento (Sánchez y col., 2006).

La estabilidad del licopeno en productos de tomate durante el procesamiento térmico (cocinado, concentración, deshidratación, etc.) y la manufactura de la pasta de tomate, salsa de tomate, jugo de tomate, ha sido ampliamente estudiada (Lin and Chen 2004; Klaui & Bauernfeind, 1981). Se ha observado que la degradación del licopeno y la extensión de la pérdida durante estos procesos depende del tipo de tratamiento, la temperatura, la duración, la presencia de oxígeno y la luz (Anguelova & Warthesen, 2000).

Por otro lado el procesamiento del alimento es un paso de valor agregado en que el licopeno está más disponible debido a la ruptura inducida por la temperatura en las paredes de la célula (Stahl & Sies, 1992; Gartner, Stahl, & Sies, 1997; Thompson et al., 2000). Abushita et al. (1999) estudiaron el efecto de las altas temperaturas a las que es sometido el tomate durante su procesado industrial, llegando a la conclusión de que el contenido total de todo-trans-licopeno en la pasta aumentó considerablemente con respecto a fruto fresco debido, probablemente, a la liberación del licopeno presente en la piel y las semillas y a la evaporación de agua. El isómero cis-licopeno apenas varió como consecuencia del procesado.

En resumen puede decirse que los factores que influyen en la estabilidad del licopeno en sistemas modelo son varios, como por ejemplo estructura del carotenoide, exposición a la luz, actividad de agua, temperatura, presencia de oxidantes o antioxidantes, presencia de sulfitos, etc. Estos estudios de estabilidad, sin embargo, son más complejos en los alimentos, debido a sus diferencias estructurales y de composición, diferentes tipos de procesados industriales, etc.

Gran cantidad de información se ha reunido con respecto a la conducta térmica del licopeno, pero no se pueden proporcionar respuestas definitivas con respecto a su estabilidad. Desde un punto de vista nutricional, resulta de gran importancia conocer qué factores intervienen en la degradación del licopeno, ya que su pérdida, además de producir cambios de color en el alimento, conlleva una disminución de su valor nutritivo.

No hay estudios de investigación sobre la estabilidad de licopeno en conservas de diseño, con adición de vitaminas E, B12 y B6, ácido fólico y selenio con posible efecto protector sobre el contenido de licopeno.

El objetivo general del presente trabajo consiste en analizar la estabilidad del carotenoide licopeno en tomate en fresco durante su proceso de elaboración de conservas y almacenamiento.

Palabras Clave: licopeno, estabilidad, antioxidantes.

Evaluación de la Vulnerabilidad y el Refuerzo Estructural de Edificios Patrimoniales en Zonas Sísmicas, a través de la Identificación de Sistemas

Francisco Alberto Calderón

Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, CeReDeTeC, UTN-FRM
Rodrigues 273 Mendoza, Argentina
francisco.calderon@frm.utn.edu.ar

Resumen. Los edificios patrimoniales son construcciones de valor histórico y arquitectónico para la sociedad. En general, presentan falta de mantenimiento, abandono y deterioro. Agravándose zonas riesgo sísmico. En Mendoza existen unas 1900 construcciones patrimoniales. Estos edificios presentan una gran masa y rigidez es elevada.

Son necesarias nuevas investigaciones para desarrollar procedimientos que indiquen el nivel de deterioro de una construcción patrimonial, y cuál es el grado de efectividad alcanzado luego de ser reforzada. Esta tesis se centrará en particular en edificios patrimoniales de mampostería no reforzada y que presentan una tipología constructiva caracterizada por una masa y rigidez importante.

Para que estas construcciones sean seguras es necesario evaluar su vulnerabilidad sísmica y reforzarlas. Dicha evaluación implica determinar el nivel de daño que la construcción podría sufrir en su estado y la peligrosidad sísmica donde se emplace.

Existen métodos para evaluar la vulnerabilidad de carácter cualitativo, a través de inspecciones visuales dando como resultado un índice. La desventaja es que no pueden evaluar la vulnerabilidad o la reducción de la misma luego de un refuerzo estructural. Por otro lado existen métodos cuantitativos a través de la capacidad resistente de la construcción. Su desventaja es que todas las evaluaciones se realizan antes del refuerzo, por lo que no contemplan la materialización del mismo y, además, solo son análisis computacionales. También pueden proponerse procedimientos de evaluación de vulnerabilidad basados en la identificación de sistemas (I.S.), que es la metodología que se implementará en esta tesis. En la mayoría de los casos de refuerzo de estructuras no se contempla la evaluación experimental del estado de la construcción una vez que la misma ha sido reforzada. Por ello, esta tesis se orientará a la evaluación del estado de construcciones patrimoniales antes y después de su recuperación, a través del procedimiento mencionado de la identificación de sistemas.

En la ingeniería civil, los sistemas son las estructuras; y la identificación la estimación de los parámetros dinámicos. Los parámetros dinámicos son: frecuencias naturales, amortiguamiento, y formas modales dependientes de la distribución de la masa y la rigidez del edificio. La estimación de estos parámetros se realiza a través de la medición de vibraciones en el edificio. La técnica a utilizar en esta tesis será la de medición de la respuesta solamente, y la determinación de los parámetros dinámicos se realizará por el método de identificación del sub-espacio estocástico.

En el caso de construcciones patrimoniales se mencionan los estudios de Ramos [1], en dos edificios donde se realizó I.S. de la construcción existente. En Argentina en Salta se han realizado estudios similares en una iglesia del siglo XIX [2]. Por otro lado la identificación del daño es necesaria en dos instancias: i) para la evaluación del daño de la estructura en su estado actual; y ii) para la evaluación de la mejora lograda cuando se ha rehabilitado.

Los Objetivos de esta tesis son: i- Desarrollar simulaciones numéricas de construcciones patrimoniales basadas en I.S. para cuantificar su vulnerabilidad antes de aplicar un refuerzo, ii- Desarrollar un procedimiento, basado en la I.S., para evaluar la reducción en la vulnerabilidad de construcciones patrimoniales que han sido reforzadas.

Basados en las siguientes hipótesis: i- La vulnerabilidad actual de una construcción patrimonial puede cuantificarse en base a una simulación numérica con datos de la I.S., ii- Pueden

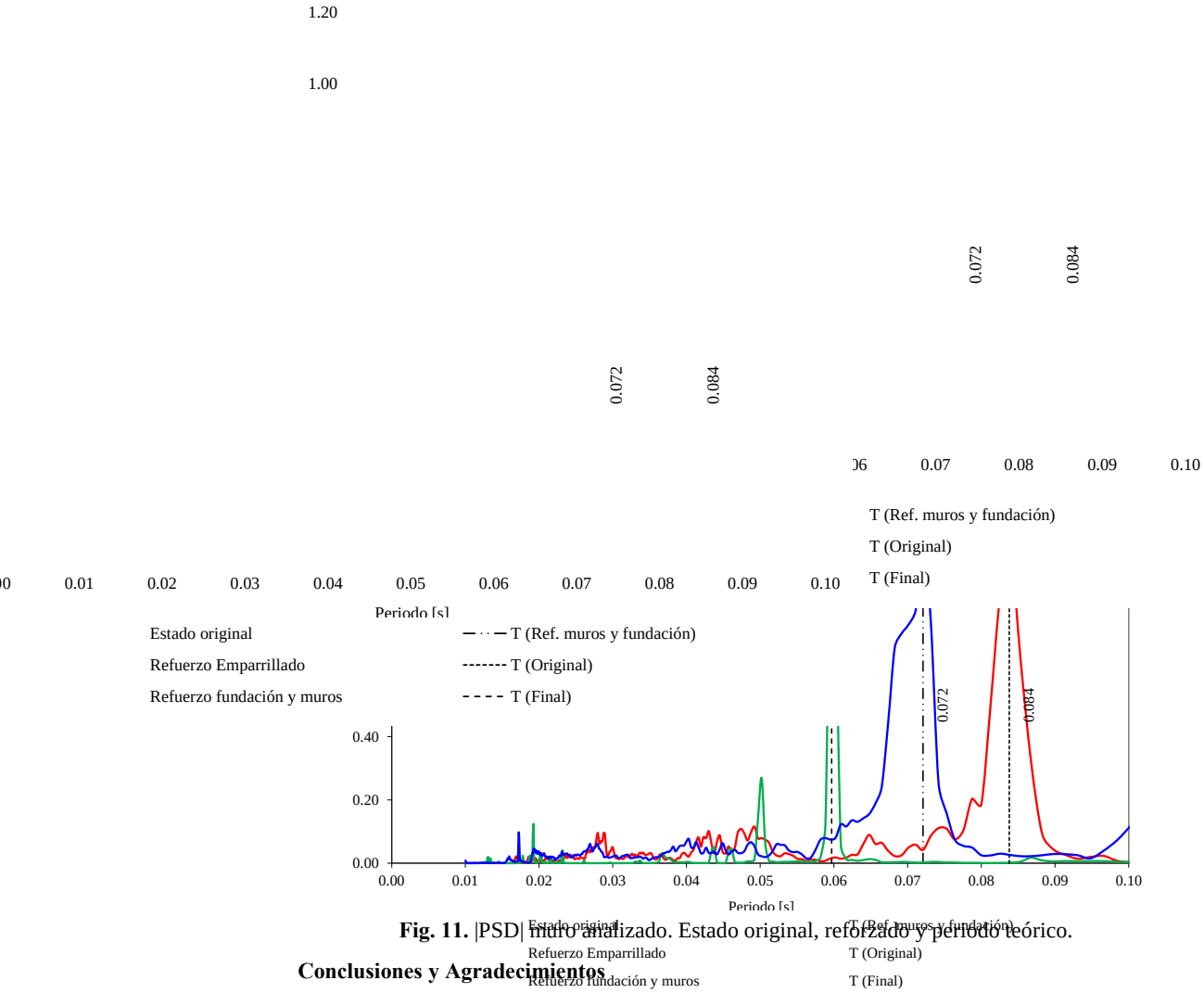


Fig. 11. |PSD| muro analizado. Estado original, reforzado y período teórico.

Conclusiones y Agradecimientos

Se presentó una propuesta de evaluación de vulnerabilidad de construcciones patrimoniales, que será desarrollada en el marco de una tesis doctoral. El caso de estudio presentado demuestra la eficiencia del método y además se demostró que la rehabilitación fue eficiente.

El autor desea expresar su agradecimiento al programa de becas de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica y al CEREDETEC.

Referencias

1. Ramos, L.F. Damage identification on masonry structures based on vibration signatures. Tesis de Doctorado. Escola do Engenharia. Universidade do Minho (2007).
2. Toledo, M.W.E., Gea, S. y Nallim, L.G. Características dinámicas de una iglesia del siglo XIX. EIPAC-8 (2009).
3. Palazzo, G.L. Identificación del daño estructural a través del cambio en las propiedades dinámicas. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Tucumán (2002).
4. Maldonado N., Martín P., Maldonado I., Calderón F. Puesta en valor de una escuela patrimonial en zona de alto riesgo sísmico: un caso de estudio. CONPAT (2013) (en prensa).

Evaluación de Riesgo Potencial por Ingesta de Colorantes Artificiales a través de Técnicas Específicas de Identificación y Cuantificación en Alimentos y Bebidas

Doctorando: **Prof. Mónica B Barrera** – Directora de tesis: **Dra. Alicia Ordóñez**

Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria – UNCuyo. Bernardo de Irigoyen 375, San Rafael Mendoza, Argentina.
aordonez@fcai.uncu.edu.ar, mbarrera@fcai.uncu.edu.ar

Resumen. El consumo de colorantes artificiales trae consigo un problema de salud que se agrava cuando los organismos de control normalmente identifican pero no cuantifican. Las bebidas analcohólicas, golosinas, chizitos entre otras, son productos alimenticios de alto consumo por la población infantil, debido a que son fáciles de adquirir y manipular. El exceso de consumo puede volverse un serio problema de salud sumado a que, esta franja etaria, tiene todos los sistemas inmune, gástrico, etc., inmaduros o bien incipientes. Este problema se agrava por la cantidad de alimentos y bebidas de consumo masivo que contienen este tipo de aditivos, y por el bajo control por los organismos bromatológicos, que en algunos de los casos llegan a la identificación pero no a la cuantificación.

El proceso de llegar a caracterizar con exactitud una o varias materias colorantes es a menudo largo y tedioso.

Si no se cuenta con métodos estandarizados de trabajo y si en los pasos del proceso analítico de identificación no se incluye al menos un método cromatográfico o espectrofotométrico, los resultados no serán satisfactorios.

La separación por dos o más solventes inmiscibles, como método clásico con identificación individual posterior del colorante o colorantes, es un método oficial útil siempre que se cuide de que la concentración del colorante no sobrepase el límite de 0.1-0.5%. La solución que se obtiene de los alimentos coloreados rara vez requiere dilución, pero si se trata del colorante comercial, debe cuidarse de no sobrepasar esta concentración. El pH de la solución debe oscilar alrededor de 2 en medio acético en presencia de un electrolito (por ejemplo, cloruro de sodio), para luego someter esta solución a extracciones con alcohol amílico, alcohol amílico en medio clorhídrico, alfa-diclor-hidrina, alcohol amílico en medio clorhídrico y agua. Luego, las mezclas de colorantes que han sido extraídas en cada solvente orgánico, según su coeficiente de partición, se separan con otros reactivos específicos, y posteriormente los componentes se identifican individualmente.

La cromatografía es la técnica de separación de uso más amplio. La cromatografía circular sobre papel, la ascendente y en capa fina, son igualmente efectivas. Cuando se trata de determinaciones cuantitativas, la cromatografía en columna líquida es adecuada.

La cromatografía sobre papel ha alcanzado en general un auge extraordinario, y a veces es el único medio factible para separar e identificar este grupo complejo de colorantes sintéticos (Joint FAO/WHO Expert Committee on food additives). Se ha demostrado que casi todas las marcas de papel de calidad son útiles para los fines de separación cromatográfica.

Todo método sugerido puede ser reemplazado por otros seleccionados convenientemente por expertos (Roger W., et al., 2004).

Como se ha mencionado, la identificación positiva de un colorante es casi siempre difícil. Los colorantes azoicos sin sulfonar son más simples de identificar por procedimientos de análisis

orgánico cualitativo, no así los sulfonados, debido a que pocas veces pueden obtenerse químicamente puros. A ello se añade el hecho de que en un alimento casi siempre se separan cantidades muy pequeñas de colorantes. En este caso, el análisis se simplifica comparando las propiedades y el comportamiento de la sustancia problema con patrones de reconocida pureza.
Los procedimientos actuales utilizan la cromatografía y la espectrofotometría. Casi siempre se usan ambos; por ejemplo, la presencia de colorantes auxiliares puede impedir la identificación espectrofotométrica del colorante principal.
Por este motivo, antes de recurrir a la espectofotometría, se debe purificar por cromatografía la sustancia a analizar (Food and Agruculture Organization of the United Nations)
El objetivo del estudio es optimizar metodologías de extracción-purificación y cuantificación de colorantes artificiales en matrices de alimentos y bebidas de alto consumo en pos de evaluar riesgo potencial por ingesta.
Se trabajará con muestras comerciales de snacks, golosinas y bebidas analcohólicas, en el laboratorio de investigación de la Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria, que dispone del equipamiento requerido y demás recursos materiales.
El proyecto de Tesis se inscribe en el programa "Industrialización de alimentos funcionales regionales: estabilidad y efectos de principios activos sobre patologías alérgicas, inflamatorias y tumorales" dirigido la Dra. Alicia Ordóñez de Yapur, lo que asegura el financiamiento de la investigación.
Se recolectarán muestras y enumerarán según su origen.
Para la preparación de las muestras (extracción) se seguirán distintas metodologías generales pero dando la especificidad de acuerdo a la composición de los productos y con alta precaución en la purificación de la misma que será factor determinante para el éxito de la cuantificación.
La cuantificación e identificación se llevará a cabo por métodos espectrofotométricos y por cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC). Para confirmar la presencia de los colorantes en el caso de que los mismos se encontrasen en baja concentración se recurrirá a laboratorios externos para aplicar espectrometría de masa. Además, se abordará un nuevo método colorimétrico por Colorímetro Miniscan Ez E Easymatch Software.
A partir de los datos se procederá a realizar análisis estadístico de los mismos.
Para evaluar el riesgo potencial por ingesta de colorantes artificiales permitidos: Eritrosina, Tartrazina, Amarillo ocaso, Amaranto, Azul patente V, entre otros, se trabajará con el valor de IDA para cada colorante y utilizando un recordatorio de consumo de 24 hs.

Palabras Clave: Colorantes, Riesgo, Salud.

Análisis de la Confiabilidad Humana: del Análisis de Riesgo a la Optimización de Sistemas Tecnológicos Complejos

Pedro Alejandro Baziuk[a,b]

[a] Instituto CEDIAC, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo,
Mendoza, Argentina
pbaziuk@cediac.edu.ar

[b] CONICET

1. Introducción

El trabajo se enmarca dentro del amplio campo de análisis de riesgo de sistemas tecnológicos complejos, como las centrales nucleares. Se ha elegido como tema de estudio específico la definición de un modelo conceptual de confiabilidad humana que permita desarrollar una metodología adecuada para la modelación de errores humanos con aplicación de matemática difusa.

El manejo del riesgo en estos sectores representa el conjunto de diversas acciones complejas, que tienen por objetivo el mejoramiento de la calidad y garantizar la seguridad de las personas y de los equipos. Es necesario, en efecto, considerar el error como una componente no eliminable de la naturaleza humana. Por tal motivo, si no se puede eliminar completamente el error humano y el riesgo asociado, es fundamental favorecer las condiciones laborales ideales, pero sobre todo, realizar una serie de acciones que hagan difícil al ser humano equivocarse y en segundo lugar, establecer defensas para disminuir las consecuencias de un error que se pueda verificar. Para ello, es necesario entender los mecanismos intrínsecos del error humano en determinadas circunstancias.

Generalmente, los errores humanos han sido modelados en base a conceptos probabilísticos con o sin consideraciones de los aspectos cognitivos del comportamiento humano. Ello ha demostrado limitaciones en la cuantificación de aspectos cualitativos del error humano y la complejidad de los atributos de las circunstancias involucradas.

El rendimiento humano se basa en procesos complejos e inciertos que se modela mejor con lógica difusa. Los conjuntos difusos proveen no solo una buena representación de la medida de las incertidumbres sino también una representación de los vagos conceptos expresados en el lenguaje natural, dando a los modelos la flexibilidad inherente a los términos lingüísticos.

2. Hipótesis

- Hipótesis 1: Es posible determinar conceptualmente un modelo unificado de confiabilidad humana.
- Hipótesis 2: Los parámetros de dicho modelo son cuantificables y más específicamente por medio de matemática difusa.
- Hipótesis 3: Las incertidumbres del modelo unificado son menores a las correspondientes de los modelos utilizados en el proceso de integración.

3. Objetivos y Metodología

a) El **primer objetivo** planteado (desarrollar un modelo unificado de confiabilidad humana integrador los últimos conocimientos de las ciencias cognitivas y los modelos clásicos de confiabilidad humana) es una investigación conceptual, se ha adoptado una perspectiva generalista, buscando modelos conceptuales y esquemas que definan los principales elementos implicados en la conducta humana y su confiabilidad, cómo se entienden y cuáles son sus interrelaciones.

Se investigó la bibliografía moderna de metodologías de confiabilidad humana, los llamados modelos de segunda generación, que respaldan características de los modelos clásicos a través de su extensa aplicación. También demuestran la inexactitud de otras características de estos modelos, que fueron eliminadas en el proceso de integración de modelos.
Para incluir los conocimientos aportados desde las ciencias cognitivas, se realizaron extensas investigaciones bibliográficas de los últimos aportes de estas ciencias al entendimiento de la conducta humana, incluyendo los últimos conocimientos provenientes de las ciencias cognitivas, especialmente la taxonomía de habilidades humanas de Cattell-Horn-Carroll (CHC).
b) El **segundo objetivo**: establecer las bases de una metodología adecuada para la modelación de errores humanos. La base de una metodología es la cuantificación de los parámetros obtenidos en el modelo unificado. Dicha cuantificación se basa en el análisis cognitivo de la tarea y en el análisis cognitivo del operario, los datos son obtenidos por juicio de expertos y test psicométricos e integrados a través de lógica difusa.

4. Resultados obtenidos

En síntesis, el problema planteado "encontrar la metodología adecuada para la modelación de errores humanos con aplicación de lógica difusa" derivó en la resolución de tres problemas:

- Desarrollo de un modelo unificado de confiabilidad humana: integrando ciencias de comportamiento e ingeniería, incluyendo los aspectos cognitivos y las ultimas concepciones del ciclo cognitivo de conducta humana. Como resultado del trabajo sobre este aspecto se realizó la publicación en el congreso ESREL "Towards a unified human reliability model".
- Identificación de incertidumbres asociadas a dicho modelo unificado: se identificaron y describieron distintos tipos de incertidumbre, remarcando aquellas incertidumbres cuantificables con matemática difusa. Como resultado de este aspecto se realizó la publicación "Fuzzy Uncertainties in Human Reliability Analysis".
- Inclusión de factores de desempeño (PSFs) al modelo unificado: el modelo unificado de confiabilidad humana ofrece pistas para extraer factores de desempeño en el análisis de tarea haciendo hincapié en los procesos cognitivos subyacentes y sus restricciones. Como resultado de este aspecto se realizó la publicación "Cognitive Task Analysis and Human Performance Shaping Factors. A reassessment from a second generation model".

5. Conclusiones

Este avance hacia un modelo unificado de la confiabilidad humana muestra una posible inclusión de un modelo causal de la respuesta humana, con raíces en las ciencias cognitivas y del comportamiento, con énfasis en los recursos cognitivos limitados humanos y considera al comportamiento humano como una interacción entre el medio ambiente y el sistema cognitivo, incluyendo el proceso cognitivo avanzado, como el razonamiento y la resolución de problemas. Los recursos volitivos y atencionales mencionados y descriptos, desempeñan un papel fundamental en estos procesos cognitivos avanzados.
Llegar a un modelo unificado promete ser útil para identificar la respuesta humana (los errores son el foco principal) en QRA (evaluaciones cuantitativas de riesgo) el contexto de la estimación de las posibilidades de respuesta y precisación (GTU) y las causas de los errores para apoyar el desarrollo de medidas preventivas o de mitigación.
Por otro lado, la confiabilidad humana tiene usos que trascienden el análisis de riesgo y poseen numerosos beneficios en el diseño y optimización de sistemas tecnológicos. Desde su parte cualitativa contemplan las características cognitivas del ser humano permitiendo un diseño adecuado de los procesos y procedimientos, de la interface hombre-máquina y una adecuada administración del personal basada en mediciones concretas y no en técnicas abstractas y aisladas del proceso productivo. Desde su parte cuantitativa, aportando información clave para otros análisis, como el de riesgo, disponibilidad, rendimiento, calidad y post-accidentes.

Palabras Clave: Confiabilidad humana, error humano, habilidades cognitivas

Cartografía Geotécnica: Una herramienta básica en la Planificación del Territorio. Caso de Estudio: Piedemonte del Gran Mendoza

Alfredo Jonathan Cueto [a], Noemí Graciela Maldonado [b], Almut Elisabeth Therburg [c]

[a, b] Centro Regional de Desarrollos Tecnológicos para la Construcción, Sismología e Ingeniería Sísmica CeReDeTeC. Rodríguez 273, Ciudad, Mendoza, Argentina
alfredo.cueto@frm.utn.edu.ar, ngm@frm.utn.edu.ar

[c] Centro Científico Tecnológico CCT.
Av. Ruiz Leal s/n Parque General San Martín, Ciudad, Mendoza, Argentina
almutthe@yahoo.com

1 Síntesis

El siglo XX se ha caracterizado por un crecimiento urbano de tipo exponencial, a lo que se suma la ausencia de planificación en el uso del suelo, provocando un avance sobre las áreas agrícolas de alto valor ecológico y/o de gran fragilidad ambiental.

En este proceso de expansión acelerada y no planificada, es de vital importancia tener en cuenta el entorno físico para la ocupación del territorio. Sin embargo no siempre se lo considera, por lo que es posible encontrar importantes y numerosos problemas en el medio físico, social y económico. Los problemas más considerables están en las zonas urbanas: pérdidas materiales y humanas, cierre y deterioros en las vías de comunicación, daños en edificaciones y en servicios públicos, entre otros. De allí surge la necesidad de ordenar el crecimiento y planificar el desarrollo, teniendo en cuenta el medio físico, en especial las características físicas y propiedades mecánicas del suelo.

Una de las herramientas que expone las limitaciones y potencialidades del terreno es la Cartografía Geotécnica, la cual tiene como finalidad básica, levantar, evaluar y analizar los atributos que componen el medio físico. Con su interpretación se pueden establecer directrices de ocupación para las diversas formas de uso y ocupación del suelo. En los últimos años, se ha convertido en un instrumento de gran importancia en la evaluación del medio físico, proporcionando información para la planificación urbana y la preservación del medio ambiente, orientando medidas preventivas y correctivas para minimizar los daños ambientales y de riesgos para sus propios emprendimientos.

En la actualidad la Provincia de Mendoza no dispone de un registro único de información geológica y geotécnica. Lo que acarrea que en algunas oportunidades, no se la tenga en cuenta a la hora de planificar el territorio.

Ante esta realidad, se observa la importancia de estudiar una metodología adecuada, para generar una cartografía geotécnica representativa y actualizada, con la finalidad de enriquecer la elaboración del Diagnóstico Territorial, y así realizar los Planes de Ordenamiento Territorial, con el objetivo de lograr un desarrollo más equilibrado, equitativo y sustentable del territorio.

Se considera como área de estudio El Piedemonte del Gran Mendoza, el cual comprende una franja de 15-20km de ancho, que se extiende entre la vertiente oriental de las sierras y la llanura, entre los 1500 m.s.m. y los 800 m.s.m. aproximadamente. Ésta constituye un ambiente frágil e inestable, debido a sus grandes pendientes, lluvias estivales violentas y concentradas,

vegetación escasa y degradada, suelos no consolidados, fuerte actividad sísmica y acelerados procesos de erosión.

2 Objetivos y resultados esperados

Objetivos generales. Contribuir a un desarrollo más equilibrado, justo y sustentable del territorio, aportando una herramienta que tenga en cuenta los atributos del entorno físico del Piedemonte.

Objetivos específicos.

- Adquirir y sistematizar la información geotécnica y geológica a través de un sistema de información geográfica del Piedemonte.
- Identificar las variables e indicadores para caracterizar el suelo del Piedemonte.
- Desarrollar una metodología para generar una cartografía, en función de las características particulares del Piedemonte.
- Identificar unidades o zonas aptas para urbanizar y/o zonas expuestas a riesgos, desde el punto de vista geotécnico y geológico en el Piedemonte.

3 Metodología de Trabajo

Adquisición de datos. Las fuentes pueden clasificarse en primarias (reconocimiento y toma de datos de campo, fotointerpretación, métodos geofísicos, trabajos de campo, ensayos in situ y ensayos de laboratorio; y en complementarias (datos existentes de trabajos de investigación, reglamentos, códigos de edificación, estudios de suelos de reparticiones del Estado y Municipios intervinientes).

Implementación de una base cartográfica. Generar información cartográfica base y temática como referencia espacial para cargar la información geológica y geotécnica.

Evolución de la mancha urbana. Estudiar el crecimiento espacial de la mancha urbana en la zona del Piedemonte.

Creación de una base de datos geotécnica y geológica. Analizar e interpretar los datos geológicos y geotécnicos, para la elaboración de documentos cartográficos.

Generación de mapas resultantes. Generar cartas mediante aplicaciones informáticas y sistemas de información geográfica (SIG), permitiendo el tratamiento y análisis automático de los datos, la identificación de variables y la actualización continua de la información.

Interpretación de los resultados y Conclusiones. Sugerir e indicar las posibles zonas aptas para el avance de la urbanización en el Piedemonte.

Estática, Estabilidad y Dinámica de Mástiles Reticulados con Aplicación a Estructuras Arriostradas

Marcelo Guzmán[a,b], Marta Rosales[b,c], Carlos Filipich[b,d],

[a] CeReDeTeC, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza. Becario de Doctorado del Programa de Beca para Docentes de la UTN, Coronel Rodríguez 273, 5500 Mendoza, Argentina, mguzman@frm.utn.edu.ar

[b] Departamento de Ingeniería, Universidad Nacional del Sur, Alem 1253, 8000 Bahía Blanca, Argentina, mrosales@criba.edu.ar , cfilipich@gmail.com

[c] CONICET, Argentina

[d] CIMTA, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Bahía Blanca, 11 de Abril 461, 8000 Bahía Blanca, Argentina

Resumen. El presente trabajo tiene como propósito estudiar el comportamiento de mástiles reticulados con aplicación a estructuras arriostradas, tales como las utilizadas para soportar antenas de comunicaciones. Estos sistemas constan de dos contribuciones estructurales fundamentales, las riostras y el mástil.

En lo que a las riostras se refiere, se estudiaron distintas formulaciones analíticas para su modelación, considerando las características de inextensibilidad y extensibilidad. De evaluaciones numéricas realizadas, se observó que para el caso de riostras tensas el modelo parabólico extensible representa adecuadamente su respuesta.

Por otro lado, y a partir de un estudio paramétrico, la evaluación de la respuesta sísmica de un mástil arriostrado permitió establecer que estas estructuras pueden resultar sensibles frente a este tipo de solicitaciones dinámicas.

En lo que hace a los desarrollos analíticos abordados, se obtuvo un modelo continuo para la representación de un mástil reticulado en zig-zag, de sección transversal triangular y equilátera, constituida por tres largueros continuos unidos entre sí mediante diagonales articuladas en sus extremos. Dicho modelo representa el movimiento de cada uno de los largueros, y el mismo incorpora la flexibilidad por corte propia del alma reticulada, efectos de 2do orden debido a las cargas de punta, y aportes inerciales y de rigidez local de los largueros.

Basado en el desarrollo citado en el párrafo anterior, se fundamentó física y matemáticamente la obtención de un nuevo modelo continuo pero simplificado, en el que los corrimientos de cada larguero fueron referidos al eje baricéntrico de la sección transversal, permitiendo así abordar de manera más simple la solución del sistema diferencial.

Los desarrollos analíticos obtenidos tanto para la riostra como para el reticulado, permitieron formalizar un nuevo modelo continuo para la representación de un mástil reticulado y arriostrado por un nivel de riostras, las cuales fueron consideradas en el modelo como resortes elásticos.

La metodología empleada en la presente investigación para la obtención del sistema de ecuaciones diferenciales gobernantes, correspondió a la de un planteo energético para la determinación de los funcionales de energía, y la posterior aplicación del cálculo variacional para la obtención de las variaciones de estos. En tanto que para los estudios paramétricos realizados, los cuales permitieron la verificación de los resultados numéricos hallados mediante

los modelos continuos, se utilizó un software de simulación de eventos mecánicos basado en el método de los elementos finitos.
Por último, la implementación de los modelos continuos permitió evaluar la respuesta estática, dinámica y de estabilidad del mástil reticulado, y al mismo tiempo, la aplicación al sistema mástil-riostras permitió determinar sus frecuencias naturales. Los resultados numéricos obtenidos indicaron un excelente desempeño de los modelos continuos desarrollados.

Palabras Clave: Reticulado. Riostras. Mástil arriostrado. Modelos continuos.

Selección y Optimización de Variables y Parámetros Biotecnológicos para la Producción de Microalgas con Fines Energéticos y Ambientales a Escala Piloto

Carolina Belén García[a,b], Stela Maris da Silva[a], Jorge Barón[a]

[a] Grupo a-Oil. Institutos Multidisciplinarios (IMD), Espacio de la Ciencia y la Tecnología (ECT), Universidad Nacional de Cuyo, Centro Universitario 5502, Tel: 0261-4135000, ext. 2100/2122. Mendoza, Argentina.
carobeleng@gmail.com; sdasilva@fca.uncu.edu.ar; jbaron@fing.uncu.edu.ar.

[b] Becaria doctoral CONICET. Alumna de Doctorado en Ciencias Biológicas, FCEFQyN-UNRC.

Resumen. En un contexto en que las actividades humanas causan impactos a nivel global como el efecto invernadero y el detrimento de recursos no renovables, el desarrollo de tecnologías orientadas al cuidado del medio ambiente y generación de energías renovables es indispensable para el desarrollo sustentable. El uso de microalgas con fines energéticos y medioambientales ha sido estudiado en los últimos años, y su gran potencial en comparación con otras energías alternativas permite visualizar un futuro promisorio para tales tecnologías y una solución al dilema alimento o energía, ya que las microalgas no necesitan tierras fértiles ni son consumidoras de agua. Esta propuesta forma parte de un proyecto multidisciplinario, con cuatro años de trayectoria en el cultivo de microalgas en la región de Mendoza, enfocado al desarrollo de tecnologías transferibles al sector socio-productivo relacionadas con la utilización de microalgas para tales fines, realizando desarrollos en el ámbito biotecnológico, integrando estudios técnicos con estudios económicos, incorporando aspectos ambientales y energéticos, y analizando la factibilidad y rentabilidad de cada propuesta.

Las investigaciones en este campo que se han llevado a cabo en los últimos años, son específicas del lugar de estudio y sus resultados pueden no ser completamente aplicables a emprendimientos en otras regiones. Entre otros factores, esto se debe a las características climáticas y geográficas propias de la zona, a los microorganismos utilizados (por lo general autóctonos) y a las condiciones económicas de la región. Por lo tanto, en el marco de tal proyecto, y en línea con el plan propuesto para el doctorado, se pretende estudiar la productividad y viabilidad de los sistemas de cultivo de microalgas no sólo en la región de Mendoza, donde ya se están desarrollando las actividades, sino también en Río III, Córdoba, donde se encuentra en construcción el módulo piloto de cultivo.

En primer lugar, se llevó a cabo el muestreo y screening de microalgas en diversos cuerpos de agua dulce de la región de Mendoza y de ambientes específicos, a fin de aislar microalgas nativas adaptadas a condiciones ambientales de la zona. Posteriormente, se realizó el aislamiento de especies involucradas en medios específicos bajo condiciones controladas de laboratorio, al igual que la identificación y caracterización taxonómica. Dos cepas de microalgas fueron identificadas como *Chlorella sp*. SC01 y *Scenedesmus sp.* SC02, logrando la predominancia de ambas en todos los cultivos y condiciones ensayadas, aún en condiciones NO axénicas. Posteriormente, se realizaron diversos ensayos de crecimiento, teniendo en cuenta ciertas variables y/o parámetros. Un factor determinante en el criterio de selección de las variables fue la capacidad de control de las mismas una vez que se transfieran estos resultados a escalas mayores (emprendimientos industriales concretos). Se realizaron múltiples ensayos en diversas configuraciones experimentales, a fin de detectar la influencia de las variables de forma individual y combinada, y poder determinar relevancia y efectos en términos de

parámetros medidos para poder proponer y realizar la optimización de procesos, tanto en cultivos in-door como out-door en estanques tipo "carrusel" o "raceway ponds" (RP). Además, se experimentaron diversos métodos de extracción de lípidos, teniendo en cuenta la eficiencia del método en cuanto a cantidad y calidad de lípidos extraídos; la factibilidad del método a ser aplicado en escalas mayores. En simultáneo, se determinaron ciertos parámetros, con el objeto de evaluar la productividad y rendimiento de los cultivos en cada configuración experimental, en términos de: Biomasa, Lípidos, Perfil de ácidos grasos (FAMEs), PCS, Producción de biopigmentos, Tasas de crecimiento y tiempos de duplicación, Resistencia, viabilidad y predominancia de microalgas, Relación entre estos parámetros de acuerdo a cada objetivo particular de diseños experimentales específicos, tanto in-door como out-door.

Se observaron productividades de biomasa elevadas, comparables a promedios mundiales. Mediante la adición de CO_2 se lograron productividades tres veces mayores. Se ha logrado obtener rendimientos significativos de biomasa y lípidos en 3, 5 y 7 días de cultivo mediante variaciones en las condiciones de cultivo, tanto in-door como out-door, en entornos NO axénicos. Se obtuvieron valores de lípidos de 8% hasta 20% a partir de cultivos en consorcio y condiciones no axénicas (considerando la total ausencia de esterilización). Se analizaron los perfiles de lípidos y se compararon con muestras de biodiesel, utilizado actualmente para "cortar" el diesel común. Los resultados mostraron similitudes entre ambos patrones. Por lo tanto, los FAMEs obtenidos de lípidos de microalgas ensayadas coinciden con los estándares preestablecidos por leyes vigentes, por lo cual podrían utilizarse como materia prima para biodiesel. Se registraron valores de PCS de hasta 3650 $cal.g^{-1}$, datos comparables y dentro del mismo rango que los valores de PCS provenientes de otras fuentes de combustibles sólidos (biomasa de origen forestal), actualmente utilizados en calderas por quema directa. Se obtuvieron niveles aceptables de xantinas, entre un 15-20% (no caracterizadas), lo cual es un punto importante, ya que la extracción y purificación de las mismas agrega valor al sistema sin modificar el PCS y su utilización como combustible. La biomasa tanto fresca como residual (pos-extracción de lípidos) fue utilizada para el estudio de generación de biogás, con o sin adición de glicerina como sustrato fermentable, obteniéndose buenos rendimientos en términos de cantidad y calidad. Por otro lado, se estudió el crecimiento de microalgas en efluentes urbanos pretratados. Se concluyó que el agua proveniente de las últimas etapas del tratamiento de efluentes (efluentes urbanos pre-tratados), rica en N y P, es factible de ser utilizada para el cultivo de microalgas, obteniéndose productividades significativas de biomasa y lípidos en términos de cantidad y calidad. Los datos obtenidos son comparables con otros de la literatura, obtenidos a partir de cultivos monoespecíficos y de consorcios, pero bajo condiciones axénicas y estrictamente controladas (esterilización). Esto indica la posibilidad de cultivo de microalgas, con rendimientos aceptables, bajo condiciones menos estrictas y en ambientes/entornos con cargas microbianas preexistentes, mediante la utilización de recursos industriales como insumos productivos.

A partir de estos avances, se plantearon nuevos objetivos específicos con un claro perfil tecnológico, orientados a desarrollos concretos en módulo piloto de cultivo a escala industrial de 0,5ha, y que pueden ser extrapolados a otras regiones del país, teniendo en cuenta la utilización de recursos. Se espera obtener un conjunto de parámetros operativos y biotecnológicos que permitan caracterizar el cultivo de microalgas a escala piloto como medio para la producción de biocombustibles, tratamiento de efluentes y captura de dióxido de carbono; cuyo fin es la implementación de tecnologías de cultivo de microalgas a escala piloto con fines energéticos y ambientales mediante el aprovechamiento de recursos industriales, como modelo de desarrollo sostenible.

Palabras Clave: biotecnología, microalgas, escala piloto.

Modelo de Confiabilidad Humana en Plantas de Biocombustibles

Tesista: Romina Calvo Olivares[a], Directora de Tesis: Selva Soledad Rivera[b], Co-Director de Tesis: Jorge Núñez McLeod[a].

[a] CONICET/Instituto CEDIAC, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo, CO 5502JMA, Ciudad, Mendoza, Argentina.
rcalvo@cediac.uncu.edu.ar, jnmcleod@cediac.uncu.edu.ar

[b] Instituto CEDIAC, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo, CO 5502JMA, Ciudad, Mendoza, Argentina.
srivera@cediac.uncu.edu.ar

Introducción

A lo largo de las últimas décadas, debido a la reducción de las reservas disponibles de petróleo y a los problemas medioambientales originados por el empleo de combustibles fósiles, ha adquirido relevancia la búsqueda y desarrollo de fuentes de energía renovable y no contaminante, entre las cuales se encuentran los biocombustibles. Por biocombustibles se entiende aquellos combustibles obtenidos a partir de recursos biológicos renovables como cultivos oleaginosos, biomasa de plantas, residuos municipales e industriales tratados. Presentan las ventajas de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, posibilitar el suministro de energía a largo plazo, relativamente barato y seguro; y pueden mezclarse con combustibles de origen fósil y emplearse en los sistemas energéticos existentes con poca o ninguna adecuación de los motores. Las formas conocidas de biocombustibles son: bioetanol, biodiesel y biogas. En la presente tesis se trabaja con los dos primeros.

La implicancia del uso de combustibles alternativos, ha causado un efecto significativo: la producción de biocombustibles se encuentra en expansión y es de gran interés tanto en el orden internacional como nacional.

Hasta hace pocos años, la producción argentina de biodiesel se realizaba únicamente a pequeña escala. Algunas plantas ya funcionaban en los noventa, pero entre todas apenas alcanzaban niveles de producción muy bajos. La entrada en vigencia de la Ley 26.093 "Régimen de Regulación y Promoción para la Producción y Uso Sustentable de Biocombustibles" que establece el porcentaje de corte obligatorio con biocombustibles para las naftas, e incentivos económicos y beneficios fiscales otorgados a pequeños y medianos productores agrícolas, sumada a los factores internacionales previamente mencionados, hizo que nuestro país entrara en un proceso de expansión acelerada. La elaboración de biodiesel consolidó uno de los mayores polos productivos a nivel mundial, incrementándose en un 36,3% anual entre 2008 y 2012, en tanto que la capacidad instalada de producción de etanol pasó de 2 a 9 plantas entre los años 2009 y 2012.

Aunque los procesos de obtención de biocombustibles son simples, se trata de procesos químicos y por ende, deben tratarse con suma precaución y cuidado. Si no se dispone de un diseño y operación apropiados, la planta puede conducir a un desastre de consecuencias letales. Este punto de análisis es de fundamental importancia, dado que el auge en la producción, ha dado origen a la creación de pequeñas empresas que ofrecen el diseño de plantas con insuficiente documentación, asociada principalmente con su operatoria y mantenimiento. A la escasez de procedimientos escritos, se adiciona la falta de profesionales y técnicos

especializados en el tema, y el desconocimiento de las interacciones complejas entre el personal y las instalaciones (Núñez Mc Leod, J. and Rivera, S. 2008).

De la revisión del Estado del Arte se encontró que sólo los accidentes más relevantes ocurridos en plantas de biodiesel y etanol habían sido analizados o simplemente descriptos en la bibliografía (Salzano, E., M. Di Serio, and E. Santacesaria, 2010; Marlair et al., 2009; Rivera, Núñez Mc Leod, 2008). Hasta el momento, no se cuenta con suficiente información relacionada con errores humanos en plantas de biocombustibles constituyéndose en un tema de relevancia internacional y nacional. Por ello, la presente tesis doctoral plantea como hipótesis que un modelo de las principales fuentes de error humano en plantas de biocombustibles tendrá valor práctico en la obtención de una visión más profunda de las causas de los accidentes e incidentes. Esto será útil para sugerir medidas de prevención y mitigación de errores.

Avances de la investigación

De acuerdo con la revisión bibliográfica, en industrias como la nuclear o aviación los Modelos de Error Humano y las Técnicas de Evaluación de Confiabilidad Humana se elaboraron a partir del estudio de los registros de accidentes. Adoptando el mismo procedimiento, el armado del modelo de error humano en plantas de biocombustibles requería una base de accidentes e incidentes. Puesto que no se ha encontrado un registro completo de accidentes en este tipo de industrias con detalles de la secuencia de eventos, medidas de mitigación, causas primarias y consecuencias, se elaboró una Base de Datos a partir de la revisión de distintas fuentes como periódicos locales y nacionales, revistas e informes institucionales. Hasta el momento se ha obtenido un registro de 84 accidentes ocurridos en plantas de biodiesel entre el año 2003 y los primeros meses del año 2013; y se está trabajando en la base de datos de accidentes en plantas de etanol. El análisis de la información recopilada ha permitido identificar, en principio, el tipo de accidentes que se producen con mayor frecuencia, las consecuencias y las causas primarias que han dado origen a los mismos. También se ha determinado el nivel de riesgo existente en este tipo de industria.

Por otra parte, el estudio del marco legal en Argentina mostró que, en lo que respecta a las plantas de biocombustibles, la legislación actual sólo contempla las condiciones mínimas que deben cumplir las Plantas de Elaboración, Almacenamiento y Mezcla de Biocombustibles en relación a la seguridad en caso de incendio. Sin embargo, existen otros aspectos que hacen a la seguridad de este tipo de establecimientos por lo que se recomienda adoptar una legislación basada en riesgo. Focalizarse en los riesgos en lugar de hacerlo en normas prescriptivas, y fomentar a los reguladores y a los responsables de formular políticas a evaluar riesgos, permite que los recursos limitados sean mejor dirigidos para alcanzar los resultados políticos deseados.

Se estudió además la utilidad de las diferentes taxonomías y modelos de error humano existentes y se llevó a cabo la familiarización con la planta piloto de la Facultad de Ingeniería. El relevamiento en mencionada planta permitió identificar las fallas latentes existentes en la misma y elaborar recomendaciones para remediarlas, tomando como referencia una serie de prácticas aceptadas con producción de biodiesel a pequeña escala. Adicionalmente se identificaron los factores de desempeño (Performance Shaping Factors o PSF's) asociados.

Los datos reunidos constituyen el punto de partida para la obtención del modelo específico para plantas de biocombustibles.

Palabras Clave: Error Humano, Confiabilidad Humana, Modelo, Plantas de Biocombustibles.

Incorporación de Intangibles en la Evaluación Técnico-Económica de Proyectos de Innovación Tecnológica. Caso de estudio: Microalgas para Biocombustibles

María Florencia Codina[a,b], Jorge Horacio Barón[a,c]

[a] Grupo a-Oil. Institutos Multidisciplinarios (IMD), Espacio de la Ciencia y la Tecnología (ECT), Universidad Nacional de Cuyo, Centro Universitario 5502, Tel: 0261-4135000, ext. 2100/2122. Mendoza, Argentina.

[b] Becaria Doctoral de CONICET, Facultad de Ingeniería, UNCUYO

[c] Director de Tesis

La economía neoclásica-keynesiana considera el ciclo económico como la producción de bienes y servicios por parte de las empresas, que son consumidos por las familias que a su vez ofrecen trabajo, tierra y capital a las empresas, formando un ciclo cerrado. Aquellos elementos que no tienen precio de mercado, como son los materiales de la naturaleza (e.g. energía solar) y los desechos son considerados por fuera del sistema económico. Una manera que encuentra la *economía ambiental* (una rama de la teoría económica) para incorporar al circuito mercantil estos elementos es la *internalización de externalidades*. Para ello, es necesario valorizar en términos monetarios tales aspectos ambientales. Las técnicas de valorización que ofrece actualmente la economía ambiental pueden resultar muy útiles en algunos casos, pero no siempre son convincentemente aplicables (como es el caso de un desarrollo tecnológico innovador que presente una serie de beneficios ambientales y socioeconómicos, difíciles de cuantificar con las herramientas de la economía ambiental). Por otra parte, la *economía ecológica* es un campo de estudio transdisciplinar que ha cobrado importancia en los últimos años y cuyo aporte fundamental es el de combinar el análisis económico con análisis de flujos de materiales y energía, de donde surge el concepto de *metabolismo social* (que es la concepción de la actividad económica como un flujo neto de energía y materiales (e.i. extracción de recursos naturales) hacia la generación de residuos, y no como el ciclo perpetuo que postula la economía clásica).

El objetivo de tesis es desarrollar criterios que permitan cuantificar los beneficios intangibles asociados a un desarrollo tecnológico nacido en el ámbito universitario, incorporando el concepto de metabolismo social. Se toma como caso de estudio el uso de cultivos de microalgas con fines energéticos y ambientales. Este desarrollo tecnológico está basado en la generación de nuevas fuentes de energía compatibles con el cuidado del medio ambiente y está asociado a una serie de beneficios intangibles como la sustitución de combustibles fósiles, la reducción de CO_2 en atmósfera, el uso de terrenos no cultivables, entre otros. Normalmente se tiene alguna noción de estos aspectos intangibles y se los mencionan como ventajas, pero no se los cuantifica ni se tienen en cuenta en la evaluación económica de un proyecto. Por lo tanto se pretende desarrollar mecanismos o criterios de cuantificación (y posteriormente valorización) de los intangibles asociados a un desarrollo tecnológico, para incorporar de manera cuantitativa estas variables dentro de aquellas utilizadas en la toma de decisiones en proyectos tecnológicos.

La metodología a utilizar es el análisis por escenarios, que permite identificar las diferencias entre aplicar o no la tecnología desarrollada, bajo distintos supuestos. Para cuantificar tales diferencias, se utilizarán herramientas como Análisis de Ciclo de Vida, y se plasmarán los resultados bajo un esquema de metabolismo social. Este esquema permitirá la comparación

entre la actividad estudiada y los ciclos naturales de materiales y energía, e.i., la cadena trófica. Así, se pretende obtener un indicador de sustentabilidad que cuantifique el grado en que se asemeja el proceso estudiado (capaz de reciclar materiales y utilizar energía solar) a la cadena trófica, englobando los beneficios intangibles descritos. El alcance de la tesis permitirá obtener criterios de uso general, para la valoración económica de intangibles tecnológicos.

Palabras Clave: Intangibles, metabolismo social, microalgas para biocombustibles, sustentabilidad.

Modelado Numérico de Aguas Subterráneas en Zona Saturada con Inclusión de Zona No Saturada

Andrés Facundo Correas[a1], Jorge Horacio Barón[a2].

[a] Doctorado en Ingeniería. Facultad de Ingeniería. U. N. de Cuyo.
facundocorreas2@gmail.com, jbaron@fing.uncu.edu.ar

Resumen. En el presente avance de tesis de Doctorado se presentan los adelantos en la investigación en el marco de la modelación numérica del flujo subterráneo, específicamente, la modelación de la zona saturada y la influencia en la misma de la zona no saturada.

La presente investigación se centra en la importancia que tiene el conocimiento, manejo y cuidado del agua dulce en el mundo y en particular en zonas áridas como la nuestra. Esto se evidencia verificando que el agua dulce disponible para el consumo en el mundo es cada vez más escasa. Sólo un 3% del agua total en la tierra es dulce. Pero sólo el 0,3% representa el agua disponible en superficie (lagos, ríos y pantanos), mientras que un 30% se encuentra en acuíferos subterráneos. El 69,7% restante se encuentra principalmente en polos y glaciares (Fte. U.S.G.S., 2010) que se encuentran en constante disminución por efectos del calentamiento global (Fte. Informe de Cambio Climático, IPCC 2007).

Tanto el estudio del flujo de agua en el suelo como también los usos dados al líquido elemento en las distintas capas del suelo son de especial interés en el presente trabajo de tesis. Es por ello que, luego de un tiempo de estudio, se decide que el sector de más carencia de información, datos y en especial de modelación en nuestra región, es la zona no saturada.

Las características particulares de cada región del mundo hacen que los programas científicos o comerciales desarrollados en otras partes del mundo, sobre todo para modelación de flujo y seguimiento de contaminación, sean de difícil adaptación y validación para un uso local. Por ello se decide realizar un modelo propio capaz de modelar distintas condiciones de saturación en el suelo y donde sea posible adaptar cualquier tipo de terreno y características propias de la locación que se desee modelar.

Además se ha buscado que la programación sea desarrollada y visualizada por software libre de manera que pueda usarse y modificarse sin la necesidad del pago de ningún tipo de licencias.

El flujo en suelos no saturados están gobernados por la ley de Darcy, pero la conductividad hidráulica en el medio no es constante, sino que varía en función de la succión o altura de presión del suelo.

El modelo desarrollado hasta el momento en el programa Octave (similar a MatLab) consta de un corte transversal bidimensional del terreno, el modelo es capaz de interpretar mallas triangulares y cuadrangulares tanto estructuradas como no estructuradas. Las mismas pueden

[1] Tesista de Doctorado. Becario de Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica y la Universidad Nacional de Cuyo.

[2] Director de Tesis

ser generadas para cualquier geometría a través del software libre Gmsh. Pueden modificarse distintas características del suelo como la conductividad, y parámetros de saturación (siguiendo el modelo de Van Genuchten), como también condiciones de anisotropía. Es posible crear distintos tipos de condiciones de borde (nivel constante o flujo constante, etc.).

Los resultados obtenidos hasta el momento han conseguido validar con datos teóricos el modelo saturado transitorio y se han tenido buenos resultados en el modelo estático de flujo no saturado. Es posible visualizar distintos niveles de presión, curvas iso-paramétricas y vectores velocidad.

El programa tiene varias aplicaciones siendo las más importantes, recarga de acuíferos o infiltración profunda, riegos inteligentes, drenajes y estudio de escenarios (déficit o superávit).

Se espera continuar con el desarrollo del programa, realizar modelos transitorios del flujo no saturado y seguimiento de sustancias contaminantes. También la validación experimental con datos de campo.

Palabras Clave: flujo bidimensional, saturación variable, elementos finitos.

Análisis de la Decorrelación Temporal en Pares Interferométricos SAR (Banda X) con Polarización Horizontal, Vertical y Cruzada

Sebastián Balbarani [a]

[a] División ISAT, Instituto CEDIAC, Facultad de Ingeniería, UNCUYO
Centro Universitario – Ciudad de Mendoza – Provincia de Mendoza, Argentina
sbalbarani@cediac.uncu.edu.ar

Resumen. Interferometría Diferencial de Imágenes de Radar de Apertura Sintética (DInSAR) es una técnica dentro del área de la teledetección por microondas que permite detectar, cuantificar y analizar fenómenos de deformación superficial como sismos, vulcanismo y extracción de fluidos del subsuelo, con precisión subcentimétrica (Massonnet and Feigl 1998). La información de deformación viene asociada a la diferencia de fase de pares de imágenes SAR, previa substracción de la topografía mediante un modelo digital de elevaciones (MDE), y obteniendo así los llamados interferogramas diferenciales. Algunos efectos indeseados en los interferogramas son: la influencia de la atmósfera y las deficiencias en el MDE utilizado para contrarrestar la componente topográfica, afectando de esta manera la exactitud de los interferogramas (Hanssen, 2001). Por otro lado, la *Decorrelación* (ruido) propia del sistema producto de las características del sensor, las circunstancias de las adquisiciones y los algoritmos de procesamiento de la señal, afectan la precisión de la fase interferométrica (Zebker and Villasenor 1992). Bajo la asunción de ergodicidad y el principio de estacionariedad es posible estimar la coherencia interferométrica utilizando ventanas espaciales móviles, para obtener así un grado de calidad de los interferogramas diferenciales (Touzi et al. 1999). A su vez, los valores de la coherencia se pueden estimar también en forma teórica a partir de las distintas fuentes de decorrelación, lo que permite descomponer los mapas de coherencia generados a partir de las imágenes SAR, y aislar, en particular, la *Coherencia Temporal* (Wang, Liao, and Perissin 2010).

La *Coherencia Temporal* es el término de la coherencia cuyo comportamiento, muchas veces, es impredecible. Depende de los cambios en las características dieléctricas y en la distribución de los elementos a escala de la longitud de onda del radar, dentro de la celda de resolución, producto del tiempo transcurrido entre ambas adquisiciones (Zebker and Villasenor 1992). Por otro lado, Schneider et al. (2006) investigaron las propiedades polarimétricas de dispersores coherentes en zonas urbanizadas, concluyendo que "el tipo y número de los mismos depende fuertemente de la polarización". DeZan et al. (2005) compararon dispersores permanentes detectados usando imágenes Radarsat (polarización HH) e imágenes ERS (polarización VV), concluyendo que es difícil identificar dispersores permanentes comunes en ambiente urbano. Esto indicaría que la polarización de la onda electromagnética que ilumina el área de estudio también influiría en la decorrelación temporal.

El presente trabajo se basó en estudiar cuál es la dependencia, si es que existe, de la polarización de las ondas electromagnéticas, en la magnitud de la coherencia temporal. En otras palabras se pretende responder los siguientes interrogantes: ¿influye la polarización de la señal del radar en el comportamiento de la coherencia temporal? En caso afirmativo: ¿De qué manera lo hace? Para ello se han procesado 61 imágenes del sensor italiano COSMO SkyMed (Banda X) en polarización horizontal (HH) y vertical (VV). El lapso de tiempo cubierto por el dataset

va desde junio de 2010 hasta marzo de 2012, con un intervalo promedio de 8 días. La cadena de procesamiento incluyó: enfoque, conformación de los pares interferométricos, corregistración y generación de los interferogramas y mapas de coherencia. Luego, se ha estimado la *Coherencia Temporal* a partir de los parámetros del sensor, la topografía y la coherencia total observada.

Los resultados de las máscaras aplicadas a la coherencia temporal muestran una demarcada disminución de puntos coherentes en polarización cruzada. Los interferogramas HH_HH y VV_VV presentan un mayor equilibrio, sin embargo, se aprecian diferencias, principalmente en zona de cultivos. La representación de la *Coherencia Temporal* como función de la línea base temporal de los interferogramas generados en polarización HH y VV muestran una tendencia que responde a los modelos teóricos ya establecidos: exponencial o lineal. Dos cuestiones debemos remarcar: 1) la gran dispersión en los valores de *Coherencia Temporal* para un mismo punto y una misma línea base temporal. 2) El comportamiento distinto y notorio que presenta en suelo urbano, en una y otra polarización.

El conocimiento o modelado de la coherencia temporal facilita la planificación adecuada de las adquisiciones de imágenes SAR para generar series temporales de deformación mediante algoritmos DInSAR. Los resultados obtenidos en banda X nos permitirán extraer similares conclusiones en datos de sensores que trabajaban en Banda C (Envisat) y L (ALOS), de especial interés para futuras misiones SAR como Sentinel (Banda C) de la ESA y SAOCOM (Banda L) de CONAE, Argentina.

Palabras Clave: DINSAR, Decorrelación, Coherencia Temporal, Polarización y Modelos Estadísticos.

Referencias:

DeZan, F.; A. Ferretti; F. Novali; C. Prati y F. Rocca (2005). Comparison Between PSInSAR Data in HH and VV Polarization Over Urban Areas. POLINSAR 2005. ESA-ESRIN.

Hanssen, R. F. (2001). "Radar Interferometry, Data Interpretation and Error Analysis" Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Massonnet, Didier, and Kurt L. Feigl. 1998. "Radar Interferometry and Its Application to Changes in the Earth's Surface." Reviews of Geophysics 36 (4): 441–500.

Schneider, R. Z.; K. P. Papathanassiou; I. Hajnsek y A. Moreira (2006). "Polarimetric and interferometric characterization of coherent scatterers in urban areas." Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on. Vol 44, Nº 4, pp. 971-984.

Touzi, Ridha, Armand Lopes, Jérôme Bruniquel, and Paris W. Vachon. 1999. "Coherence Estimation for SAR Imagery." Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions On 37 (1): 135–149.

Wang, Teng, Mingsheng Liao, and Daniele Perissin. 2010. "InSAR Coherence-decomposition Analysis." Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE 7 (1): 156–160.

Zebker, Howard A., and John Villasenor. 1992. "Decorrelation in Interferometric Radar Echoes." Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions On 30 (5): 950–959.

Cotas Lipschitz para el Par Dual en Optimización Lineal Cónica

Doctorando: Andrea B. Ridolfi[1,2]
Directora: Virginia N. Vera de Serio[2,3],

[1] Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria, Universidad Nacional de Cuyo
aridolfi@fcai.uncu.edu.ar

[2] Facultad de Ciencias Económicas, Universidad Nacional de Cuyo
[3] Instituto de Ciencias Básicas, Universidad Nacional de Cuyo
vvera@uncu.edu.ar

Resumen. Este trabajo analiza la estabilidad de un problema de optimización lineal cónico en dimensión infinita, el cual consiste en optimizar una función objetivo lineal, con finitas o infinitas restricciones lineales y una restricción cónica adicional. Se analiza la estabilidad de los conjuntos factibles de sistemas infinitos de desigualdades lineales en un espacio real de Banach X a través del estudio de la propiedad local de tipo Lipschitz de la multifunción (aplicación o correspondencia) que asigna a cada sistema el conjunto de soluciones factibles. A través del concepto de coderivada se establece una caracterización de la propiedad de tipo Lipschitz de esta multifunción. Esta propiedad nos proporciona condiciones para garantizar que pequeñas perturbaciones de los datos del problema, proporcionen pequeños cambios en el conjunto de las soluciones factible. Se obtiene además una fórmula para el cálculo de la constante Lipschitz de de la aplicación conjunto factible en cierto punto, que coincide con la norma de la coderivada en dicho punto. Si bien esta propuesta de tesis no contempla aplicaciones, algunos modelos de optimización lineal surgen en la economía matemática, teoría de juego, probabilidad y estadística.. Un resumen actualizado de estas aplicaciones se encuentra en [3].

Palabras Clave: Estabilidad, propiedad de tipo Lipschitz para multifunciones, optimización lineal infinita, aplicación conjunto factible.

1 Introducción

Se considera un problema primal descripto por un sistema de infinitas inecuaciones lineales con coeficientes acotados, parametrizado por un conjunto de índice arbitrario T. Las variables de decisión están definidas en un cono Q convexo cerrado con interior no vacío en un espacio real de Banach X, el cual puede ser de dimensión infinita. Si admitimos perturbaciones b del término independiente $\bar{b}$, y $c*$ del elemento que define la función objetivo $\bar{c}^*$, podemos considerar la siguiente representación del problema primal perturbado:

$$P(b,c^*): \sup\left\langle \bar{c}^* + c^*, x \right\rangle$$
$$s.a. \quad \left\langle a_t^*, x \right\rangle \le \bar{b}_t + b_t, \ t \in T,$$
$$x \in Q,$$

donde $\bar{b}_t$, $t \in T$, son números reales, $\bar{c}^*$ y a_t^*, $t \in T$, están en el dual topológico de *X*, denotado por *X**, $\ell_\infty(T)$ es el espacio real de Banach de todas las funciones acotadas en *T* equipada con la norma supremo y $b = (b_t)_{t \in T} \in \ell_\infty(T)$.

Para estudiar la estabilidad del problema dual consideraremos la aplicación conjunto factible $F : \ell_\infty(T) \to X$, la cual asigna a cada perturbación *b*, el conjunto *F(b)* de las soluciones factibles del problema *P(b,c*)*. Bajo ciertas condiciones, se obtienen algunas equivalencias a la propiedad de que *F* sea de tipo Lipschitz alrededor de (b,x) para todo $x \in F(b)$, en particular una de ellas se traduce como "el problema primal P(b,c*).es establemente consistente", de aquí es que al estudiar las propiedades de tipo Lipschitz de *F* estamos a la vez estudiando la estabilidad de la consistencia del problema primal.

Usando el concepto de la coderivada, se consigue una caracterización de la estabilidad Lipschiziana de la aplicación conjunto factible. También se establece una relación entre la constante Lipschitz y la norma de la coderivada. Como resultado precedente y guía para la metodología, consideramos el trabajo de Cánovas [1], allí el problema nominal es el mismo pero la restricción sobre Q es nueva.

Algunos resultados han sido publicados en el artículo [2]. En dicho artículo también se estudia el problema dual asociado y la teoría de la dualidad y se establece que, bajo ciertas condiciones, el valor óptimo del problema primal coincide con el valor óptimo del problema dual, lo cual potencia las posibles aplicaciones de estos problemas.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por el Proyecto de Investigación "Estabilidad en programación semi infinita" a cargo de la Dra. Virginia Vera de Serio, período 2009-2011 y 2011-2013, SECYT- UNCuyo, y a través de una beca de posgrado otorgada por CONICET.

Referencias

1. Cánovas, M. J.; López, M. A.; Mordukhovich, B. S.; Parra, J. Variational analysis in semi-infinite and infinite programming. I. Stability of linear in-equality systems of feasible solutions. *SIAM J. Optim.* 20**,** no. 3, 1504 a 1526, (2009).
2. López, M. A.; Ridolfi, A. B.; Vera de Serio, V. N., On coderivatives and Lipschitzian properties of the dual pair in optimization. *Journal of Nonlinear Analysis: Theory, Methods & Applications* 75, no. 3, 1461 a 1482, (2012).
3. Goberna M. A., Continuous optimization. Current trends and modern applications. Edited by Vaithilingam Jeyakumar and Alexander Rubinov. *Applied Optimization*, 99. Springer, New York, 2005.

NAVEGO: Simulador de Navegación Integrada

Rodrigo González[1], Gustavo Daniel Sutter [2], Héctor Daniel Patiño [3]

[1] Departamento de Electrónica, UTN-FRM, Rodriguez 273,
M5502AJE, Mendoza, Argentina
rodralez@frm.utn.edu.ar

[2] Universidad Autónoma de Madrid, Ciudad Universitaria de Cantoblanco,
28049, Madrid, España
gsutter@uam.es

[3] Instituto de Automática, UNSJ, Av. San Martin Oeste 1112,
J5400ARL, San Juan, Argentina
dpatino@inaut.unsj.edu.ar

Resumen. El siguiente trabajo presenta un simulador de un sistema de navegación integrada llamado NaveGo, desarrollado dentro del marco de la tesis de doctorado del primer autor. Se toman ciertos datos de salida de un generador de trayectoria y se simulan mediciones provenientes de giróscopos, acelerómetros, magnetómetros y un receptor GPS. Luego, estas mediciones son corrompidas con ruido y fusionadas usando un filtro de Kalman extendido. Como generador de trayectoria es posible usar el simulador de vuelo FlightGear. Se verifica el correcto funcionamiento de nuestro simulador utilizando un método que compara sistemas de navegación integrada basados en sensores simulados por un lado, con sensores reales por el otro, para una misma trayectoria. Se detecta que los errores estimados de un sistema simulado son muy cercanos a los de un sistema real. Por tanto, se concluye que NaveGo es una herramienta adecuada para el diseño y análisis de sistemas de navegación integrada.

Palabras Clave: INS, GPS, navegación integrada, simulación

1 Descripción

Durante el proceso de diseño y análisis de un sistema de navegación inercial integrado para vehículos robóticos autónomos (terrestres y aéreos), previo a su implementación en un hardware específico, es esencial evaluar si el comportamiento de los sensores elegidos en cuanto a precisión satisfacen los requerimientos de diseño, como así también determinar la estructura de integración y ecuaciones inerciales más convenientes del sistema de navegación desde la perspectiva de un sistema electrónico embebido, para lo cual es necesario ensayar en simulación digital diferentes precisiones numéricas, volumen computacional y uso de memoria, entre otros aspectos. Por otro lado, el área de investigación en sistemas de navegación integrados de bajo costo es muy activa y frecuentemente nuevos algoritmos son propuestos para resolver los problemas de precisión, los cuales deben ser contrastados con algoritmos clásicos. Por todo esto, es esencial contar con un ambiente de

simulación para sistemas de navegación integrados durante el proceso de diseño y análisis.

Este trabajo presenta un framework de simulación de navegación integrada llamado NaveGo, el cual está compuesto por dos bloques principales: 1) un generador de mediciones simuladas de giróscopos, acelerómetros, receptor GPS y magnetómetro, y 2) un simulador de un sistema de navegación integrado débilmente acoplado. Se presentan las ecuaciones y el esquema del ambiente de simulación.

Tenga la amabilidad de enviarnos la versión final de su publicación en formato Word y comprobar que el resultado final sea el esperado. No es posible actualizar archivos en una etapa posterior. Tenga en cuenta que no necesitamos una versión en papel impreso.

NaveGo está desarrollado en Matlab y es de código abierto. A nuestro entender, no existe en la comunidad de sistemas de navegación un framework abierto donde investigadores e ingenieros puedan evaluar distintos aspectos de un sistema de navegación a nivel simulación. NaveGo es un aporte en este sentido.

La validación de los modelos matemáticos propuesto se basa en evaluar el desempeño de los sensores simulados respecto a sensores reales, para un mismo escenario de funcionamiento. Al usar sensores simulados y reales, se observan en promedio errores menores a 1 grado en actitud y menores a 18 cm en posición.

Por tanto, se concluye que NaveGo es una herramienta adecuada para la simulación de sistemas de navegación integrada.

Estudio Comprehensivo de la Seguridad, la Durabilidad y la Sustentabilidad de Edificios Patrimoniales Escolares en Zona de Elevada Sismicidad

María Carolina Domizio[a], Noemí Graciela Maldonado[b], Luis Fernandez Luco[c], Alejandro Pablo Arena[d]

[a] Tesista de Doctorado de la Universidad Tecnológica Nacional,
Facultad Regional Mendoza., Coronel Rodriguez 273, 5500 Mendoza, Argentina
mdomizio@frm.utn.edu.ar

[b] Directora de Tesis. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza.
Rodríguez 273, 5500, Mendoza, Argentina.
ngm@frm.utn.edu.ar

[c] Co-Director de Tesis. INTENCIN – LAME
Facultad de Ingeniería – Universidad de Buenos Aires
lfernandez@fi.uba.ar

[d] Co-Director de Tesis. Universidad Tecnológica Nacional,
Facultad Regional Mendoza, Rodríguez 273, 5500, Mendoza, Argentina.
aparena@frm.utn.edu.ar

Resumen. La recuperación y conservación de edificios escolares patrimoniales significa revalorizar un legado de bienes culturales tangibles de generaciones antecesoras, por el medio del cual construimos nuestra identidad. Uno de los proyectos del PICTO Riesgo Sísmico (2007) está evaluando los edificios educativos patrimoniales de Mendoza desde el punto de vista de la vulnerabilidad sísmica a través del estudio de casos. Durante estos estudios se ha detectado la importancia de incluir aspectos relacionados con la vida útil y el impacto ambiental de los procesos de reconstrucción.

El objetivo de la tesis es caracterizar el comportamiento de los edificios escolares patrimoniales existentes en zonas de elevado riesgo sísmico considerando en forma integral los aspectos de seguridad, durabilidad y sustentabilidad.

En zonas de alto riesgo sísmico es difícil seguir estrictamente los principios de las diferentes Cartas de Restauración y en distintos reglamentos no se tratan estos tres aspectos en forma conjunta. La sustentabilidad comienza con la preservación, porque al aumentar la vida útil de los edificios, mediante rehabilitación y reutilización, en la mayoría de los casos estudiados, se reduce significativamente el impacto ambiental negativo asociado con el desarrollo edilicio. Con la elección de técnicas y materiales adecuados, se logra reducir las fallas por durabilidad y se produce un ahorro de materiales, con lo cual se hace un uso más eficiente de la energía al disminuir el consumo de energías no renovables. No se puede generalizar un modelo, sino que se debe estudiar los distintos casos a nivel regional, observando la relación economía-durabilidad. La obtención de indicadores permite establecer los valores límites del deterioro, correlación entre indicador y nivel de daño, factor de envejecimiento, relaciones esperables

entre medida en laboratorio vs. campo, logrando diseño de materiales por comportamiento en función de las necesidades, con parámetros medibles e integración armónica entre especificación y control. A nivel local hay estudios de durabilidad en los materiales más utilizados.

En la Argentina el diseño del sector edilicio no ha incluido en forma sistemática y rigurosa los aspectos ambientales. Sin embargo, en los últimos años se detecta un cambio hacia el uso más eficiente de la energía, protección ambiental y el desarrollo sustentable. Para obtener conclusiones sobre la ventaja ambiental del producto es necesario un análisis exhaustivo sobre bases objetivas y científicas, que incluya toda la vida del producto desde su producción, transporte, uso, incluyendo además (y con especial énfasis en los edificios) su eventual reuso y reciclado y su disposición final. El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta de evaluación ambiental que compila y evalúa los consumos de energía y materiales y las emisiones y residuos que pueden ocurrir durante el ciclo de vida de un producto, proceso, actividad y/o servicio. A nivel local se han realizado los ACV de varios materiales, pero se detecta que hay falta de inventarios locales y de indicadores regionales de categorías de impacto. En este trabajo se pretende integrar el uso del ACV para evaluar los impactos ambientales de la rehabilitación de los edificios escolares patrimoniales, junto a consideraciones sobre durabilidad y seguridad.

Una de las mayores oportunidades para mejorar la eficiencia energética de los edificios se encuentra en la rehabilitación o preservación, pero es un problema optimizar objetivos múltiples y competitivos simultáneamente, con materiales de distintas épocas y durabilidad.

Palabras Clave: Rehabilitación, conservación, edificios patrimoniales, seguridad, durabilidad, sustentabilidad, riesgo sísmico.

Hormigones con Adiciones Activas: Diseño, Optimización y Caracterización con Criterio de Sustentabilidad

Bárbara Belén Raggiotti [a], María Josefina Positieri [a], Ángel Oshiro [a],

[a] CINTEMAC: Centro de Investigación, Desarrollo y Transferencia de Materiales y Calidad,
Facultad Regional Córdoba, Universidad Tecnológica Nacional.
Cruz Roja esq. Maestro López. Córdoba. Argentina.
Tel: +54 0351 598 6050. C.P. (X5016ZAA).
belenraggiotti@gmail.com,
mpositieri@gmail.com, oshiroangel@gmail.com

Resumen. La fabricación de hormigón implica un importante consumo de recursos naturales y un aporte de residuos que deben ser eliminados o minimizados. Se propone con el trabajo de investigación de la tesis doctoral contribuir al diseño de hormigones con vistas a un medio ambiente sustentable.

Teniendo en cuenta que, la mayor cantidad de emisión de CO_2 se produce por la calcinación de la piedra caliza y el empleo de combustibles fósiles, será necesario, para cumplir las cuotas de emisiones impuestas en el Protocolo de Kyoto, reducir la cantidad de clinker en el cemento y aumentar la eficiencia del proceso de elaboración para disminuir el consumo de combustibles fósiles. Al mismo tiempo será necesario adoptar otras medidas para disminuir el consumo de cemento, como por ejemplo: diseñar estructuras con menor volumen de hormigón en lo posible en las construcciones, y trabajar con hormigones con menor contenido de cemento y mayor volumen de adiciones en sus mezclas. Todos estos cambios harán posible que el hormigón, al menos desde el punto de vista del cemento, pueda transformarse en un material con desarrollo sustentable.

La tesis doctoral propone el estudio sobre hormigones especiales con la incorporación de adiciones como reemplazo de parte del cemento por la adición estudiada. Se estudia principalmente una zeolita natural; y al mismo tiempo se estudiara la incorporación de otra adición, la ceniza volante en la industria del prefabricado.

Se han elaborado hormigones con alto volumen de adiciones activas como reemplazo de parte del cemento con el objeto de disminuir el contenido del mismo, como una contribución a la sustentabilidad del medio ambiente.

Las adiciones para hormigón son materiales de naturaleza inorgánica que se destacan por sus características puzolánicas o hidráulicas; finamente molidos, pueden ser añadidos al hormigón a fin de mejorar sus propiedades o dotarlo de especiales características (CIRSOC 201). Estos materiales minerales que se incorporan el cemento, generalmente actúan o bien aumentando las propiedades hidráulicas del cemento o mejorando otras cualidades debido a una adecuada granulometría (aumento de la trabajabilidad y retención de agua, disminución de la porosidad y capacidad, reducción de la fisuración), etc.

El empleo de adiciones minerales en los aglomerantes hidráulicos es de antigua data. Los romanos las utilizaron perennizando sus estructuras en base a morteros de cal y puzolana. En la década del cincuenta tuvieron importante desarrollo, en Europa incorporándose al cemento Portland, incrementándose rápidamente la capacidad instalada frente a los requerimientos de la reconstrucción de la post-guerrra. En la actualidad, una gran mayoría de países ha introducido en las normas de cemento, diferentes tipos de adiciones minerales.

El mundo de la construcción es muy dinámico y existe una gran demande de alta tecnología y materiales energéticamente eficientes. La zeolita natural es una materia prima que ofrece grandes oportunidades para el desarrollo de futuros materiales de construcción.

Las zeolitas son aluminosilicatos porosos y por tanto son puzolanas naturales. Pueden utilizarse para sustituir parte del cemento Portland para obtener un hormigón ligero con propiedades específicas. La estructura porosa de la zeolita retiene agua que puede aumentar el tiempo de fraguado y la resistencia a compresión durante el fraguado. Las zeolitas tienen más elevada capacidad de intercambio catiónico que otras puzolanas naturales y esto limita o evita totalmente la reacción álcali-sílica.

La producción de cemento clinker precisa mucha energía y produce mucho dióxido de carbono, esto significa que el uso de zeolita supondría un ahorro energético y reducción de emisiones de CO_2 importante.

Por su parte la ceniza volante es un residuo de proceso, generada por la combustión del carbón mineral en las centrales térmicas que lo utilizan como combustible, que tiene las propiedades de una puzolana por lo que se la considera una adición activa en mezclas cementíceas. Por lo cual es un material disponible que ofrece grandes oportunidades para el desarrollo de futuros materiales de construcción; que no sólo contribuiría a la reducción de consumo de cemento, y en consecuencia a la disminución de la producción de CO_2, sino que se estaría dándole valor y destino a un residuo de proceso.

Se estudia el comportamiento de hormigones estructurales con incorporación de ceniza volante como reemplazo de parte del cemento y la aplicación de éstos estudios en la industria del pretensado de viguetas.

Los resultados muestran que es posible la sustitución de una importante proporción de cemento por las adiciones activas en estudio como una contribución a la sustentabilidad del medio ambiente y a la reducción la emisión del CO_2. Se observa como la incorporación de las adiciones conlleva a mejoras en la resistencia de las mezclas, aun mayor en periodos largos de tiempo. Al mismo tiempo en el caso de la ceniza volante, se han logrado excelentes resultados en la medición de indicadores de durabilidad, tales como permeabilidad al aire, succión capilar y absorción.

Palabras Clave: Hormigón, adición, zeolita, ceniza volante, sustentabilidad**.**

Envolventes de Hormigón Liviano Sustentable: Diseño y Propiedades para el Ahorro Energético

Iris Belén Sanchez Soloaga[1], Angel Oshiro[a], Maria Positieri[a],

[a] CINTEMAC. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba. Cruz Roja esq. Maestro López. Córdoba, Argentina.
oshiroangel@gmail.com, mpositieri@gmail.com

Resumen. La construcción es, entre otras actividades humanas, la que utiliza más recursos naturales. Construir de manera sustentable, más que una tendencia, es hoy en día una necesidad. En un contexto cada vez más global de actuación, la actividad de la construcción, tiene asumida una responsabilidad en busca de soluciones menos agresivas al medio y más sustentables. Cada día son más escasas las fuentes de energía y hay que cuidarlas y por lo tanto hay que construir de acuerdo a criterios que busquen construcciones con mayor calidad desde el punto de vista del aislamiento térmico.

Los elementos constructivos pueden modificar las condiciones de confort del interior de los edificios a través de sus características térmicas dadas por los materiales, espesores, dimensiones de las superficies y la ubicación de los mismos. Por ello deben tenerse en cuenta las propiedades y comportamiento de los diferentes materiales para la zona bioclimática en la que se va a encontrar la construcción y su futura ubicación (orientación) dentro del objeto arquitectónico experimental en cuestión. También debe considerarse la degradación que sufren los materiales (durabilidad) generalmente por agentes externos a los cuales están expuestos una vez en uso. Habrá que prever una adecuada inercia térmica del material, acorde a las características climáticas del lugar, para alcanzar el confort higrotérmico.

La gestión de los residuos sólidos es uno de los principales problemas ambientales en el mundo. Con la escasez de espacio para el depósito en vertederos y debido a su costo cada vez mayor, la utilización de residuos en el hormigón se ha convertido en una alternativa atractiva para su disposición final. El hormigón permite la incorporación de residuos y el desarrollo de nuevos materiales; el mejor conocimiento de sus propiedades contribuye a generar nuevas formas y tipologías para la construcción con un mayor aprovechamiento de los recursos naturales y residuos de la industria.

En esta tesis doctoral, he diseñado y elaborado hasta el momento, hormigones utilizando cemento portland compuesto (CPC) y cemento portland normal (CPN), variando la relación entre el volumen del agregado fino y grueso y dos tipos de residuo plástico: plástico bicapa procedente del reciclado "silobolsa" y plástico multicapa. Se realizaron los ensayos de caracterización del hormigón en estado fresco y endurecido, denominando HPC al Hormigón con plástico bicapa silobolsa y CPC40; y HPN al Hormigón con plástico multicapa (pp. opp. Pvc) y CPN40. La incorporación de estos materiales plásticos se debe a cambios en el mercado. Actualmente el polipropileno de etiquetas de gaseosas, limpio y listo para recuperar (utilizado en el laboratorio en el año 2005) tiene un valor comercial de $ 1,40 por kilogramo; esto supera ampliamente el costo por metro cúbico de los agregados utilizados en la elaboración del

[1] Becaria Doctoral CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas). e-mail: sanchezsoloaga@hotmail.com, web: http://www.conicet.gov.ar/

hormigón por lo que su empleo es económicamente inviable. Se decidió en este plan de tesis reemplazarlo por un residuo plástico multicapas proveniente de la CRESE (Empresa de recolección de residuos de la ciudad de Córdoba) compuesto por polipropileno (pp)/polipropileno orientado (opp) y policloruro de vinilo (pvc) ya que este residuo plástico no se comercializa y su disposición final genera un problema ambiental.

Se caracterizó el material plástico para conocer sus características físicas tales como la densidad relativa y granulometría. Actualmente se está elaborando un protocolo de ensayo para la caracterización de las distintas partidas de plástico proveniente de la empresa recolectora de residuos de la ciudad de Córdoba. Los ensayos correspondientes se realizan en la FAMAF (Facultad de Matemática, Astronomía y Física) de la Universidad Nacional de Córdoba.

Para analizar el comportamiento de estos hormigones, se realizaron ensayos en estado fresco con el objetivo de verificar la influencia de plástico en la trabajabilidad. El residuo plástico posee una forma irregular y angulosa que dificulta la trabajabilidad del hormigón; es necesaria su trituración, previo agrumado, para obtener un material con partículas más redondeadas. En estado endurecido se obtuvieron buenos resultados a compresión a edades de 7 y 28 días con los HPN. Para analizar el comportamiento térmico de los hormigones se determinó el coeficiente de conductividad térmica mediante un equipo de placa caliente, de acuerdo a Norma IRAM 11.559 (Determinación de la resistencia térmica y propiedades conexas en régimen estacionario. Método de la placa caliente). Estas determinaciones se realizaron en el Departamento de Termodinámica de la Universidad Nacional del Nordeste, obteniendo resultados alentadores.

En cuanto a los resultados obtenidos, en estado fresco los hormigones presentan asentamientos de consistencia seca, cohesivos. En estado endurecido, la resistencia a compresión obtenida en los hormigones con CPC40 y plástico bicapa de silobolsa fue relativamente baja en comparación con los resultados obtenidos en el hormigón patrón, sin plástico, HPC0. Analizando estos resultados se decidió cambiar el CPC40 por un CPN40 buscando un aumento de la resistencia a compresión y justificando también este cambio por ser el cemento más utilizado en la industria de la prefabricación. Los resultados indican que los hormigones que mejor respuesta han tenido son los del grupo CPN40. Con el 10% y 20% de reemplazo del agregado grueso, se alcanzaron resistencias a compresión, menores que el de referencia HPN0 (Gaggino, 2008), que según el Reglamento CIRSOC 201 de Estructuras de Hormigón Armado, son aptos y pueden clasificarse como H21. En la caracterización térmica de estos hormigones los resultados del ensayo de conductividad mostraron la disminución en la transmitancia térmica con el agregado del plástico multicapa.

Los resultados obtenidos permiten estimar que los agregados provenientes de residuos plásticos multicapa son adecuados para su uso en la industria de la construcción disminuyendo la conductividad térmica del hormigón y logrando resistencias mecánicas adecuadas. Se continuará con el plan experimental propuesto estudiando la incorporación del plástico multicapa al hormigón, su dosificación, características mecánicas y de durabilidad y especialmente sus propiedades de conductividad térmica, a los fines de verificar su capacidad aislante.

Palabras Clave: Hormigón Sustentable, Residuo Plástico, Ahorro Energético.

Protección Sísmica de Depósitos con Líquidos Peligrosos emplazados en Regiones de Alto Riesgo Sísmico mediante Aislamiento de Base

Juan Pablo Cordone

CeReDeTeC, Facultad Regional Mendoza, U. T. N., Rodríguez 273,
5500 Mendoza, Argentina
juanpablo.cordone@frm.utn.edu.ar

Resumen. Los tanques típicos que se encuentran en las instalaciones industriales son más vulnerables a sufrir daños ante la ocurrencia de terremotos que las construcciones civiles en general. Esto se debe a la importancia que tienen para las industrias conexas, su comportamiento altamente crítico demostrado en varias ocasiones y las consecuencias, a menudo graves, de las pérdidas de sustancias peligrosas (inflamables, explosivas, tóxicas). Todo ello indica que las técnicas convencionales de diseño sísmico pueden no ser suficientes en la protección sísmica de los mismos, debiendo adoptarse otras estrategias tales como las técnicas de aislamiento de base, para reducir el riesgo sísmico tanto en plantas industriales nuevas como existentes.

Los tanques sometidos a terremotos pueden ser dañados por diferentes causas, entre ellas se destacan: a) grandes tensiones circunferenciales en la pared resultantes de la combinación de la presión hidrostática e hidrodinámica; b) altos esfuerzos verticales en la pared que pueden ocasionar pandeo de la misma (falla tipo "pata de elefante"), debido principalmente al gran momento de vuelco en la base ocasionado por el efecto de la carga líquida impulsiva y convectiva; c) deslizamientos en su superficie de apoyo en tanques sin fijación cuando se supera la resistencia de fricción tanque-apoyo; d) rotura de las juntas del techo o derrame de líquidos contenidos, debido al oleaje; e) levantamiento global del tanque y el líquido contenido, debido a las aceleraciones verticales que generen fuerzas verticales hacia arriba, superiores al peso estático.

En el diseño sísmico convencional de un tanque deben considerarse los siguientes aspectos: a) las fugas de sus contenidos pueden dar lugar a incendios, explosiones y derrame de sustancias tóxicas, que pueden causar un desastre catastrófico para el medio ambiente, así como la vida humana; b) la disipación de energía sísmica a través de una respuesta inelástica del tanque puede no ser adecuada por los requisitos de estanqueidad y la función de contención del depósito; c) la minimización del potencial de vuelco conduce al uso de tanques de gran diámetro en relación a la altura, lo que resulta en una forma indeseable además de un uso ineficiente del espacio del lugar donde se emplazan.

Los motivos enumerados conducen a que, en muchos casos, una solución de diseño más económica se logre con la implementación de estrategias no convencionales tales como el aislamiento sísmico de base en el tanque. Estudios realizados en tanques convencionales y aislados demuestran que el cortante en la base y el momento de vuelco en un tanque sísmicamente aislado se reducen hasta un 85% respecto a los valores para un tanque convencional, pero la altura de las olas no se reduce por el hecho de implementar un sistema de aislamiento sísmico.

Un sistema de aislamiento puede reducir la demanda sísmica en la estructura del tanque. El beneficio se ejerce de dos maneras: aumentando el período de la estructura lo que disminuye la demanda sísmica y minimiza las distorsiones internas del tanque, ya que estas se concentran en el sistema de aislamiento; y la segunda, disipando energía a través de los dispositivos de

aislamiento, zona donde se concentra la totalidad de la deformación inelástica mientras el tanque permanece en rango elástico.

Por otro lado el aislamiento sísmico de un tanque conlleva a ciertos inconvenientes tales como: a) aumento de los desplazamientos relativos entre el suelo y el tanque, que pueden afectar las tuberías, las cuales deberán contar con conexiones flexibles que resultan más costosas; b) desacople de la acción sísmica sólo en dirección horizontal, ya que para controlar los descensos verticales a nivel de la base del tanque, los aisladores poseen una rigidez vertical alta, por lo que la respuesta debida a la aceleración vertical no se reduce; c) no se acusa reducción de las presiones de oleaje ocasionadas por la masa convectiva del líquido contenido, ya que el período de oscilación de oleaje (10 a 12 seg.) es mucho mayor que el período del sistema de aislamiento (2 a 3 seg.).

Los antecedentes relacionados con el tema de la tesis indican que existen una serie de variables aún no resueltas y en otros casos no analizadas entre las cuales se pueden destacar las siguientes: a) no existe suficiente información sobre las diferencias de respuesta de los tanques aislados sujetos a terremotos del tipo vibratorios o impulsivos; b) no existe información sobre la estrategia a utilizar para desacoplar el tanque aislado de la componente de aceleración vertical del terremoto; c) no ha sido posible reducir el oleaje que produce la masa convectiva del líquido contenido en el tanque aun cuando se utiliza la técnica de aislamiento sísmico de base; d) no se han encontrado resultados que correlacionen los tipos de suelos de los lugares de emplazamiento de los tanques aislados con las respuestas obtenidas, es decir que se ha supuesto, para el tanque aislado, que las respuestas sísmicas son independientes del tipo de suelo y de los mecanismos generadores de terremotos.

Por lo tanto la tesis doctoral plantea como objetivo encontrar respuestas a los siguientes temas: a) evaluar la respuesta de tanques aislados sujetos a terremotos del tipo vibratorios e impulsivos; b) plantear alternativas de diseño con el objeto de desacoplar la componente vertical del terremoto; c) plantear alternativas de diseño con el objeto de reducir el oleaje de la masa convectiva de los tanques sísmicamente aislados; d) evaluar la incidencia de las características del suelo del lugar de emplazamiento en la respuesta del tanque aislado.

Palabras Clave: Tanques de almacenamiento, Aislación de base, Protección sísmica, Líquidos peligrosos

Filosofía de la Química: Problemas Epistemológicos y Ontológicos de la Tabla Periódica de los Elementos

Rodolfo Vergne[a]

[a] Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria, Universidad Nacional de Cuyo, Bernardo de Irigoyen, 5600 San Rafael, Argentina
rodolfovergne@hotmail.com

Resumen. La tabla periódica y la ley periódica de los elementos, ofrece un lugar privilegiado para reflexionar sobre los problemas de la química para establecerse como una disciplina autónoma epistemológica y ontológicamente. Además es un objeto de estudio adecuado para seguir discutiendo cuestiones centrales de la filosofía de la ciencia, como los conceptos de ley científica, teoría científica, explicación y predicción.

Palabras Clave: filosofía de la química, tabla periódica, ley periódica, ontología, epistemología.

1. La aparición de la filosofía de la química

La filosofía de la ciencia ha pasado de las discusiones de las ciencias en general, a las ciencias especiales, como la filosofía de física, de la biología, de la matemática, de las ciencias sociales, etc. Sin embargo, la filosofía de la química recién a finales del siglo XX (Labarca, 2005, 2007). Hay autores que atribuyen el retraso de la aparición de la filosofía de la química a tres factores (Labarca, 2005): a) un realismo ingenuo externalista que supone un monismo ontológico: el físico, b) la reducción de la química a la física, tesis común tanto a físicos como filósofos de la ciencia, c) la percepción social negativa por la relación entre la industria química moderna y los problemas ambientales actuales, sumados a una campaña anticientífica y antiquímica.

La filosofía de la química se estableció socialmente en 1997, a partir de un número especial de la revista *Synthese*, y se ha convertido en el campo de investigación autónomo de mayor crecimiento de los últimos catorce años (Labarca, 2005). Los nuevos filósofos de la química cuestionan algunas concepciones tradicionales de la disciplina y abordan nuevos tópicos que indican la existencia de un nuevo ámbito legítimo de reflexión.

Los temas y problemas que aborda la filosofía química hasta ahora son: el problema de la naturaleza de las entidades químicas; el problema del realismo; el problema de la autonomía de la química con respecto a las otras ciencias, especialmente de la física; el problema de las leyes y teorías químicas.

2. La tabla periódica de los elementos químicos

La tabla periódica de los elementos químicos constituye un ícono cultural de la química. Tiene características únicas: es la única ciencia que con una simple tabla captura la esencia de la materia. En ella se encuentra contendía toda la ciencia química. Pero el hecho que desde sus primeras elaboraciones hasta el día de hoy existan más de setecientas representaciones, y que hay propuestas alternativas, indica que aún hay problemas que discutir. Los intentos de explicar el sistema periódico han conducido a importantes avances en las áreas de la ciencia química, además de la física teórica en particular. La ley periódica, una ley fundamental de la ciencia química, es la ley central de la tabla periódica. Pero no tiene la estructura y precisión de una ley física. Aunque esto no niega que se trate de una ley natural. El desarrollo de la teoría atómica y de la física cuántica ha hecho que la física colonice la química, subyace en el comportamiento de todos los elementos e impregna la estructura de la tabla periódica. A pesar de ello, el planteo de una autonomía ontológica y epistemológica de los fenómenos químicos, desafía la comprensión de la tabla periódica desde teorizaciones puramente químicas, ya que los sentidos de elemento y sustancia simple conlleva discusiones filosóficas.

Agradecimientos

Este trabajo forma parte de la Tesis de Maestría en Historia y Epistemología de la Ciencia, de la Universidad Nacional de Tres de Febrero.

El autor expresa su agradecimiento a Martín Labarca, Alfio Zambón, Olimpia Lombardi y María Eugenia Márquez.

Referencias

1. Chamizo, José Antonio (2007) Sobre el reduccionismo en la ciencia o la imposibilidad de reducir la química a la física. La Gaceta, nº 440: 8-10.
2. Labarca, Martín y Lombardi, Olimpia (2005) The ontological autonomy of the chemical world. Foundations of Chemistry, nº 7, p. 125–148. Springer
3. Ostrovsky, V. N. (2001) What and How Physics Contributes to Understanding the Periodic Law, Foundations of Chemistry, nº 3: 145–182.
4. Ostrovsky, V.N. (2003) Physical Explanation of the Periodic Table, Annals of the New York Academy of Sciences, nº 988: 182-192.
5. Restrepo, Guillermo y Pachón, Leonardo A. (2007) Mathematical aspectos of the periodic law, Foundations of Chemistry, v. 9, nº 2: 189-214. Springer
6. Scerri, Eric (2007) The periodic table. Its story and its significance. New York, Oxford University Press.
7. Scerri, Eric (2008) El pasado y el futuro de la tabla periódica. Educación Química, Julio de 2008, p. 234-241
8. Scerri, Eric (2009) Selected papers on the periodic table. Londres, Imperial College Press.
9. Scerri, Eric (2010) Explaining the periodic table, and the role of chemical triads. Foundation of chemistry, nº 12: 69-83. Springer.