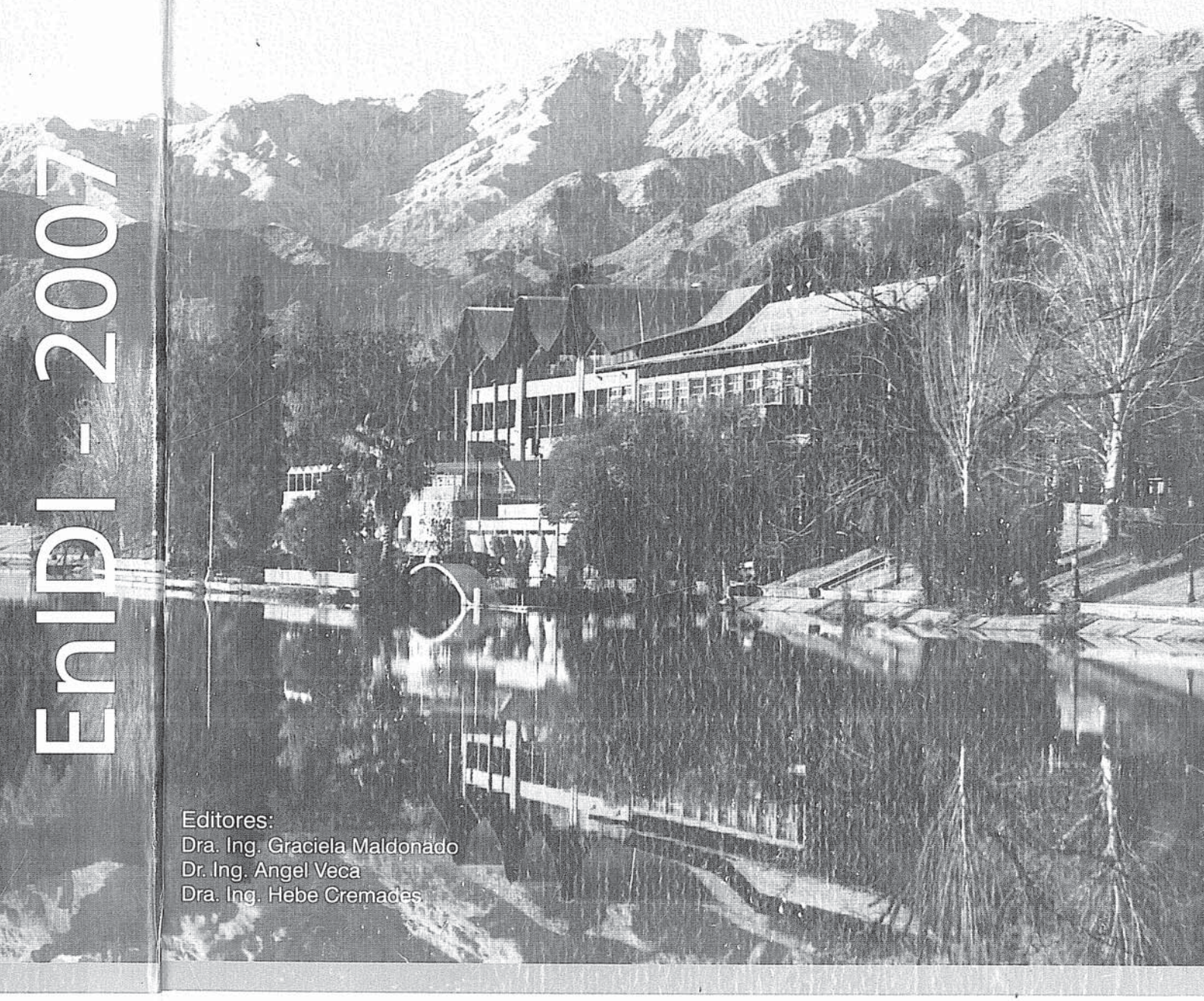
EnIDI - 2007



EnIDI - 2007

Editores:
Dra. Ing. Graciela Maldonado
Dr. Ing. Angel Veca
Dra. Ing. Hebe Cremades

UTN
Facultad Regional Mendoza
Universidad Tecnológica Nacional

Universidad Tecnológica Nacional

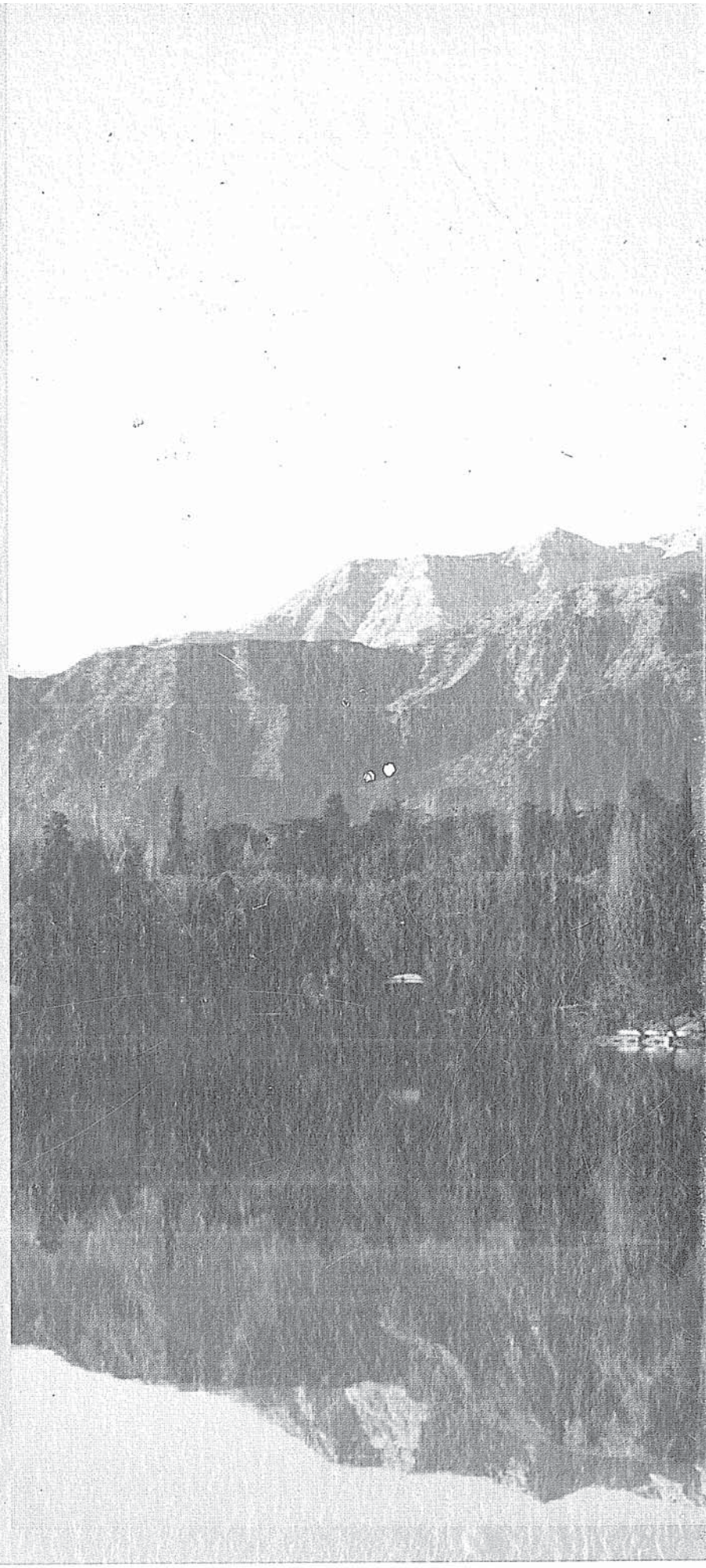
FACULTAD DE INGENIERIA
en acción continua...

Facultad de Ciencias
Aplicadas a la Industria

El presente volumen contiene una selección de trabajos presentados en el Encuentro de Investigadores y Docentes de Ingeniería organizado por las Facultades de Ingeniería y de Ciencias Aplicadas a la Industria de la Universidad Nacional de Cuyo y de las Facultades Regional Mendoza y Regional San Rafael de la Universidad Tecnológica Nacional.

Los trabajos aquí incluidos representan una porción significativa de los proyectos de investigación en desarrollo de ambas instituciones. El nivel de maduración de estos trabajos, es tal que su publicación constituye un aporte original en el área específica de investigación.

Este encuentro tiene como principales objetivos incentivar el enlace entre los investigadores de las unidades académicas, despertar el interés en la investigación de los alumnos a nivel de grado, y exhibir a la sociedad las capacidades científico tecnológicas de estas casas de Altos Estudios



ISBN 978-950-42-0087-1

www.enidi2007.frm.utn.edu.ar

Desarrollos e Investigaciones Científico-Tecnológicas en Ingenierías

2007

Desarrollos e Investigaciones Científico-Tecnológicas en Ingenierías

Copyright @ Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional, 2007. Todos los derechos de este libro están reservados. Sólo está permitida la reproducción parcial o total de este libro con fines Académicos siempre que se mencione el origen.

Primer edición: Octubre de 2007

Diseño de Tapa: Dr. Arq. Fabián Bochaca
Fotografía de tapa: Marcelo Alvarez
Club Mendoza de Regatas y Lago del Parque General San Martín,
Ciudad de Mendoza.

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

EnIDI 2007, Mendoza, Argentina
16,17 y 18 de Octubre de 2007

Desarrollos e Investigaciones Científico-Tecnológicas en Ingenierías

Editores
Noemí Graciela Maldonado
Angel César Veca
Hebe Cremades

Facultad Regional Mendoza
Universidad Tecnológica Nacional

FACULTAD DE INGENIERIA
en acción continua...

Facultad Regional San Rafael
Universidad Tecnológica Nacional

Fac. de Cs. Aplicadas a la Ind.
Universidad Nacional de Cuyo

Decanos

Facultad Regional Mendoza – UTN	Ing. Eduardo A. Balasch
Facultad Regional San Rafael – UTN	Ing. Horacio P. Pessano
Facultad de Ingeniería – UN Cuyo	Ing. Eduardo F. Manfredi
Facultad de Ciencias Apl. a la Ind. – UN Cuyo	Ing. Fabio Tarántola

Secretarías de Ciencia, Técnica y Posgrado

Secretario de Ciencia, Tecnología y Posgrado Facultad Regional Mendoza - UTN	Dr. Ing. Alejandro P. Arena
Secretario de Ciencia, Técnica Facultad Regional San Rafael - UTN	Ing. Felipe Genovese
Secretario de Ciencia y Técnica Facultad de Ingeniería – UN Cuyo	Dr. Ing. Jorge H. Barón
Secretaria de Ciencia y Técnica Fac.de Ciencias Apl. a la Industria – UN Cuyo	Dra. Ing. Alicia Ordóñez Yapur

Organización General

Secretaría de Ciencia, Tecnología y Posgrado – FRM UTN
Secretaría de Ciencia y Tecnología - Facultad de Ingeniería - UNCu.

Comité Organizador

Dra. Selva S. Rivera
Dr. Ing. Jorge E. Núñez Mc Leod
Dra. Ing. N. Graciela Maldonado
Dr. Ing. Alejandro P. Arena
Dr. Ing. Angel C.Veca
Dra. Ing. Hebe Cremades
Dr. Arq. Fabián Bochaca

Comité Científico

Dr. Hugo Martínez
Dra. Adriana Fornés
Lic. Selva Ugarte
Dra. Ing. Selva Rivera
Dr. Jorge Nuñez Mc Leod
Prof. Raquel Zumel
Dr. Ernesto Muñoz Puntes
Dr. Raúl Chernikoff
Dra. Alicia Lucía Ordóñez
Dra. María Ester Balanza
Dr. Ing. Alejandro Pablo Arena
Dra. Ing. Noemí Graciela Maldonado
Dr. Ing. Angel Veca
Dr. Raúl Pérez
Dr. Ing. Carlos M. Puliafito
Dr. Ing. S. Enrique Puliafito
Prof. Ing. Lilian Cejas
Prof. Ing. Ricardo Césari
Prof. Ing. Miguel E. Tornello
Mg. Ing. Gustavo L. Palazzo
Dra. Ing. Hebe Cremades
Prof. Ing. Alfredo Iglesias
Dra. Mariela B. Maldonado
Dr. Juan Manuel Torres

PREFACIO

La formación del ingeniero está sufriendo procesos de cambios muy importantes en todo el mundo. El ingeniero actual debe ser capaz de anticipar los cambios tecnológicos y de adaptarse a los nuevos roles que se le exigen, sin perder la solidez de su formación clásica.

En este contexto, la investigación científica y tecnológica ha cobrado un fuerte reconocimiento como uno de los pilares imprescindibles en su formación. Es necesario elaborar estrategias que permitan a la Universidad Argentina asumir un rol protagónico e insertarse en el contexto de las más avanzadas en este campo, sin descuidar la obligación de dar respuestas a las necesidades urgentes que la sociedad posee.

En un país con amplios sectores con necesidades insatisfechas, este desarrollo se debe hacer del modo más racional posible, de modo de aprovechar eficientemente los escasos recursos disponibles. Se deben potenciar las actividades en red, el compartir los recursos, los proyectos de cooperación, la integración regional, incentivando la publicación y la apertura de los resultados de la investigación y la difusión de los nuevos conocimientos, siempre respetando los códigos de conducta y de reconocimiento de autoría propios del ámbito de la investigación científica moderna.

Esta Tercera Edición del Encuentro de Docentes e Investigadores, EnIDI 2007, constituye por todo esto una consolidación del importante hito en la relación científica y tecnológica entre las Facultades estatales de Ingeniería de la provincia de Mendoza. Constituye una herramienta eficiente para dar a conocer las investigaciones de nuestros docentes y alumnos, abre nuevas perspectivas de cooperación y nuevas oportunidades para acceder a programas de financiamiento, y refuerza el lazo más importante que es necesario establecer para transitar exitosamente la tendencia a la globalización: el que tenemos con nuestro vecino.

Mendoza, Octubre de 2007

Alejandro Pablo Arena
Jorge Barón

PREFACIO DE LOS EDITORES

Este volumen reúne la selección de trabajos que superaron un proceso de revisión por pares y que representan un esfuerzo coordinado de investigadores y docentes de la Universidad Nacional de Cuyo y la Universidad Tecnológica Nacional en la provincia de Mendoza para difundir el resultado de investigación y docencia.

La publicación de estos trabajos ha sido posible gracias al apoyo institucional de las Unidades Académicas participantes que vieron en la organización del Encuentro de Investigadores y Docentes de Ingeniería una importante oportunidad de intercambiar experiencias, ver las posibilidades de cooperación o de complementación y la oportunidad de exponer a la opinión de los pares los proyectos de investigación realizados en ambas Universidades.

El apoyo de ambas Universidades fue determinante al momento de solventar los gastos económicos derivados de la organización del encuentro y sobre todo de la realización de esta publicación.

Los editores queremos agradecer especialmente el apoyo y soporte recibido de los Secretarios de Ciencia y Técnica de ambas Instituciones, Dr. Ing. Alejandro Pablo Arena y Dr. Ing. Jorge H. Barón, sin cuyo respaldo el proceso de revisión de trabajos por parte de los pares no habría contado con la libertad necesaria para cumplir con las expectativas planteadas de estos encuentros y el apoyo recibido de los Decanos de las Facultades participantes para alcanzar esta publicación.

Nuestro especial agradecimiento a todos aquellos que aportaron para que esta iniciativa se concretara y especialmente a Cristian Guzmán por su soporte informático.

Queremos extender un amplio reconocimiento a los docentes e investigadores que aceptaron ser revisores y que asumieron su papel con responsabilidad y honestidad, que brindaron su consejo desinteresado para la mejor presentación de un trabajo que valorizara adecuadamente la investigación realizada. A todos ellos un sincero agradecimiento.

Finalmente queremos dirigirnos a todos aquellos que participaron enviando sus trabajos de investigación, que dignamente se sometieron al juicio de los evaluadores y a los requerimientos que desde la editorial les realizábamos. A todos ellos nuestro reconocimiento por su esfuerzo y su disposición a trabajar por lograr una publicación de primera calidad.

Octubre de 2007

Noemi G. Maldonado
Angel C. Veca
Hebe Cremades
Editores

TABLA DE CONTENIDOS

Biotecnología

Comportamiento reológico de pulpa de pera. 1
E. Muñoz Puentes, L. A. Rubio, R. Chernikoff, H. N. Possa, M. S. Cabeza.

Síntesis de óxidos mixtos tipo perovskitas. 7
N. G. Valente, M. C. Medaura, S. Aguado, M. Vitale, L. E. Cadús, B. Barbero.

Selección de microorganismos psicrotolerantes productores de pectinasas para la vinificación a bajas temperaturas. 13
M. S. Cabeza, F. Baca de Jiménez, V. I. Morata de Ambrosini.

Optimización de medio cultivo de bacterias desnitrificantes para control biogénico de H_2S. 21
O. D. Gálvez, S. M. da Silva, J. N. Fuentes Berazategui.

Análisis de modos de falla y criticidad de efectos en los sistemas de contención de lixiviados. 29
S. Llamas.

Carbones activados obtenidos del Marabú (*Leptoptilus Crumeniferus*) 37
B. Bucki Wasserman, P. J. Villegas, A.J.Pérez de Armas, A.Mollineda

Energía y Medio ambiente

Análisis del ciclo de vida de la turbina G47-660 KW. 43
A. Rivarola, P. A. Arena, H. Mattio.

Calidad del aire en Mendoza. 51
M. E. Barbeito, M. R. Clausen, F. Castro, D. Pitrella, D. Tornado

Benceno en la ciudad de Mendoza: un primer intento de evaluación de riesgo.
F. Castro, M. E. Barbeito, M. R. Clausen. 57

Índices y mapas de sensibilidad ambiental de San Rafael, 1ª parte: aspectos metodológicos. 65
L. E. Najar, G, Zenobi, S. B. Prósperi, et al.

Impacto sobre el suelo de las deposiciones de compuestos de Nitrógeno provenientes de emisiones liberadas a la atmósfera. Evaluación de la eutrofización terrestre en Mendoza, Argentina. 73
B. Civit, A. P. Arena, E. S. Puliafito.

Evaluación ambiental del uso de energía solar para la deshidratación de tomates en la ciudad de Mendoza. 81
A. P. Arena, L. Flores, M. C. Gardey Merino, A. Herrerías.

Trayectorias de consumo energético y emisiones de carbono. 89
S. E. Puliafito, H. Cremades.

Enseñanza

Educación a distancia: primeras experiencias en la enseñanza de grado en la Facultad de Ingeniería. 97
D. Fernández, M. Guitart.

Análisis comparativo de variables didácticas en el curso de Probabilidad y Estadística en las modalidades presencial y a distancia. 105
D. S. Fernández, M. B. Guitart.

Enseñanza de la ingeniería:vínculo del estudiante con su futura profesión. 111
A. B. Guajardo, s. B. Prósperi, M. G. Molina, S. M. Alcantú, R. Maggioni, P. Castro, P. Gazal.

Cuando no alcanza el Curso de Nivelación presencial. 117
E.E.Calíguli, G.B. Astargo

Portabilidad de la matemática y las analogías en ciencias. 125
C. A. Bello, G. Cuadrado, A. J. Fara, E. Mannoni.

Educación a Distancia virtualizada: caracterización y especificidades de su uso en la enseñanza de las matemáticas. 133
J. L. Córica, M. P. Garrido.

Informática

Modelación desde el análisis del comportamiento del tráfico en LANs (cableadas y wireless) por protocolos de red. 141
S. C. Perez, H. A. Facchini, A. Dantiacq.

Experiencias en computación de alta disponibilidad con el entorno Condor.
P. Martínez, C. García Garino, C. Catania, J. Monetti 149

Un modelo basado en el conocimiento para la planificación de procesos asistida por computadora. 157
M.G. Marchetta, R. Q. Forradellas

Estimación del tiempo de procesamiento paralelo para el cálculo de series y matrices. 165
O. Marianetti, O. León, C. García, C. Catania.

μMACAW: protocolo para redes inalámbricas ad-hoc orientado a microcontroladores de 8 bits. 171
R. González, D. J. Scokin.

JEM: Una herramienta de administración para gris computing. 179
J. C. Monetti, C. García Garino, O. León, S. Salinas, C. Catania.

Sistemas de decubrimiento de servicios y recursos. 187
S.Salinas, C. García Garino, A. Zunino

Ingeniería Civil

Deformación de la corteza terrestre debido a movimientos de placas tectónicas y otros fenómenos. Primeros resultados obtenidos del Proyecto TAM. 195
M. H. Blanco, P. A. Euillades, L. D. Euillades, J. E. Núñez Mc Leod, B. A. Brooks.

Soluciones no tradicionales de compactación en un predio rellenado sin el control para la construcción de viviendas. 203
D. Agri, G. Balverde, S. Miranda, I. A. Maldonado, N. G. Maldonado.

Compuertas de caudal cuasi-constante para el Canal Marienhoff. 211
L. M. Magistocchi, P. S. Infante, P. G. Espina, C. L. F. Dávila.

Delineación de las zonas de cercanía a la fuente sismogénica (criterio UBC 1977) para la falla activa La Cal: análisis de las ventajas, desventajas y complicaciones para su aplicación. 217
F. A. Mingorance.

Diagnóstico y propuesta de reparación de una cámara desarenadora afectada por sustancias agresivas en aguas de contacto. 225
C. O. Bay.

Hidrología del río Atuel y las precauciones con la línea de ribera en el tramo entre Valle Grande y Rincón del Atuel. 233
F. A. Di Lello

Respuesta de anclajes químicos en estructuras de hormigón. 241
N. Agüera, C. Gioacchini, S. Panella, N. Pizarro, M. Fabroni.

Respuestas de un sistema de aislamiento sísmico conformados por resortes helicoidales de acero y amortiguadores visco elásticos. 247
M. E. Tornello, M. Sarrazin Arellano.

Estudio del uso de un residuo industrial para hormigones sustentables con materiales locales. 247
N. G. Maldonado, P. Helene, A. M. Guzmán, M. Oropel.

Evaluación de rehabilitación y reparaciones del puente "Los Árboles", Río Tunuyán, Rivadavia, Mendoza, Argentina. 255
L. A. Olivencia, J. G. Aloy, J. C. Jefferies, O. Pascolatti, M. A. Pagnotta.

Desarrollo e implementación de una base de datos de registros sísmicos. 271
F.Atencio, C.D.Frau, N.G.Maldonado, E.O.Silva, S. Panella

Comprobación de las características físicas y mecánicas a cumplir por los ladrillones de fabricación artesanal. 279
A. Cantú, M.López de Mendoza, M. Gallina, J. Tempestti

Modelos

El control estadístico de procesos en la estimación de la incertidumbre. 287
J. Ortigala, C. Bello, G. Cuadrado.

Modelación con código Melchor 1.8.5 del comportamiento de la Central Nuclear Atucha I par una hipotética rotura en una de las ramas frías con falla total de sistema Tj de baja presión. 295
E. González Videla, J. E. Núñez Mc Leod.

Diseño y simulación de un sistema industrial con redes de petri coloreadas y jerarquizadas. 303
A. Pasero, M. Distéfano, S. Pérez.

Formulación mixta, una alternativa para modelar vigas dentro de un amplio rango de relación canto/luz. 309
E. J. Vega, M. Dávila, C. J. Leiva, D. López, E. Villafañe.

Equilibrio postcrítico de vigas con pérdida de estabilidad lateral usando elementos finitos sólidos y cinemática de grandes deformaciones y rotaciones.
C. A. Careglio, A. E. Mirasso, C. G.García Garino. 317

Análisis del problema de inestabilidad del equilibrio en elementos estructurales de material compuesto. 325
R. Zaradnik, S. Raichman, A. Mirasso.

Tecnología Aplicada

Antenas de banda S con tecnología de microtira para aplicación en WLAN.
M. D. Pérez, C. M. Puliafito, J. Aliquó. 333

Monopolo con plano de tierrra finito para aplicación en banda S. 341
M. D. Pérez, C. M. Puliafito, J. Aliquó.

Deformación superficial actual de carácter local en el Gran Mendoza: resultados obtenidos mediante el procesamiento SBAS de imágenes. 349
P. A. Euillades, L. D. Euillades, M. H. Blanco.

Detección de mezclas espectrales en imágenes hiperespectrales. 357
J. E. Núñez Mc Leod, P. A. Euillades, M. H. Blanco.

Digitalización equipo de perfilaje de uranio, con medición de potencial espontáneo y resistividad. 365
G. F. Neer, C. M. García, F. M. García, A. F. González, A. C. Veca

Comparación del valor teórico y la medición directa del aislamiento acústico en paneles. 373
G. Muñoz Vargas, C.E. Boschi, A.F. González

Sonda portable para la medición de humedad en suelos. 381
F.A.Quiroga, J.A.Quiroga, A.F.González, C.M.Puliafito, J. Aliquó, J.Pérez Peña, A.Resa

Contrastación de un caudalímetro ultrasónico para líquidos limpios. 389
G. Affranchino, G.R.López, D.H. Cabrera, J.F. Fernández

Comportamiento reológico de pulpas de pera

E. Muñoz Puntes, L.A. Rubio, R. Chernikoff & H.N. Possa
emunoz@fcai.uncu.edu.ar & larubio@fcai.uncu.edu.ar
Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria, Universidad Nacional de Cuyo

M.S. Cabeza
CONICET

RESUMEN: Se efectuaron análisis fisicoquímicos y reológicos en distintas muestras de pulpas de pera de la región de Mendoza (Argentina), para las siguientes concentraciones: 12,5; 16; 20; 24 y 28°Bx y temperaturas: 30, 40 y 50°C. Además se realizaron mediciones adicionales a otras temperaturas para hallar los valores de Energía de Activación y estudiar el efecto de la concentración de sólidos solubles sobre la viscosidad. En todos los ensayos se observó que las mismas se corresponden con el modelo de la Ley de la Potencia para fluidos pseudoplásticos. A partir de las determinaciones reológicas se obtuvo una ecuación predictivas de la viscosidad aparente de las pulpas de pera, en función de la concentración de sólidos solubles y la temperatura. No existen diferencias significativas entre los valores calculados y los determinados.

Palabras clave: pulpas - pera - parámetros reológicos

1. INTRODUCCIÓN

El conocimiento del comportamiento reológico de los alimentos fluidos es de suma importancia para el diseño de equipos de proceso (concentración, bombeo, tamizado, desairado, mezclado y tratamientos térmicos diversos, entre otros), así como para evaluación sensorial, determinación de la estructura del alimento y control de calidad [1].
Desde el punto de vista reológico los zumos concentrados, clarificados y despectinizados presentan un comportamiento newtoniano. Sin embargo los derivados de frutas pertenecientes a los otros grupos no cumplen con la ley de Newton de la viscosidad, por lo que se dice que se comportan como fluido no newtonianos. El comportamiento de estos últimos, puede describirse mediante la ley de la potencia [2, 3, 4, 5], o mediante el modelo de Herschel–Bulkley, en el caso que presenten una tensión de fluencia diferente de cero [6].
El propósito del presente trabajo es:
a) Calibrar los viscosímetros empleados y corroborar el buen funcionamiento de los mismos. Establecer curvas de calibración y determinar el rango de medición según la configuración adoptada.
b) Caracterizar las propiedades de flujo de pulpas de pera de la zona de Mendoza, para conformar un banco de datos.
c) Determinar el comportamiento reológico (en flujo y análisis de la tixotropía) en función de la temperatura y de la concentración.

d) Establecer un modelo predictivo del efecto combinado que la temperatura y el contenido de sólidos, ejercen sobre la viscosidad.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se trabajó sobre muestras de pulpas de pera concentradas que se obtuvieron a través de un proceso industrial de concentración en evaporadores de único efecto, realizado por la empresa ARCOR S.A., durante las temporadas de elaboración 2005 y 2006. Las mismas no fueron clarificadas ni filtradas, por lo que presentaban pulpa y pectinas en suspensión.

Las muestras de concentrados de pera fueron retiradas de la empresa elaboradora en frascos de vidrio con tapas herméticas, y una vez en el laboratorio reológico, almacenadas en refrigerador a una temperatura de 1 – 2°C. Además, la empresa ARCOR S.A. proporcionó para la presente investigación un adicional de concentrados envasados en bolsas asépticas de 5 kg, con la finalidad de disponer de materias primas para realizar las restantes mediciones requeridas en el presente trabajo. Las mismas fueron llevadas por dilución a 12,5; 16; 20; 24 y 28°Brix y las determinaciones se efectuaron a diferentes temperaturas con dos viscosímetros "*Brookfield*" del tipo rotacional, modelos LVDV – III y HBDV – III, cuyos principios de operación se basa en la medición del torque requerido para rotar un elemento inmerso en un fluido a velocidad angular constante. El giro de este elemento en la muestra, denominado generalmente spindle o husillo, es accionado por un motor síncrono.

El resultado del torque, sufrido por el resorte calibrado es expresado como porcentaje del valor "*673,7 D·cm*", que es el torque máximo capaz de medir el viscosímetro Brookfield LVDV – III y de un valor "57496 *D·cm*", que es el torque máximo capaz de medir el viscosímetro Brookfield HBDV – III. Es posible abarcar un amplio rango de viscosidad usando distintas velocidades de rotación, las cuales pueden variar *desde 0,1 r.p.m. hasta 250 r.p.m.* con incrementos de *0,1 r.p.m.* Esto proporciona 2500 velocidades de giro disponibles para realizar las mediciones reológicas, las que puede variarse durante el ensayo en forma manual o bien mediante la creación de un programa con el soft proporcionado junto al viscosímetro. Además de la posibilidad de variación de la velocidad de giro, pueden seleccionarse diferentes modelos de spindle, entre ellos los de la serie SC4 del tipo cilindros concéntricos, de los cuales los spindles SC4-21, SC4-25 y SC4-34 fueron utilizados para realizar las mediciones.

Es importante destacar que todos los ensayos fueron realizados por triplicado, de manera de tener una mayor precisión en los datos entregados por el equipo. Así las tres corridas en cada ensayo fueron estudiadas estadísticamente en conjunto, para hallar los valores de las constantes reológicas.

2.1 Análisis de las Propiedades de Flujo. Modelización de Resultados.

Los reogramas de "*Tensión de corte vs. Gradiente de velocidad*", obtenidos a partir de los datos medidos con los viscosímetros, para las muestras estudiadas de concentrados, muestran un comportamiento típicamente pseudoplástico. Por esta razón, se aplicó la ecuación de "*Ostwald de Waele*" para modelizar el comportamiento reológico de éstas. Cabe recordar que esta ecuación deriva del "*Modelo de Cross*", a partir del cual, realizando una serie de simplificaciones, se obtiene el modelo de Ostwald de Waele o modelo de la Ley de potencia.

$$\sigma = k.\dot{\gamma}^{n} \qquad (1)$$

donde:

σ = tensión de corte (Pa)

k = índice de consistencia ($Pa.s^n$)

$\dot{\gamma}$ = gradiente de velocidad (s^{-1})

n = índice de comportamiento al flujo (adimensional)

Se evaluó la influencia de la concentración sobre el índice de consistencia al flujo (K):

$$K = K_c(C)^a \qquad (2)$$

donde:

K_C = constante de proporcionalidad ($Pa.s.°Bx^{-a}$)

C = concentración (°Brix)

a = constante de proporcionalidad adimensional.

2.2 Efecto Combinado de la Temperatura y la Concentración sobre las Propiedades de Flujo.

La metodología para determinar la magnitud de la influencia conjunta de la temperatura y la concentración sobre las muestras de cremogenado está basada en el modelo descripto por P. J. Fito *et al* [7].

Debido a que las muestras de peras estudiadas en el presente trabajo tienen un comportamiento típicamente pseudoplástico, similar al encontrado en muestras de concentrados de tomate, se cree conveniente emplear como base el método descripto por Fito y colaboradores para modelizar el efecto de la temperatura y la concentración sobre las pulpas estudiadas. Modelos similares con ligeras modificaciones abundan en la bibliografía especializada, por lo que el desarrollo de éste sólo intenta describir el efecto de ambos parámetros con resultados satisfactorios.

$$\eta_{ap} = f(T, \dot{\gamma}, C) \quad (3)$$

$$\eta_{ap} = A.e^{(Ea/RT)}.C^{a(t)}.\dot{\gamma}^{(n_{(c)}-1)} \quad (4)$$

donde:

η_{ap} = viscosidad aparente (Pa.s)

A = constante de proporcionalidad (Pa.s.°Brix^{-a}.s^{-1})

Ea = energía de activación (kJoule.mol^{-1})

R = constante Universal de los gases (kJoule.mol^{-1}.K^{-1})

C = concentración (°Brix)

a = constante adimensional

$\dot{\gamma}$ = gradiente de velocidad (s^{-1})

$n_{(c)}$: índice de comportamiento al flujo en función a la concentración.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados experimentales del gradiente de velocidad ($\dot{\gamma}$) con la tensión de corte (σ) han sido ajustadas a la Ley de la Potencia, con el método de los mínimos cuadrados.

En la Tabla 1 se muestran los análisis reológicos de las pulpas de pera obtenidos con la Ley de la Potencia (ecuación 1).

Tabla 1. Resumen de K y n para pulpa de pera

T (°C)		30	35	40	45	50	55	60	65
12,5°Bx	K	4,124	3,740	3,496	3,114	2,784	2,675	2,539	2,224
	n	0,328	0,352	0,363	0,368	0,390	0,380	0,388	0,407
16°Bx	K	12,357	9,883	6,615	4,147	4,082	3,964	3,653	3,308
	n	0,404	0,332	0,427	0,497	0,480	0,460	0,469	0,481
20°Bx	K	16,665	15,696	12,847	9,954	9,087	7,394	7,062	6,872
	n	0,391	0,398	0,412	0,452	0,451	0,501	0,502	0,504
24°Bx	K	38,905	36,091	31,024	30,290	28,074	27,089	25,586	25,142
	n	0,266	0,266	0,270	0,265	0,280	0,278	0,285	0,291
28°Bx	K	52,991	51,928	51,790	51,286	49,556	49,397	47,610	44,617
	n	0,264	0,261	0,247	0,250	0,253	0,252	0,254	0,263

En las Figuras 1 y 2, podemos observar que a mayor concentración, mayor tensión de corte para igual gradiente de velocidad; y dentro de una misma concentración, a mayor temperatura, menor tensión de corte.

Por otra parte, las muestras de peras, al tener cantidades moderadas de pectinas, muestran un comportamiento dependiente del tiempo, ya que la estructura tridimensional de éstas ejerce una marcada influencia sobre esta propiedad, se observó un comportamiento tixotrópico y por esta razón las curvas "ascendente" y "descendente" de los reogramas de "Tensiones de corte vs. Gradientes de velocidad" presentan una histéresis (datos no mostrados).

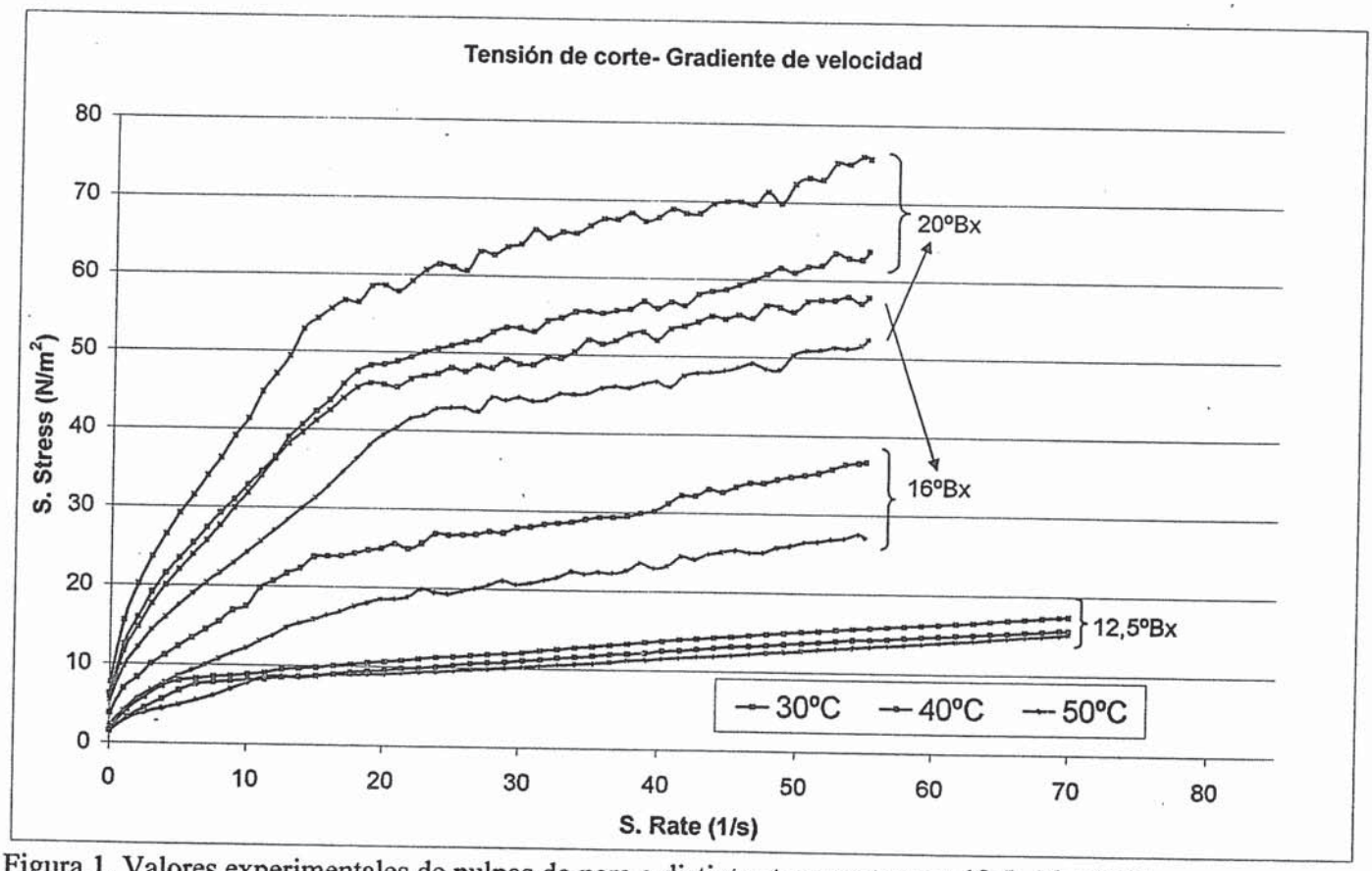


Figura 1. Valores experimentales de pulpas de pera a distintas temperaturas y 12.5, 16 y 20°Bx.

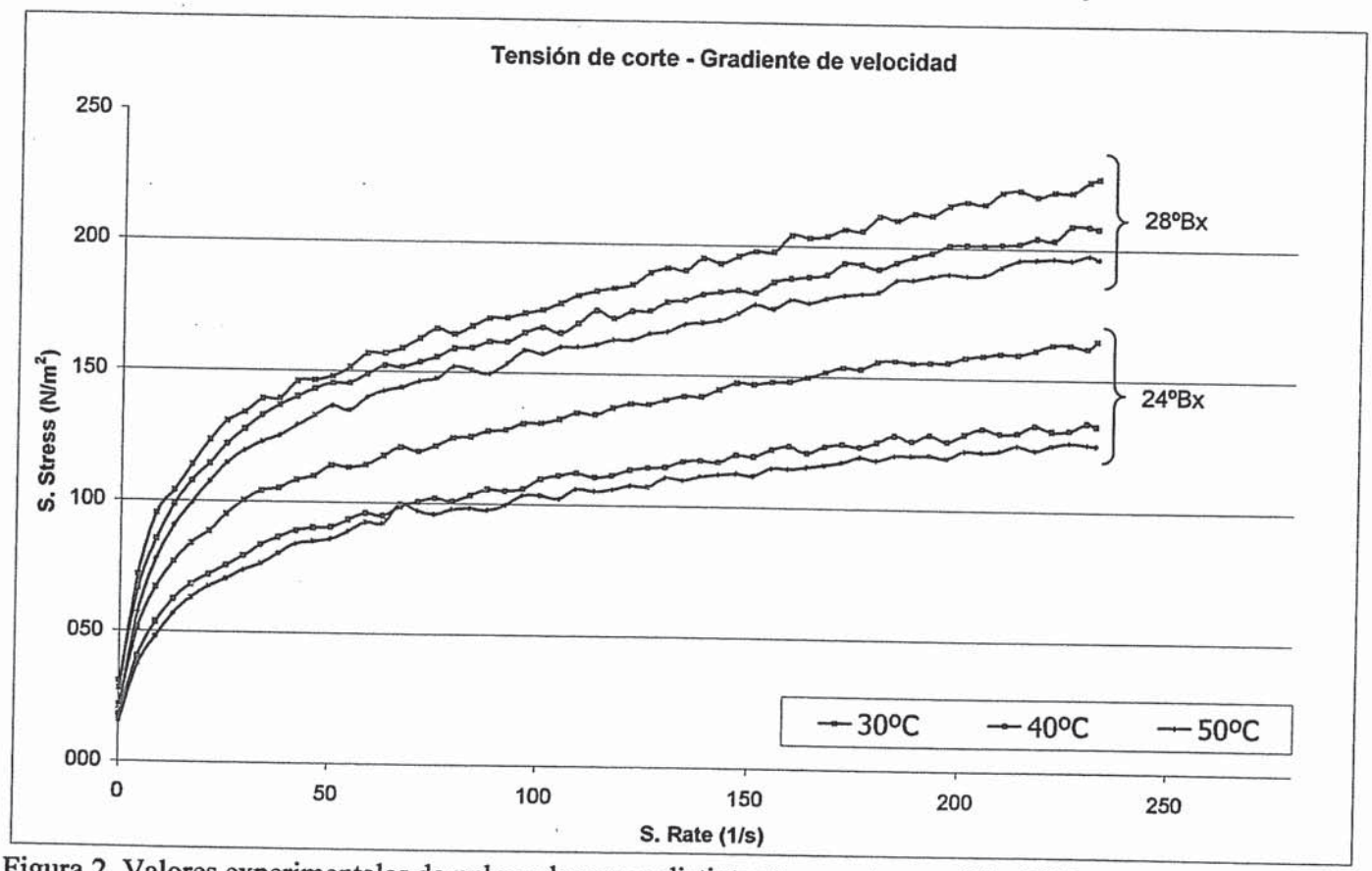


Figura 2. Valores experimentales de pulpas de pera a distintas temperaturas y 24 – 28°Bx.

Los resultados obtenidos utilizando la ecuación 2, se pueden observar en la Tabla 2.

Tabla 2. Resumen de constantes que describen el efecto de la concentración

T (°C)	K_C	a	R^2
30	$1{,}79.10^{-03}$	3,108	0,974
35	$1{,}06.10^{-03}$	3,251	0,989
40	$5{,}18.10^{-04}$	3,441	0,986
45	$2{,}00.10^{-04}$	3,520	0,947
50	$1{,}63.10^{-04}$	3,707	0,954
55	$1{,}46.10^{-04}$	3,764	0,934
60	$1{,}28.10^{-04}$	3,920	0,933
65	$8{,}52.10^{-05}$	4,030	0,943

El efecto combinado se describe entonces con:

$$\eta_{ap} = 3{,}125.10^{-16}.e^{(8825{,}9/T)}.C^{a_{(1)}}.\dot{\gamma}^{(n_{(c)}-1)} \qquad (5)$$

Los valores de $n_{(c)}$ se encuentran en la Tabla 3.

Tabla 3. Resumen de índices de comportamiento al flujo en función de la concentración

C (°Bx)	12,5	16	20	24	28
$n_{(c)}$	0,372	0,365	0,354	0,275	0,255

El análisis de los datos experimentales y los calculados con este modelo muestran resultados que permiten utilizar las ecuaciones propuestas.

Para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas entre los valores medidos y los calculados, se realizó un análisis de varianza ($\alpha = 0{,}05$) entre las columnas de viscosidad aparente medida y la calculada. Los valores de F<Fcrít para todos los casos, muestran que no existen diferencias significativas entre las viscosidades medidas y las calculadas para las pulpas sobre las que se efectuaron las mediciones (datos no mostrados).

Actualmente se están efectuando nuevas mediciones, para mejorar el ajuste de las ecuaciones encontradas.

4. CONCLUSIONES

- El modelo de la ley de la Potencia para fluidos pseudoplásticos, es adecuado para describir el comportamiento al flujo de las pulpas de pera.

Se determinaron los valores del Índice de Consistencia K y de Comportamiento al Flujo n, para las distintas concentraciones a temperaturas de 30, 40 y 50° Centígrados, con coeficientes de determinación superiores a 0,93 en todos los casos.

- Para verificar los ajustes de correlación de las ecuaciones obtenidas, se calculó la viscosidad aparente para las temperaturas y concentraciones de sólidos solubles estudiadas usando las ecuaciones determinadas y los valores medios determinados. De los análisis efectuados se observa que no existen diferencias significativas entre la ecuación propuesta y los valores medidos.
- Las pulpas de pera tienen un comportamiento pseudoplástico lo que implica que, para cada concentración y temperatura, su viscosidad aparente disminuye, al aumentar la velocidad de deformación. Esto requiere que los efectos de la temperatura y de otras variables de proceso, sean evaluadas a distintas velocidades de deformación. Con el aumento de la velocidad de deformación decrece la viscosidad aparente y también la energía de activación. En los procesos de transferencia calórica el primer efecto es beneficioso, en tanto que el segundo no, ya que disminuye el umbral de eventuales daños térmicos. Por lo que deben buscarse las condiciones óptimas de velocidad de deformación y temperatura, en este análisis debe considerarse el eventual deterioro que sobre la calidad del producto puede producir el incremento de temperatura y además el incremento de potencia al aumentar la velocidad de deformación. Consideraciones similares deben hacerse en procesos de agitación y bombeo.
- La ecuación del efecto combinado propuesta ajusta bien con los valores experimentales para las condiciones estudiadas.

AGRADECIMIENTOS

Investigación financiada por la SECyT, Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria, UNCuyo.

REFERENCIAS

[1] M. A. Rao & R. C Anantheswaram, Rheology of fluids, Food Processing, Vol. 36, 116-126, 1982.

[2] G. D. Saravacos, Effect of temperature on viscosity of fruit juices and purees, Journal of Food Science, Vol. 35, 122-125, 1970.
[3] S. D. Holdsworth, Applicability of rheological models to the interpretation of flow and processing behaviour of fluid food products, Journal of Texture Studies, Vol. 2, 393-418, 1971.
[4] P. G. Crandall & P. E. Nelson, Effects of preparation and milling on consistency of tomate juice and puree, Journal of Food Science, Vol. 40, 710-713, 1975.
[5] M. A. Rao, Rheological properties of fluids foods, en Engineering properties of foods, 1986. M. A. Rao & S. H. Rizvi, Ed. Marcel Dekker, Inc., New York, 1-48, 1986.
[6] P. G. Crandall, C. S. Chen & R. D. Carter, Models for predicting viscosity of orange juice concentrate, Food Technology, Vol. 36 (5), 245-252, 1982.
[7] P. J. Fito, G. Clemente & F. J. Sanz, Rheological behaviour of tomato concentrate (Hot break and Cold break), Journal of Food Engineering, Vol. 2, 51-62, 1983.

ABSTRACT

Rheological and physicochemical analyses were conducted on different samples of pear pulps from Mendoza (Argentina) with the solid concentrations: 12.5, 16, 20, 24 and 28°Bx and temperatures: 30, 40 and 50°C. Besides, additional measures were done at other temperatures to calculate the Activation Energy values and study the effect of the solid soluble concentration on viscosity. All the assays showed that pear pulps corresponded to the Power Law Model for pseudoplastic fluids.
From these rheological determinations, a predictive equation for the apparent viscosity was obtained for pear pulps, as a function of the soluble solids concentration and the temperature.
There were no significant differences between the calculated and the measured values.

Key Words: pear- pulps- rheological parameters.

Síntesis de óxidos mixtos tipo perovskitas

N.G. Valente, M.C. Medaura, S. Aguado & M. Vitale
gvalente@fing.uncu.edu.ar, mmedaura@uncu.edu.ar, aguadocarlos@speedy.com.ar
Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo

L.E. Cadús & B. Barbero
lcadus@unsl.edu.ar, bbarbero@unsl.edu.ar
Facultad de Química, Bioquímica y Farmacia, Universidad Nacional de San Luis

RESUMEN: En este trabajo se ilustra la síntesis de óxidos mixtos tipo perovskitas por el método del citrato de $LaMnO_3$ y $La_{(1-x)}Ag_{(x)}MnO_3$ a partir de los nitratos correspondientes y a temperatura de calcinación no superior a 700 °C, los cuales serán utilizados como catalizadores medioambientales en reacciones de combustión de hidrocarburos. Se estudió el efecto de distintos parámetros de preparación, relación citrato/nitratos, temperatura, tiempo y condiciones de presión de gelificación, concentración de plata de los precursores y condiciones de secado y calcinación de los sólidos. Sobre las perovskitas obtenidas se realizó difracción de rayos X (DRX) de los cuales se podría inferir que en bajas concentraciones de plata se estaría produciendo la incorporación de la misma en la red cristalina.

Palabras clave: Perovskitas de lantano – Perovskitas de plata - Método del citrato o sol -gel

1 INTRODUCCIÓN

Los compuestos orgánicos volátiles constituyen una de las principales fuentes de contaminación ambiental y es la oxidación catalítica considerada en la actualidad, como uno de los métodos utilizados más importantes para evitar la formación o bien producir la destrucción de estos compuestos, debido a que se produce a temperaturas muy inferiores a las requeridas para efectuar una destrucción térmica [1].
Los catalizadores constituidos por metales nobles soportados, demuestran ser muy activos en este tipo de reacciones, sin embargo presentan la desventaja de ser muy costosos y proclives a ser desactivados por envenenamiento [2].
Una familia de catalizadores que satisface ampliamente los requisitos para intervenir en este tipo de reacciones, la constituye los óxidos mixtos estructurales, denominados perovskitas. Estos catalizadores presentan alta actividad en reacciones de oxidación y de reducción, con aplicaciones en catálisis ambiental, donde se pretende lograr la eliminación de CO, hidrocarburos y NO_x en la combustión de combustibles fósiles o de hidrocarburos en general [3], por lo que están siendo ampliamente estudiados como posibles sustitutos de los catalizadores basados en metales nobles, debido a que muestran resultados de actividad comparables.
En el caso particular de perovskitas que responden a la formulación $A_{(1-x)}B_xO_{3+\lambda}$, A puede estar ocupado por un elemento de las tierras raras, de los alcalinos térreos, de los alcalinos, o por otros iones, mientras que B representa a elementos de transición. En la fórmula, λ representa el exceso de oxígeno, debido a que estas especies no son estequiométricas.

La naturaleza y la cantidad presente del elemento que representa A son variables que pueden provocar estados de oxidación inusuales en el catión B y/o generar vacancias aniónicas en el sólido. Tales defectos estructurales modifican algunas de las propiedades físico-químicas, favoreciendo por ejemplo, el transporte de iones entre los óxidos estructurales, introduciendo interesantes cambios en el comportamiento catalítico. [4].

Se ha demostrado que para la combustión de metano, bajo las condiciones adecuadas, la actividad de las perovskitas puede resultar interesante, alcanzando valores comparables a la de catalizadores de metales nobles [5]. Estos autores estudiaron además, el comportamiento catalítico de metano sobre perovskitas $LaMO_3$ (M = Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu) y parcialemente sustituidas tal como $La_{(1-x)}A_xMO_3$ (M = Mn, Fe, Co y A = Sr, Ca, Ba, Ce).

Se ha demostrado que dopando con plata las perovskitas $LaNiO_3$, $LaMnO_3$, $LaCoO_3$ y $LaFeO_3$, se incrementa la actividad de las mismas durante la reacción de combustión de metano.

No obstante, se ha observado que presentan como limitación principal, sus bajos valores de superficie específica. Esto se debe a que durante la preparación, los óxidos deben someterse a temperaturas de calcinación muy elevadas permitiendo que tengan lugar fenómenos de sinterización severos, los cuales, además de reducir el área específica, influyen también en la densidad de los defectos de superficie, quienes son considerados como los sitios catalíticamente activos en donde la reacción tendrá lugar.

Desde un punto de vista práctico, el procedimiento de preparación de estos catalizadores cumple un rol fundamental, debido a que será determinante de la actividad y la durabilidad del mismo.

Existen varios métodos de preparación que pueden encontrarse en la bibliografía [6-11]. No resulta fácil obtener catalizadores con altas áreas superficiales y gran resistencia térmica para evitar el proceso de sinterización, simultáneamente. Es preciso investigar sobre técnicas de síntesis que permitan alcanzar estas condiciones.

Los óxidos de tipo perovskita han sido extensamente investigados, debido a su potencial aplicación como catalizadores medioambientales. No obstante, debido a la necesidad de trabajar a elevadas temperaturas para obtener la fase perovskita, preservando las condiciones texturales y de superficie específica para su uso en catálisis, es que se han estudiado numerosos métodos de preparación.

Se pueden clasificar en métodos basados en reacciones sólido-sólido y en reacciones líquido sólido.

Los métodos donde intervienen reacciones sólido-sólido son métodos simples, realizados a altas temperaturas y son utilizados en la preparación de óxidos mixtos, cuando no se necesitan áreas importante.

En el caso de aquellos donde intervienen reacciones líquido-sólido, se tienen métodos físicos y químicos.

Físicos:

- Secado por evaporación, es el más simple, donde el secado es por evaporación.
- Explosión, usa las propiedades explosivas del nitrato de amonio agregado sobre el precursor de la fase perovskita.
- Secado por spray y secado libre, la síntesis se obtiene aumentando la velocidad de evaporación mediante el pulverizado de un líquido que da una niebla que luego es secada por spay.

Químicos:

- Cristalización de complejos desde la fase líquida, lo que permite obtener precursores extremadamente homgéneos, su aplicabilidad se ve restringida debido a que resulta difícil preparar complejos en relaciones estequiométricas.
- Coprecipitación, es un método ampliamente usado para la separación del precursor desde la solución. Al igual que la cristalización está limitado por la relación estequiométrica de los cationes en el precursor y en el óxido mixto resultante.
- Complejación, el método consiste en la formación de un complejo de hidroxiácidos entre los iones metálicos y el ácido cítrico. Una alternativa es el proceso de sol-gel usando ácidos orgánicos, usando nitratos metálicos como precursores. Dentro de este tipo de métodos de químicos de complejación, se encuentran las microemulsiones, definidas como sistemas de agua , aceite y un surfactante. Este sistema provee una solución termodinámicamente estable, donde la estructura interna de la misma está determinada por la relación entre los componentes, consistiendo en gotas de un solo tamaño nanoesféricas.

En general, excepto para el método de explosión, solamente es posible obtener perovskitas homogéneas y con áreas superficiales importantes

cuando se trabaja con equipamiento especializado, lo que se relaciona directamente con altos costos.
Una alternativa interesante es utilizar métodos basados en reacciones líquido-sólido que se bien producen superficies menores, el equipamiento de laboratorio es mucho más simple, y manipulando algunas variables se pueden obtener valores de áreas superficiales muy aceptables.
Como ya se expuso, las perovskitas que contienen manganeso constituyen uno de los catalizadores muy interesantes por la actividad que presentan en las reacciones de oxidación de hidrocarburos y en pàrticular en la combustión de metano. El área superficial de estos catalizadores depende notablemente del método de preparación utilizado. En el caso de métodos usuales, con óxidos metálicos o acetatos, se requieren temperaturas de calcinación de hasta 1000 °C para obtener la estructura perovskita, con lo cual es posible observar procesos de sinterización, disminuyendo drásticamente las superficies específicas. Para obtener estos materiales con áreas más grandes, el método más usado es el método de sol-gel que utiliza ácido cítrico como agente complejante, ya que el catalizador puede ser sintetizado en una estructura bien cristalizada entre 600 y 700 °C, temperaturas notablemente inferiores a las utilizadas en otros métodos.
No obstante, el camino seguido en la síntesis de estos sólidos, no determina solamente la superficie específica que se obtendrá, sino también la actividad que presentará por unidad de superficie [12]. Por ello, resulta importante establecer las variables que intervienen en el proceso de síntesis.

2 PARTE EXPERIMENTAL

Se prepararon perovskitas $La_{(1-x)}Ag_xMnO_3$ con valores de x = 0; 0,01; 0,1; 0,2 y 0,3 a partir del método del citrato. Las mismas fueron sintetizadas a partir de nitrato de lantano hexahidratado, $La(NO_3)_3.6H_2O$, (Mallinckrodt); nitrato de manganeso tetrahidratado, $Mn(NO_3)_2.H_2O$, (Merck); nitrato de plata, $AgNO_3$ (Merck) y ácido cítrico monohidratado, $C_6H_8O_7.H_2O$ (Merck).
Las soluciones precursoras se prepararon adicionando las soluciones de los nitratos metálicos, sobre una solución de ácido cítrico preparada con un exceso del 10 % por encima de la masa necesaria del mismo para cumplir la relación de equivalentes [citrato/cationes] = [1/1].
Las soluciones resultantes fueron sometidas a agitación y posteriormente llevadas a un equipo rotavapor para lograr la evaporación del solvente (agua destilada) a 60 °C y a presión reducida, hasta la formación de un gel. En este punto, las muestras fueron secadas en estufa de vacío durante 60 horas a 85 – 90 °C y luego con un incremento progresivo de temperatura hasta 130 °C durante 12 horas. Las muestras obtenidas fueron separadas en dos fracciones y cada una de ellas fue sometida al proceso de calcinación según programas de calentamiento diferentes.
Fracciones 1: La calcinación se realizó según el siguiente programa: desde temperatura ambiente hasta 100 °C a una velocidad de calentamiento de10 °C/min, luego se calentaron a 1 °C/min hasta 500 °C permaneciendo a esa temperatura durante 2 horas. Finalmente, la temperatura se incrementó hasta 700 °C a una velocidad de 2,5 °C/min y se dejó a esa temperatura por el lapso de 3 horas.
Fracciones 2: La calcinación se realizó según el siguiente programa: desde temperatura ambiente hasta 100 °C a una velocidad de calentamiento de10 °C/min, luego se calentaron a 0,5 °C/min hasta 500 °C permaneciendo a esa temperatura durante 2 horas. Finalmente, la temperatura se incrementó hasta 700 °C a una velocidad de 2,5 °C/min permaneciendo a esa temperatura durante 3 horas, período en el que se logra la estructura perovskita.
Las perovskitas fueron caracterizadas por DRX en un equipo Rigaku, operado en un rango 2θ de 10 a 90° a una velocidad de 3°/min con lecturas cada 0,05°. Se empleó radiación Kα de Cu (λ = 0,15418 nm) con filtro de Ni.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resulta muy importante en la preparación de este tipo de sólidos, aplicando el método del citrato, tener un riguroso control de cada una de las variables que intervienen durante el proceso.
En la síntesis de las perovskitas $La_{(1-x)}Ag_xMnO_3$ con valores de x = 0,1; 0,2 y 0,3 se presentaron una serie de inconvenientes. El primero de ellos fue observado durante la etapa de evaporación del solvente, ya que no se logró un gel homogéneo, sino que se observaron fases segregadas. No obstante, se continuo con el proceso descrito antes, planténdose un nuevo inconveniente relacionado a la temperatura de secado y calcinación, puesto que a temperaturas próximas a los 120 °C se produjo una combustión violenta en los sólidos, lo cual se supone pérdidas significativas de superficie específica.

En virtud de no obtener soluciones homogéneas, se decidió dopar las muestras con cantidades de plata menores.

En el proceso de obtención de la perovskita $La_{(1-x)}Ag_xMnO_3$ con x = 0 y 0,01 se pudo lograr un gel homogéneo, sin la presencia de fases segregadas. La temperatura de secado no superó los 90 °C y se realizó por un tiempo prolongado, por lo que no se observó combustión de la misma en esta etapa, sin embargo, este tipo de eventos, si bien de menor magnitud pudo observarse durante la calcinación en la fracción 1, mientras que la fracción 2 pudo ser calcinada sin que se produjeran ningún tipo de incidentes.

En la síntesis de $LaMnO_3$ no se plantearon mayores inconvenientes, salvo algunos puntos de ignición observados luego de la calcinación sobre la fracción 1, no así en la fracción 2.

Debido a la fuerte influencia de la temperatura sobre el proceso de obtención de la fase perovskita, como así también de la preservación de las condiciones texturales y de áreas de superficie específica resulta imprescindible ir identificando las fases a partir de DRX..

En las figuras 1 y 2 se observan los difractogramas de rayos X para $LaMnO_3$ y $La_{0,99}Ag_{0,01}MnO_3$, respectivamente.

En el análisis de los difractogramas no se manifiestan grandes diferencias entre ambos, solo una leve mejoría en la cristalización de la muestra con plata. No se observa la segregación de plata como óxido en una estructura cristalina específica. Se podría suponer, entonces, que la plata fue incorporada a la red cristalina, pero estando en concentraciones tan bajas resulta difícil asegurarlo, ya que el corrimiento de los picos sería prácticamente inapreciable.

El ajuste con las fichas del equipo presenta bastante coincidencia con la estructura $LaMnO_{3,15}$ (PDF Card 32-484), que es una estequiometría un tanto extraña. Esa ficha ajusta bien con los desdoblamientos de picos que se observan.

La no estequiometría en perovskitas se puede alcanzar por deficiencia de cationes, por deficiencia de aniones o por exceso de aniones. En el caso de este tipo de estructuras, una de las perovskitas más estudiadas es la manganita de lantano, $LaMnO_{3,12}$, que presenta una no estequiometría oxidativa, que involucra mayormente vacancias catiónicas de los sitios A [13]. El oxígeno extra de estos sistemas, podría ser acomodado en un amplio rango de no estequiometría mediante la introducción de los defectos ambas redes metálicas. Para que se realice la sustitución parcial de los sitios ya A o B, el radio del ión sustituido debe ser mayor que el del ión húesped.

El contenido de oxígeno de $LaMnO_{3+\lambda}$ es función de la presión parcial de O_2 en contacto con el óxido de la atmósfera reducida a altas temperaturas y con la sustitución parcial de A y B. Kamegashira y col [14] mostraron que el grado de no estequiometría oxidativa de esta perovskita depende en forma directa de la temperatura y el tiempo de calcinación y de la presión parcial de oxígeno.

Es esperable que si se continuara el proceso de calcinación hasta temperaturas superiores a 1000 °C se pudiese observarse la presencia de una fase simple con estructura perovskita con sistema cristalino cúbico (PDF Card 750440).

Como ya se ha mencionado, en la estructura perovskita es posible sustituir parte de los cationes por otros metales que posean radio iónico similar, sin que se manifiesten alteraciones sustanciales de la misma, tal como se observa en los difractogramas. En el caso de $LaMnO_3$, los cationes de plata solo podrían reemplazar a los de lantano, formando $La_{(1-x)}Ag_xMnO_3$ considerando Ag^+ 1,40 Å, La^{3+} 1,22 Å, Mn^{3+} 0.66 Å, Mn^{4+} 0.56 Å [15].

Este intercambio conlleva a la formación de defectos estructurales que compensarían la carga preservando de esta manera la electroneutralidad de la perovskita e introduciendo cambios en el comportamiento catalítico de la misma.

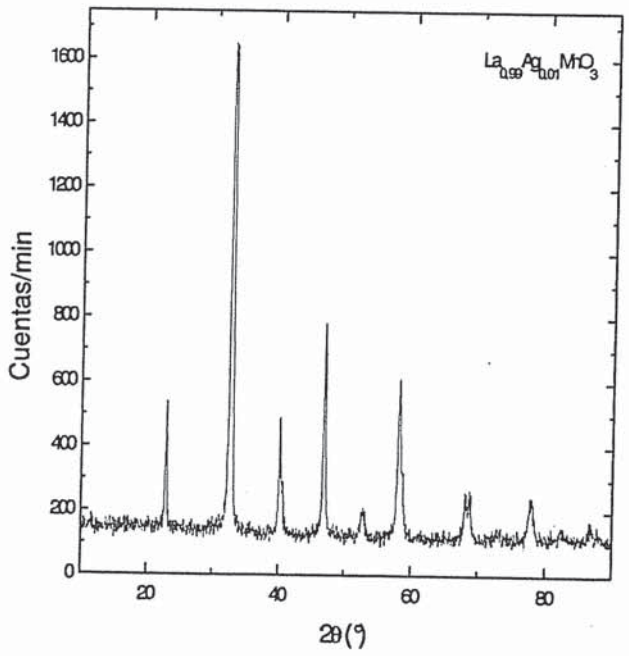


Figura 1. Difractograma de rayos X para $LaMnO_3$

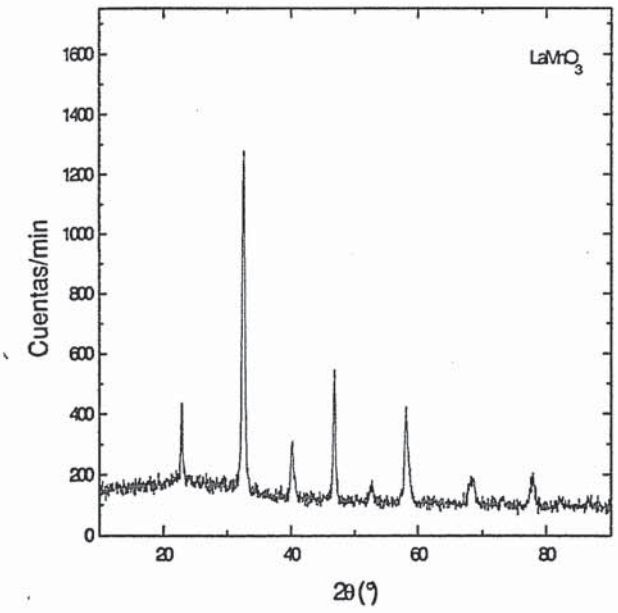


Figura 2. Difractograma de rayos X para $La_{0,99}Ag_{0,01}MnO_3$

4 CONCLUSIONES

Lo expuesto corresponde a una primera etapa exploratoria de un trabajo en desarrollo. Es posible concluir que, luego de un exhaustivo análisis de las diferentes posibilidades de síntesis, el método de sol-gel o del citrato, ofrece amplias posibilidades para el desarrollo de los objetivos planteados.

De esta manera, operando con las distintas variables responsables de las características finales de los sólidos, es que se pudieron obtener perovskitas del tipo $LaMnO_3$ y sustituidas tal el caso de $La_{0,99}Ag_{0,01}MnO_3$.

El mayor desafío en el desarrollo de este tipo de catalizadores consiste en obtener la estructura perovskita preservando un área específica apta para ser utilizada en catálisis.

Queda por delante optimizar el método de preparación y profundizar en la caracterización de los sólidos obtenidos, para lo cual se propone continuar con la caracterización fisicoquímica de los sólidos, a través de determinación de áreas de superficie específicas aplicando el método BET propuesto por Brunauer, Emmett y Teller en 1938 (SSA_{BET}), DRX, espectrofotometría de IR (FTIR), aplicación de métodos térmicos, tales como desorción y reducción térmica programada (DTA-DTG) y finalmente medir la performance catalítica de los mismos en la reacción de combustión de metano.

REFERENCIAS

[1] R.M. Alberici, W.F. Jardim, Appl. Catal. B 14, 55, 1997

[2] M. Paulis, L.M. Gandía, A. Gil, J. Sambeth, J.A. Odriozola, M. Montes, Appl. Catal. B 26, 37, 200

[3] Y. Teraoka, H. Fukuda, S. Kagawa, Chem. Lett. 1, 1990

[4] R. Leanza, I. Rossetti, L. Fabbrini, C. Oliva, L. Forni, Appl. Catal. B 28, 55, 2000

[5] H. Arai, T. Yamada, K. Eguchi, T. Seiyama, Appl. Catal. 26, 265, 1986

[6] H. M. Zhang, Y. Teraoka, N. Yamazoe, Chem. Lett. 665, 1987

[7] M. Wallin, N. Cruise, U. Clement, A. Palmqvist, M. Skoglundh, Colloids and Surfaces A 238, 27, 2004

[8] N. Merino, B. Barbero, P. Grange, L. Cadús, Journal of Catal. 231, 232, 2005

[9] M. Popa, J. Frantti, M. Kakihana, Solid State Ionics 154-155, 437, 2002

[10] S. Kaliaguine, A. Van Neste, V. Szabo, J.Gallot, M. Bassir, R. Muzychuk, Appl. Catal. A 209, 345, 2001

[11] R. Giacomuzzi, M. Portinari, I. Rossetti, L. Forni, Studies Surface Science an Catal. 130, 197, 2000

[12] A. González, E. Martínez Tamaya, A. Beltrán Porter, V. Cortés Corberán, Catal. Today 33, 361, 1997

[13] B.C. Tofield, W.R. Scott, J. Sol. State Chem. 10, 183, 1974

[14] N. Kamegashira, Y. Miyazaki, H. Yamamoto Mater. Chem. Phys. 11, 187, 1984

[15] "Properties and Applications of Perovskite – Type Oxides", Eds. L. G.Tejuca, J. L. G Fierro. Dekker, New York, 1993

ABSTRACT

In this work $LaMnO_3$ and $La_{(1-x)}Ag_{(x)}MnO_3$ perovskites were synthesized by the citrate method from nitrates, at calcinations temperature lower than 700 °C. These catalysts will be used in hydrocarbon combustion reactions. Effect of preparation parameters on crystallographic and morphological properties of synthesized perovskites was studied. citrate/nitrate relation, gel formation temperature

plate concentration in precursor solution, calcinations time and temperature. It was observed that complex precursor of metallic ions and citric acid was homogeneous and by X ray diffraction was verified that after its calcinations a pure phase crystalline structure $LaMnO_{3+\lambda}$ was obtained. The incorporation in crystalline red of plate ion in lower concentration was observed.

"Key Words:" Lanthanum perovskites – Plate Perovskitas – Sol- gel or citrate method

Selección de microorganismos psicrotolerantes productores de pectinasas para vinificación a bajas temperaturas

M. S. Cabeza*, F. Baca de Giménez & V. I. Morata de Ambrosini*
mscabeza@fcai.uncu.edu.ar, fbaca@fcai.uncu.edu.ar, & vmorata@fcai.uncu.edu.ar
Laboratorio de Biotecnología, Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria, Universidad Nacional de Cuyo, Av. San Martín 352, San Rafael, Mendoza, Argentina.
**CONICET*

RESUMEN: Se aislaron y seleccionaron microorganismos psicrotolerantes de acuerdo a su producción de enzimas pectinolíticas con actividad satisfactoria a bajas temperaturas. Diferentes variedades de uvas maduras de la región enológica D.O. (Denominación de Origen) San Rafael (Mendoza, Argentina) fueron muestreadas, aislando cepas de bacterias, hongos y levaduras. Dos cepas de bacterias y 2 de levaduras fueron seleccionadas por su buena actividad pectinolítica a bajas temperaturas. Las bacterias pertenecían al género *Bacillus* y de acuerdo a su perfil metabólico fueron clasificadas como *subtilis*. La cepa con mayor actividad, *Bacillus* SC-H, fue seleccionada. De las técnicas ensayadas, la precipitación con acetona 1:1 fue la técnica más apropiada para aislar la enzima. El perfil de actividad versus temperatura confirmó que es una enzima "fría" que presenta buena actividad a 10°C; su temperatura óptima fue 40°C y la actividad disminuía a temperaturas más altas debido a la desnaturalización.

Palabras clave: pectinasa – enzima fría – bajas temperaturas – *Bacillus*

1 INTRODUCCIÓN

En la industria alimentaria, es conveniente a veces trabajar a bajas temperaturas, para prevenir daños y cambios en el sabor y nutrición. La temperatura es uno de los parámetros más importantes durante la fermentación para obtener bebidas alcohólicas, porque puede afectar tanto la cinética de los procesos como las características del producto final debido a la producción de metabolitos secundarios [1, 2]. En la vinificación es importante mantener la fermentación a bajas temperaturas, 10-15°C, porque incrementa la producción y retención de compuestos de sabor y aroma volátiles, mejorando su perfil aromático [3, 4]. Sin embargo, el inconveniente más grande es el alto riesgo de fermentaciones lentas, ya que se requiere de microorganismos y enzimas adaptadas a las bajas temperaturas.

Las pectinasas son utilizadas en numerosos procesos industriales, tales como la extracción y clarificación de vinos y jugos de frutas, maceración de frutos, reducción de la viscosidad de jugos, extracción de aceites vegetales, y fermentación de café y té [5]. Las enzimas pectinolíticas se pueden clasificar en dos grandes grupos: pectinesterasas (PE), capaces de desesterificar pectinas por remoción de residuos metoxílicos, y depolimerasas, las cuales rápidamente rompen la cadena principal. Éstas, a su vez, se dividen en poligalacturonasas (PG) cuya función es romper el enlace glicosídico por hidrólisis, y liasas (PL) que rompen los enlaces glicosídicos por B-eliminación. Además, estas dos últimas se clasifican en base a si su sustrato preferencial es la pectina, el

ácido péctico o oligogalacturonato y a si su patrón de acción es aleatoria (endo-) o terminal (exo-) [6].
Hay tres etapas en la vinificación en las que se usan enzimas pécticas: molienda, estrujado (para mejorar el rendimiento y la extracción) y tratamiento del vino para asegurar su clarificación y filtración [5]. La acción de estas enzimas facilita la liberación y la solubilidad de los compuestos fenólicos desde las células de la piel. El incremento de la extracción de compuestos fenólicos, tales como taninos, conduce a un incremento en la formación de pigmentos poliméricos en vinos rojos añejos, resultando un color más intenso y mayor estabilidad [7]. La degradación enzimática de las paredes de las células contribuye a una liberación de los terpenoles unidos glicosídicamente desde las bayas. La hidrólisis de estos precursores durante la fermentación puede resultar en una mejora en el aroma del vino [8].
Las enzimas en su rol como catalizadores biológicos presentan variaciones en su actividad dependiendo de las condiciones del medio como pH, temperatura, actividad acuosa, concentración salina y en los diferentes sustratos presentes en la naturaleza.
Por ello, es importante buscar enzimas activas bajo condiciones específicas de un cierto proceso.
La región enológica D.O. donde este estudio se lleva a cabo, San Rafael, es reconocida por la calidad de su vino (características organolépticas especiales relacionadas con las bajas temperaturas).
Por esto es importante buscar microorganismos y enzimas activas a bajas temperaturas [9, 10, 11].
Los microorganismos psicrofílicos [12, 13] optimizan sus parámetros catalíticos originando una estructura altamente flexible, que provee mejores habilidades ante cambios conformacionales durante la catálisis.
Los microorganismos mesofílicos poseen una temperatura de crecimiento más amplia, con cepas individuales capaces de crecer a temperaturas tan bajas como 4°C o tan altos como 42°C. El rango de temperatura de crecimiento de una cepa particular, sin embargo, puede usualmente ser definidas tanto a baja temperatura (por ejemplo, 4-37°C) o alta (por ejemplo, 10–42°C). Las cepas capaces de crecer a temperaturas por debajo de 7°C se llaman psicrotolerantes (psicrotróficas) [14]. Los microorganismos adaptados a crecer a bajas temperaturas, tales como microorganismos psicrofílicos, tienen estructuras más flexibles que pueden fluir bajo estas condiciones.
Este estudio fue realizado con el objetivo de aislar bacterias, levaduras y hongos nativos desde fuentes naturales en la provincia de Mendoza capaces de producir pectinasas activas a 15°C.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 *Aislamiento y selección de cepas:*

El aislamiento de microorganismos productores de enzimas se realizó a partir de uvas de San Rafael. Se lavaron 2 uvas maduras de una misma variedad exhaustivamente con 2 ml de agua peptonada. Se inoculó una placa de Petri que contenía agar YEPD con 0,3 ml del fluido de lavado y una espátula de Drigalsky. Se incubó a 30°C por 5 días. El procedimiento se repitió tomando diferentes variedades de uvas, hasta obtener 14 placas. Se tomaron 30 colonias de cada placa y se cultivaron en un medio especialmente diseñado que contenía pectina. La composición en g/1000 ml de agua destilada era: Pectina, 2; Extracto de levadura, 1; Peptona de carne, 10, Peptona de soja, 10; Agar, 10; KH_2PO_4, 0.2; $CaCl_2$, 0.05; $(NH_4)_2SO_4$, 3; $MnSO_4.6H_2O$, 0.05; $FeSO_4.7H_20$, 0.015; MgSO4, 0.8 y pH = 5. Las 30 colonias se cultivaron a 15°C y a 30°C durante 5 días. Se tiñeron las placas con solución de Lugol detectando un halo claro alrededor de las colonias [15]. Las cepas más productoras se seleccionaron usando la relación entre el diámetro del halo y el de la colonia correspondiente. La cepa de referencia usada fue *Bacillus pumilus* 29^T (Meyer y Gohheil 1901 AL), provista por la Colección Española de Cepas Tipo (CECT, Valencia).

2.2 *Taxonomía microbiana.*

Los microorganismos seleccionados, se clasificaron usando microscopía y tinción de Gram. Las bacterias Gram-positivas, catalasa positivas, aeróbicas o anaeróbicas facultativas, con forma de bastón y formadoras de endosporas fueron identificadas como cepas de *Bacillus*. También se aplicó la morfología específica y los ensayos bioquímicos propuestos por Sneath [16] para identificar diferentes características de las especies.

2.3 *Actividad enzimática del sobrenadante de cultivo*

La actividad pectinolítica fue ensayada por 2 métodos químicos. A) Ensayo en placa, usando rojo de rutenio al 0,03% (p/v) para tinción; B) Cuantificación de azúcares reductores liberados,

usando ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS) [17] y una solución de pectina (0,25% en buffer acetato de sodio, pH 5) como sustrato. La curva de calibración se preparó utilizando diferentes concentraciones de ácido galacturónico (Sigma Chem. Co.). La mezcla de reacción enzimática consistía en 0,45 ml de sustrato y 0,05 ml de solución de enzima, y fue incubada a 15°C (ó 30°C) por 30 min. La reacción se detuvo por adición de 0,5 ml de solución de DNS (2%). Se mantiene por 15 min en baño de agua hirviendo. Se enfría, se le agrega 1,5 ml de agua destilada y se lee su absorbancia a 530 nm [18]. Se define a la unidad de actividad pectinasa como la cantidad de enzima requerida para liberar 1 µmol de azúcar reductor por minuto en las condiciones del ensayo. Se aplicó el mismo tratamiento a enzimas comerciales: Pectinasa de *Aspergillus niger* (Biochemica, Fluka), Inozyme (Institut Oenologique de Champagne) y Endozym Éclair (AEB Group, Pascal Biotech ®).

2.4 *Contenido de proteínas*

Se cuantificó por el método de Bradford [19], usando albúmina sérica bovina como estándar.

2.5 *Aislamiento de enzima*

El objetivo fue encontrar un método de bajo costo, aplicable en la industria para obtener preparados enzimáticos con un grado de pureza mayor.
Se ensayaron dos técnicas simples: precipitación con sulfato de amonio y con acetona. Previamente, los preparados fueron filtrados con membranas de nitrato de celulosa de 0,22 µm (Microclar).
1) Precipitación con sulfato de amonio: se realizó por adición lenta de la sal a la solución enzimática a 4°C bajo constante agitación. Se analizó la precipitación fraccional de 0-40% y 0-80%. Los precipitados se recogieron por centrifugación a 3500xg por 15 min y se disolvieron en buffer acetato pH 5. Las actividades de los precipitados fueron chequeadas después de una diálisis frente a buffer acetato pH 5, por 24 h a 4°C [20].
2) Precipitación por acetona: la acetona, que fue preenfriada a cerca de –15°C, fue lentamente adicionada a las preparaciones crudas de enzima hasta que una relación 1:1 ó 2:1. Luego se agitó la mezcla durante 10 minutos. Los precipitados fueron recolectados por centrifugación a 3500xg por 10 min. Se disolvieron los precipitados en buffer acetato pH 5 [21].

2.6 *Efecto de la temperatura en la actividad pectinasa*

La temperatura óptima para la actividad pectinasa fue determinada en el ensayo estándar en buffer acetato pH 5 en un rango de temperaturas desde 4 a 50°C. En cada caso, el sustrato fue pre-incubado a la temperatura deseada por 5 min.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 *Aislamiento y selección*

La Figura 1 muestra halos de hidrólisis de sobrenadantes de diferentes cepas seleccionadas. Aquellas que presentaron halos más grandes (actividad pectinolítica) fueron escogidas para un mayor análisis. Posteriormente, dos bacterias y dos levaduras con actividad pectinolítica a 15°C fueron seleccionadas a partir de unas 400 cepas.

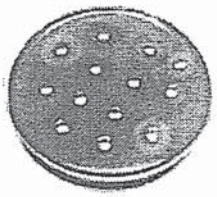


Figura 1. Halos de hidrólisis de actividad pectinasa en medio agar-pectina con diferentes sobrenadantes de cultivo de cepas aisladas. Tinción: Lugol.

A pesar de que se usó un medio de crecimiento de levaduras, ciertas bacterias también crecieron, especialmente *Bacillus*. Las cuatro cepas seleccionadas son buenas productoras de pectinasa activa a bajas temperaturas, particularmente *Bacillus* SC-H. Las cepas de levaduras fueron guardadas junto con starters para estudios más exhaustivos en su capacidad de producción enzimática durante el proceso de vinificación.

3.2 *Taxonomía de cepas*

Se compararon los resultados de los ensayos morfológicos y metabólicos empleados en la taxonomía clásica (Tabla 1) para las cepas estudiadas con diferentes especies de *Bacillus* [16]. Las dos bacterias seleccionadas presentaron una gran similitud con *Bacillus subtilis*, excepto el ensayo de Voges-Proskauer. *Bacillus subtilis* es una bacteria gram-positiva conocida como no patogénica y es un organismo GRAS, lo cual es una ventaja en la industria alimentaria.

Tabla 1. Comparación de la taxonomía de cepas. Las características de *Bacillus subtilis* (mayor similitud), han sido tomadas de la Sección 13 (Endospore-forming grampositive rods and cocci) del Manual Bergey's [18]. Las características que difieren están sombreadas.

Características	*Bacillus subtilis*	*Bacillus* SC – G	*Bacillus* SC – H
Esporas redondas	-	-	-
Esporangio hinchado	-	-	-
Cristales parasporales	-	-	-
Catalasa	+	+	+
Voges-Proskauer	+	-	-
pH in medio V-P			
< 6	d (11 - 89% de las cepas son +)	5	6,5
> 7	-	+	-
		-	-
Ácido de: D-Glucosa	+	+	+
L-Arabinosa	+	+	+
D-Xilosa	+	+	+
D-Manitol	+	+	+
Gas desde glucosa	-	-	-
Hidrólisis de: Caseína	+	+	+
Gelatina	+	+	+
Almidón	+	+	+
Formación de Dihidroxiacetona	ND (sin datos)	+	+
Crecimiento a pH:			
6,8, caldo nutritivo	+	+	+
5,7	+	+	+
Crecimiento en NaCl: 2%	+	+	+
5%	+	+	+
7%	+	+	+
Crecimiento a: 5°C	-	-	-
10°C	d	+	+
30°C	+	+	+
40°C	+	+	+
50°C	d	+	+
55°C	-	-	-
65°C	-	-	-

3.3 *Actividad* pectinolítica

El análisis de la actividad enzimática medida por DNS correspondiente a las cepas seleccionadas y las comerciales (Tabla 2), reveló buenos niveles, considerando que los sobrenadantes de cultivo no fueron pre-purificados.

Después de la selección primaria, que dio como resultado cuatro cepas, se realizó una segunda selección usando el criterio de la mayor actividad a 15°C, de acuerdo con el método de los azúcares reductores (DNS) (Tabla 2).

Tabla 2. Actividad pectinasa en el sobrenadante de cultivo de las cepas seleccionadas y de referencias usando el método del DNS. a) 0.25 g de enzima sólida en 1 ml de buffer acetato, pH = 5

N° en la placa (Fig. 3)		U/ml sobrenadante (DNS)		Proteínas (mg/ml)
		15°C	30°C	
I	*Bacillus pumilus CECT 29*^{T}	0,335	0,117	0,058
II	Yeast SC – D	0,098	0,161	0,069
III	Yeast SC – E	0,280	0,412	0,020
IV	*Bacillus* SC – G	0,147	0,054	0,040
V	*Bacillus* SC – H	0,328	0,328	0,768
VI	Pectinasa de *Aspergillus niger*[a] (FLUKA)®	2,923	10,057	1,849
VII	Inozyme[a]®	2,559	2,702	1,423
VIII	Endozym éclair [a]®	1,047	1,468	1,526

Puede observarse que a 30°C, los niveles de actividad más altos corresponden a la levadura SC-E, mientras que a 15°C correspondieron a *Bacillus* SC-H. Esta última temperatura es más interesante debido a la aplicación industrial de enzimas activas a bajas temperaturas. La Fig. 2 muestra los resultados de varios extractos y enzimas comerciales en una placa de poligalacturonato-agar después de su tinción con rojo de rutenio donde pueden observarse diferentes diámetros de halos.

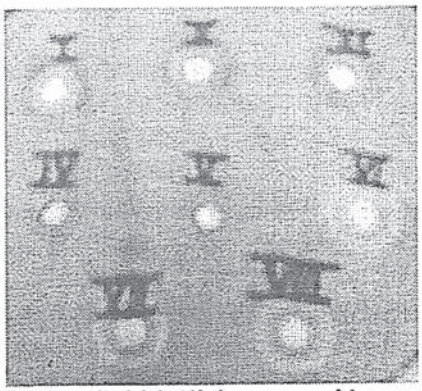


Figura 2. Halos de hidrólisis por acción pectinolítica en agar poligalacturonato con diferentes extractos y enzimas comerciales. Tinción: rojo de rutenio. Referencias en Tabla 2.

La determinación de la actividad poligalacturonasa (PG) a través de la cuantificación de azúcares reductores puede detectar la actividad tanto exo- como endo-. La actividad Exo-PG libera pequeños fragmentos del polímero y no reduce la viscosidad significativamente. La actividad Endo-PG está caracterizada por un descenso sustancial en la viscosidad (en general 50%), por la liberación de azúcares reductores (1-3%) [6]. Ésta última es más favorable para la enología por su descenso en la viscosidad más rápido por un mecanismo aleatorio en la hidrólisis de la molécula. La actividad Exo-PG presenta un mayor efecto en la extracción de pigmentos y polifenoles y en la clarificación del producto final.

3.4 *Aislamiento* de la enzima

No se produjeron alteraciones en los niveles enzimáticos durante la centrifugación o la filtración (Tabla 3, Fig. 3). Esto indica que la enzima es extracelular, lo que es una ventaja para la producción industrial.

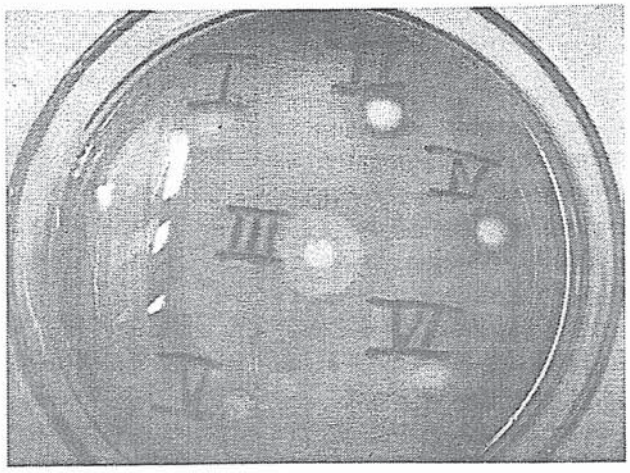


Figura 3. Hidrólisis por pectinasa en agar-pectina en diferentes etapas de aislamiento de enzima[1]

Para muchas aplicaciones industriales, los preparados enzimáticos parcialmente purificados son suficientes. Este es el caso de las enzimas empleadas en el procesado de alimentos y enología. Es por ello, que se ensayaron metodologías simples de pre-purificación y concentración: precipitación con $(NH_4)_2SO_4$ (salting-out) y acetona (solvente orgánico), ambos con dos concentraciones diferentes. De ambas técnicas, sólo la acetona 1:1 incrementó la actividad: de 8,7 U/ml a 9,72 (Tabla 3). A pesar de que el contenido de proteína total es el mayor, todavía es muy bajo (26,1%). Se necesitan más experimentos para definir un método más eficiente para recuperar y concentrar la actividad pectinolítica de interés.

El incremento en la concentración puede observarse también en las placas (Fig. 3). La actividad específica (Tabla 3) experimentó un incremento considerable, indicando una mejora en la pureza de la enzima. Sin embargo, de los análisis de otros parámetros listados en la Tabla 3, tales como la actividad total o las proteínas totales, podría concluirse que la recuperación de la enzima no es cuantitativa y son necesarios estudios futuros para obtener procedimientos más efectivos para usar en la producción industrial de la enzima.

El salting out con $(NH_4)_2SO_4$ en las dos concentraciones ensayadas (40 y 80%) fue bastante inefectivo, porque la recuperación de la enzima y la proteína fue muy baja, como puede verse en la actividad específica (Tabla 3, Fig. 3).

[1] I, preparado crudo; II, filtrado; III, acetona 2:1, IV, sulfato de amonio al 40%; V, sulfato de amonio al 80%; VI, acetona 1:1.

3.5 *Efecto de la temperatura en la actividad pectinolítica*

Como puede verse en la Figura 4, la actividad enzimática comienza a los 10°C y se incrementa hasta los 40°C, después de la cual disminuye. *Bacillus subtilis* SC-H (Tabla 1) fue capaz de crecer a 10°C. Además, también se observó crecimiento a temperaturas menores a 7°C (datos no mostrados). Es por ello que este microorganismo puede considerarse una especie mesofílica "psicrotolerante". Entre los microorganismos mesofílicos, aquellos capaces de crecer a o por debajo de 7°C se denominan psicrotolerantes (psicrotróficos) [14].

Tabla 3. Actividad pectinasa de sobrenadante de cultivo de *Bacillus* SC-H después de diferentes métodos de purificación: sulfato de amonio (0-40%), sulfato de amonio (0-80%), acetona 1:1 y acetona 2:1.

Procedimiento	Número en placa	Actividad (U/ml)	Proteínas Totales (mg)	Actividad Total (U)	Actividad específica (U/mg)	Rendimiento Enzimático (%)
Preparado Crudo	I	8,66	12,3	1905,23	154,7	100,0
Sulfato de amonio 0 - 40%	IV	0,99	2,0	83,41	41,1	4,4
Sulfato de amonio 0 - 80%	V	1,90	5,1	53,83	10,5	2,8
Acetona 1:1	VI	9,72	4,0	497,50	124,7	26,1
Acetona 2:1	III	6,57	17,3	122,33	7,1	6,4

El hecho de que el productor de una enzima fría sea una especie mesofílica en vez de un microorganismo psicrofílico, es una ventaja para la producción industrial ya que la incubación durante el proceso de producción sería a temperatura ambiente.

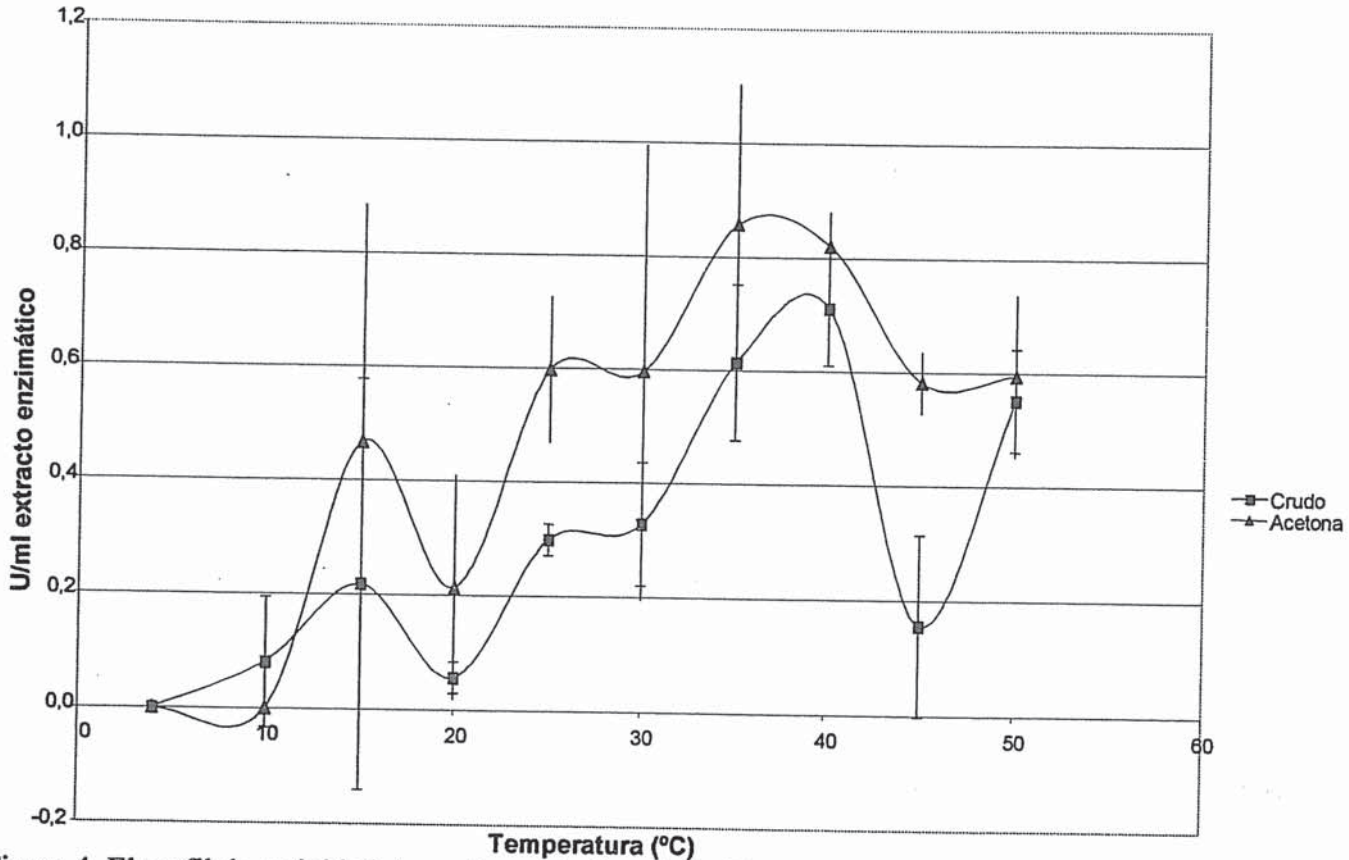


Figura 4. El perfil de actividad de pectinasa de *B. subtilis* SC-H en función de la temperatura de reacción del extracto crudo y acetona 1:1, pH = 5.

La depresión en la actividad a 20°C podría indicar que hay presentes diferentes actividades enzimáticas en la muestra, una con un óptimo a 15°C y otra a 35-40°C. La confluencia de ambas actividades genera un mínimo a 20°C. La amplitud de la actividad hacia temperaturas menores sería debido a diferentes actividades. Ésta sería la enzima fría buscada.

Además, la enzima concordaría con las características de las enzimas frías ya que es altamente sensible a la temperatura, decayendo abruptamente cerca de los 40°C. La inestabilidad térmica es una característica normalmente observada

en las enzimas frías [12]. La actividad de la enzima aislada con acetona 1:1 en función de la temperatura altamente fluctuante, probablemente por las alteraciones producidas en la estructura de la proteína.

CONCLUSIONES

Se seleccionaron dos cepas de *Bacillus* y dos de levaduras productoras de pectinasas activas a temperaturas de 15-20°C. De acuerdo a las pruebas morfológicas y metabólicas *Bacillus* SC-G y SC-H coinciden con las características de la especie *subtilis*. Se diseñó un medio de cultivo especial para el aislamiento de microorganismos productores de pectinasas. Analizando los valores de actividad enzimática obtenidos para las cepas seleccionadas y los preparados comerciales, se observa que cuentan con buenos niveles, considerando que se trata de sobrenadantes de cultivo no sometidos a pre-purificación. La precipitación con acetona en relación 1:1 fue el mejor método de los ensayados, para precipitar pectinasa a partir de *Bacillus SC – H*, comparado con las otras recuperaciones parciales. Se intentará, mediante estudios futuros, encontrar técnicas sencillas con mejores resultados en la recuperación de la enzima, para ser aplicados en su producción industrial. En este microorganismo se encuentran enzimas capaces de degradar pectinas a pH alcalinos, lo cual representa una ventaja y mayor versatilidad para su uso biotecnológico.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por el proyecto N°06/L036 UNCuyo, y PEI N°6137 CONICET. Los autores también desean agradecer a la CECT (Colección Española de Cepas Tipo, Valencia) por la provisión de las cepas de referencia.

REFERENCIAS

[1] S. Lafon-Lafourcade, Wine and brandy, en: Rehm HJ, Reed G. editors. Biotechnology, 5: Food and Feed Production with Microorganisms, Verlag Chemie, Weinheim-Deerfield Beach, 81-163, 1983.

[2] GH Fleet & GM Heard, Yeasts: growth during fermentation, En: GH Fleet Editor, Wine Microbiology and Biotechnology, Harwood Academic Publishers, Chur, Switzerland, 27-54, 1993.

[3] RE Killian & CS Ough, Fermentation esters-formation and retention as affected by fermentation temperature, American Journal of Enology and Viticulture, 30:301- 305, 1979.

[4] RE Kunkee, Selection and modification of yeasts and lactic acid bacteria for wine fermentation, Food Microbiology, 1:315-322, 1984.

[5] DR Kashyap, PK Vohra, S Chopra & R Tewari, Applications of pectinases in the commercial sector: a review, Bioresource Technology, 77:215-227, 2001.

[6] P Blanco, C Sieiro & TG Villa, Production of pectic enzymes in yeasts, FEMS Microbiological Letters, 175:1-9, 1999.

[7] B Watson, N Goldberg, HP Chen & M McDaniel, Fermentation processing effects on colour, phenolic profiles and sensory character of Oregon Pinot Noir wines, en: Proceedings of the Twelfth International Oenological Symposium, Montréal, 133-176, 1999.

[8] BW Zoecklein, JE Marcy, JM Williams & Y Jasinsky, Effect of native yeasts and selected strains of Saccharomyces cerevisiae on glycosyl, glucose potential, volatile terpenes and selected aglycones of white Riesling (*Vitis vinifera*) wines, Journal of Food Composition and Analysis, 10:55-65, 1997.

[9] R Margesin & F Schinner, Properties of cold-adapted microorganisms and their potential role in biotechnology, Journal of Biotechnology, 33(1):1-14, 2004.

[10] C Gerday, M Aittaleb, M Bentahir, JP Chessa, P Claverie, T Collins, S D'Amico, J Dumont, G Garsoux, D Georlette, A Hoyoux, T Lonhienne, MA Meuwis & G Feller, Cold-adapted enzymes: from fundamentals to biotechnology. Trends in Biotechnology, 18(3):103-107, 2000.

[11] T Nakagawa, K Yamada, T Miyaji & N Tomizuka, Cold-Active Pectinolytic Activity of Psycrophilic–Basidiomycetous Yeast *Cystofilobasidium capitatum* Strain PPY-1, Journal of Bioscience and Bioengineering, 94(2):175-177, 2002.

[12] G Feller & C Gerday, Psychrophilic enzymes: molecular basis of cold adaptation, Cellular and Molecular Life Sciences, 53:830-841, 1997.

[13] NJ Russell, Toward a molecular understanding of cold activity of enzymes from psychrophiles, Extremophiles, 4:83-903, 2000.

[14] RR Meer, J Baker, FW Bodyfelt & MW Griffiths, Psychrotrophic *Bacillus* ssp. in fluid

milk products: a review, Journal of Food Protection, 54:969-979, 1991.
[15] TM Fernandes-Salomão, ACR Amorim, VM Chaves-Alves, JLC Coelho, DO Silva & EF Araujo, Isolation of pectinase hyperproducing mutants of Penicillium expansum, Revista de Microbiologia, 27(1):15-18, 1996.
[16] PHA Sneath, Endospore-forming Gram Positive Rods and Cocci, en: William & Wilkins editors, Bergey's Manual of Systematic Bacteriology, Section 13, Vol. 2. USA, 1104-1207, 1986.
[17] GL Miller, Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar, Analytical Chemistry, 31:426-428, 1959.
[18] FS Kittur, AB Vishu Kumar & RN Tharanathan, Low molecular weight chitosans–preparation by depolymerization with *Aspergillus niger* pectinase, and characterization, Carbohydrate Research, 338(2):1283-1290, 2003.
[19] MM Bradford, A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye binding, Analytical Biochemistry, 72:248, 1977.
[20] SA Singh, M Ramakrishna & AG Appu Rao., Optimization of downstream processing parameters for the recovery of pectinase from the fermented bran of *Aspergillus carbonarius*, Process Biochemistry, 35:411-417, 1999.
[21] M Michail, M Vasiliadou & A Zotos, Partial purification and comparison of precipitation techniques of proteolytic enzymes trout (*Salmo gairdnerii*) heads, Food chemistry, 97:50-55, 2006.

ABSTRACT

"Psychrotolerant" microorganisms were isolated and selected according to production of pectinolytic enzymes with satisfactory activity at low temperatures. Different mature grape varieties were sampled from the enological D.O. (guarantee of origin and quality) region San Rafael (Mendoza, Argentina), isolating bacterial, fungal and yeast strains. Two bacteria and 2 yeast strains were selected for their good pectinase activity at low temperatures. The bacteria belonged to the *Bacillus* genus and according to their metabolic profile they were classified as *subtilis*. The strain with highest activity, *Bacillus* SC-H, was selected. From the assayed techniques, precipitation with acetone 1:1 was found to be the most appropriate technique to isolate the enzyme. The activity-temperature profile confirmed that it was a cold-enzyme presenting good activity at 10°C; optimum temperature was 40°C and activity diminished at higher temperatures due to denaturalization.

Key Words: pectinase – cold-enzyme – low temperature – Bacilli

Optimización de medio cultivo de bacterias desnitrificantes para control biogénico de H_2S

O.D. Gálvez, S.M. da Silva, J.N. Fuentes Berazategui
licdanielgalvez@yahoo.com.ar; smdasilva@fing.uncu.edu.ar; fuentesberazategui@fing.uncu.edu.ar
Laboratorio de Biotecnología, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo.

RESUMEN: se investigó la optimización de cultivos de bacterias desnitrificantes (BDN) para una futura aplicación en biocompetencia con bacterias sulfato reductoras (BSR). Las BDN fueron aisladas a partir de un efluente industrial y llevadas a procesos adaptativos para simular las condiciones de un reservorio de petróleo. Los parámetros evaluados fueron temperatura, salinidad y concentración de oxígeno encontradas en dichos reservorios. La cepa seleccionada y denominada E604 fue desarrollada en medios de cultivos BDN, conteniendo las sales $(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4\ H_2O$, $CuSO_4\ .5H_2O$, $NaNO_2$ y $NaCH_3COO$ elegidas para fines de optimización. Las bacterias fueran cultivadas en medio con 20 $g.L^{-1}$ de NaCl a 20 °C y 55~60 °C. El criterio de selección del cultivo E604 se basó en la reducción del tiempo del consumo de nitrato como indicio de la desnitrificación completa, el cual fue determinado cualitativamente por reacción de la difenilamina sulfúrica. Los datos obtenidos indicaron un descenso del pH en los medios donde hubo desnitrificación y esto ocurrió en 60 horas, 55~60 °C y en medios con distintas concentraciones de las sales de la optimización. La reducción del tiempo de desnitrificación por el proceso de optimización, hace posible la aplicación rentable de la biocompetencia de BDN con BSR en yacimientos de petróleo con Recuperación Secundaria.

Palabras clave: biocompetencia – desnitrificantes – sulfato reductoras – optimización – reservorio petróleo

1 INTRODUCIÓN

La presencia de sulfuro de hidrógeno en reservorios de petróleo fue reconocida antes de 1920 y asociada a la presencia de las bacterias sulfato reductoras (BSR). Posteriormente fue determinado que el sulfuro presente en los yacimientos de petróleo a temperaturas por debajo de los 100 °C fue el resultado de la actividad de las BSR [1]. El agua producida de los reservorios de petróleo frecuentemente contiene sulfuro soluble (H_2S, HS^- y S_2) como una consecuencia de las actividades de las BSR. La presencia de sulfuros en las aguas de producción crea serios problemas a la explotación petrolera debido a su toxicidad, olor, corrosividad y formación de sulfuros metálicos insolubles [2]. La acidificación aumenta con el contenido de sulfuro en el petróleo disminuyendo su valor económico, lo que genera una necesidad de controlar la producción del H_2S y su liberación en el medio ambiente. Uno de los abordajes más comunes para la mitigación de la acidificación, es contener la actividad de las BSR con la adición de biocidas tales como glutaraldeido, cloro, aminas y sales de amonio cuaternario, en las aguas de inyección. Sin embargo estos químicos pueden ser tóxicos, costosos e ineficaces [3]. Una metodología alternativa para la mitigación y control de sulfuros es la adición de nitrato al agua de producción. Los nitratos estimulan la actividad de bacterias autóctonas reductoras de nitrato y de

las bacterias desnitrificantes heterotróficas que pueden competir con las BSR por las fuentes de energía [4]. Algunos investigadores han concluido que el tratamiento con nitrato produce un efecto transitorio en la producción del sulfuro y que el control efectivo del mismo genera repetidos tratamientos que resultan muy costosos [5]. Una metodología aconsejable para remediar el sulfuro en los reservorios de petróleo es la introducción de microorganismos biocompetentes, con una fuente de nutrientes para efectuar un cambio positivo en el mecanismo de recuperación de un reservorio de petróleo [6]. Esa metodología es denominada MEOR (microbial enhanced oil recovery) y se beneficia de la capacidad de bacterias autóctonas que eventualmente se encuentran en el yacimiento, o microorganismos aislados e inyectados para metabolizar anaeróbicamente nutrientes adicionados y producir subproductos útiles como gases, biosurfactantes entre otros como beneficios adicionales para la recuperación de petróleo [5]. La manipulación selectiva de bacterias debe tener en cuenta las condiciones ambientales del reservorio, temperaturas entre 5-40 °C, pH entre 5,5-8,5, condiciones anóxicas y salinidad superior a 70 $g.L^{-1}$ [4]. En este trabajo se estudia la adición de sales como nutrientes de un medio de cultivo básico diseñado para bacterias desnitrificantes (BDN), con la finalidad de determinar las concentraciones óptimas para la optimización de ese medio y simulando las condiciones ambientales de un reservorio. Su objetivo es obtener un proceso de desnitrificación efectivo que involucre una mayor actividad metabólica bacteriana biocompetente de las BSR, en el menor tiempo posible.

2 MATERIALES Y METODOS

2.1 *Microorganismos*

Las bacterias desnitrificantes fueron aisladas de un efluente industrial y sometidas a distintas etapas de adaptación a los medios de cultivo oportunamente diseñados a temperaturas, pH, salinidad y condiciones anóxicas frecuentemente encontradas en los reservorios de petróleo. De los numerosos consorcios bacterianos ensayados se seleccionó el denominado E604.

2.2 *Medios de cultivo BDN*

Se diseñó y ajustó medio de cultivo para bacterias desnitrificantes (BDN), cuya composición es una solución de nitrato de potasio 0,2%; carbonato de calcio 0,5%; glucosa 1%; sodio cloruro 2%, solución de micronutrientes y pH 7,3–7,5.

2.3 *Sales para la optimización*

Para la optimización fueron utilizados las siguientes sales: $(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4\ H_2O$, $CuSO_4.5\ H_2O$ y $NaNO_2$ en concentraciones de 0,25; 0,50 y 1,00 $mg.L^{-1}$, y $NaCH_3COO$ en concentraciones de 0,26; 0,52 y 1,03 $mg.L^{-1}$.

2.4 *Cultivo de las BDN*

Los ensayos se hicieron en Erlenmeyers con 100 ml de cultivo para BDN inoculados con 1 ml de E604. A estos frascos se agregaron las sales en estudio para obtener la concentración final a que se hace referencia en el ítem 2.3. Los ensayos fueron realizados por triplicado y llevados a una estufa de cultivo a temperaturas comprendidas entre 55~60 °C. Las muestras fueron analizadas diariamente hasta la obtención de ausencia de nitratos.

2.5 *Solución de difenilamina*

La solución de difenilamina se prepara disolviendo 1g de ese reactivo en 100 ml de H_2SO_4 y 20 mL de agua destilada.

2.6 *Procedimientos analíticos*

El nitrato fue determinado cualitativamente por la reacción de 2 mL del medio de cultivo con 0,2 mL de solución de difenilamina. La ausencia de color en la reacción (reacción negativa), indica que el nitrato fue consumido por las bacterias. La aparición de una coloración azul (reacción positiva) indica presencia de nitrato. Cuando de una reacción negativa se midió el pH con un pHmetro-MD Instrumentalia S.R.L.

2.7 *Análisis Estadístico*

Los datos fueron comparados por el análisis de la varianza utilizando el post-test de Tukey para un $p<5\%$, con el programa Prism GraphPad 3.01.

3 RESULTADOS

3.1 *Adición de sales al medio de cultivo BDN*

La Tabla 1 muestra el tiempo consumido por las bacterias desnitrificantes para llevar a cabo el abatimiento total de nitrato en presencia de las sales $(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$, $CuSO_4.5H_2O$, $NaNO_2$ y $NaCH_3COO$ agregadas al medio de cultivo BDN en distintas concentraciones. Los estudios iniciales se efectuaron a temperatura de 20 °C, con un pH inicial del medio de cultivo de 7,4.
Los resultados obtenidos muestran que al cabo de 96 horas la mayoría de los ensayos, incluyendo el denominado blanco al que no se hizo adición de las sales ensayadas, presentan reacción negativa con la solución de difenilamina, lo cual indica que se concluyó el proceso de desnitrificación. Al cabo de 120 horas todos los ensayos completaron el proceso de desnitrificación.

Tabla 1. Ensayos de optimización a 20 °C.

Ensayos	Sales	Concentración ($mg.L^{-1}$)	Tiempo Desnitrificación (hs)				
			24	48	72	96	120
1*	-	-	+	+	+	-	-
2	$(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$	0,25	+	+	+	+	-
3		0,50	+	+	+	-	-
4		1,00	+	+	+	-	-
5	$CuSO_4.5H_2O$	0,25	+	+	+	-	-
6		0,50	+	+	+	-	-
7		1,00	+	+	+	-	-
8	$NaNO_2$	0,25	+	+	+	-	-
9		0,50	+	+	+	-	-
10		1,00	+	+	+	-	-
11	$NaCH_3COO$	0,26	+	+	+	-	-
12		0,52	+	+	+	-	-
13		1,03	+	+	+	-	-

*Medio de cultivo BDN (blanco) sin agregado de sales.

Las Fig. 1, 2 y 3 representan el cambio del pH en el medio de cultivo desde el tiempo inicial (Ti) hasta 96 horas, cuando se alcanzó el proceso de desnitrificación total, a una temperatura de 20 °C. Todas las sales representadas fueron agregadas al medio BDN, en concentraciones de 0,25 $mg.L^{-1}$, 0,50 $mg.L^{-1}$ y 1,00 $mg.L^{-1}$ respectivamente. En todas las figuras se observa un descenso de pH al término del proceso de la desnitrificación, para un pH inicial de 7,4 y final en un rango 6,4–6,8.

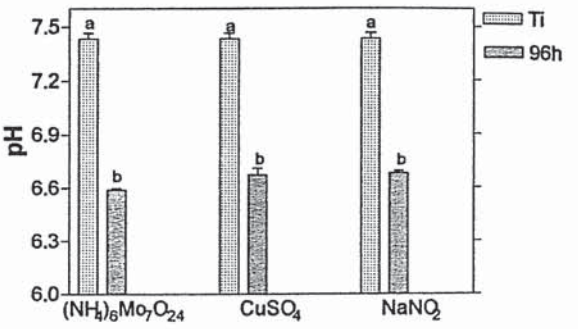


Figura 1. Variación del pH en medios BDN con la concentración de 0,25 $mg.L^{-1}$ para las distintas sales.

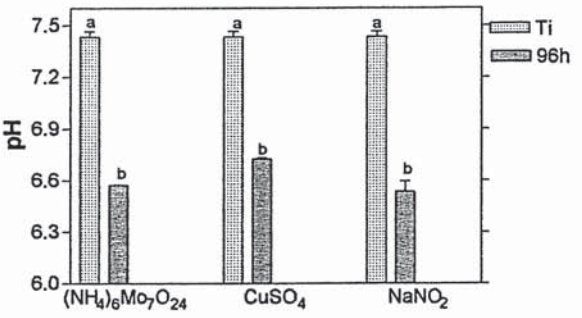


Figura 2. Variación del pH en medios BDN con la concentración de 0,50 $mg.L^{-1}$ para las distintas sales.

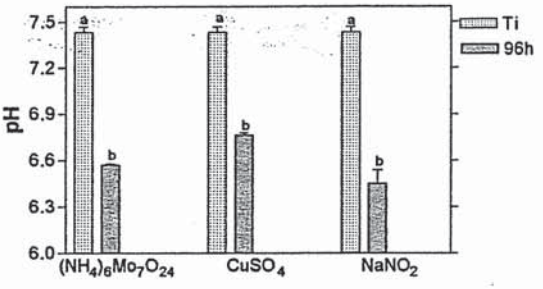


Figura 3. Variación del pH en medios BDN con la concentración de 1,00 $mg.L^{-1}$ para las distintas sales.

La Fig. 4 representa el cambio del pH en el medio de cultivo en el tiempo inicial (Ti) y hasta llegar a la desnitrificación total a 20 °C a las 96 horas, con la adición de la sal $NaCH_3COO$ en las concentraciones de 0,26; 0,52 y 1,03 $mg.L^{-1}$.

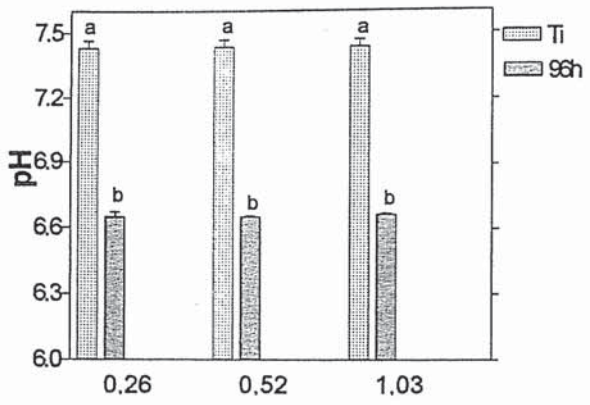


Figura 4. Variación del pH en medios BDN en las distintas concentraciones ($mg.L^{-1}$) de $NaCH_3COO$.

Tabla 2. Ensayos de optimización a 55 °C.

Ensayos	Sales	Concentración ($mg.L^{-1}$)	Tiempo Desnitrificación (hs)				
			24	48	60	72	96
1*	-	-	+	+	+	+	+
2	$(NH_4)_6Mo_7O_{24}$.$4H_2O$	0,25	+	+	-	-	-
3		0,50	+	+	+	+	-
4		1,00	+	+	-	-	-
5	$CuSO_4.5H_2O$	0,25	+	+	-	-	-
6		0,50	+	+	+	+	+
7		1,00	+	+	+	+	+
8	$NaNO_2$	0,25	+	+	-	-	-
9		0,50	+	+	-	-	-
10		1,00	+	+	-	-	-
11	$NaCH_3COO$	0,26	+	+	-	-	-
12		0,52	+	+	+	+	-
13		1,03	+	-	-	-	-

*Medio de cultivo BDN (blanco) sin agregado de sales.

La Tabla 2 muestra el tiempo empleado por las bacterias para completar la desnitrificación, en presencia de las sales $(NH_4)_6Mo_7O_{24}$.$4H_2O$, $CuSO_4.5H_2O$, $NaNO_2$ y $NaCH_3COO$ agregadas al medio de cultivo BDN a distintas concentraciones y a temperatura de 55~60 °C, con pH inicial del medio de cultivo de 7,4.
Los resultados obtenidos a 55~60 °C, muestran que al cabo de 60 horas la mayoría de los ensayos presentan reacción negativa con la solución de difenilamina, lo cual indica haber alcanzado la desnitrificación total.
A las 96 horas todos los ensayos completaron el proceso de desnitrificación, excepto el blanco y aquellos en que la concentración de $CuSO_4.5H_2O$ fue de 0,50 y 1,00 $mg.L^{-1}$.

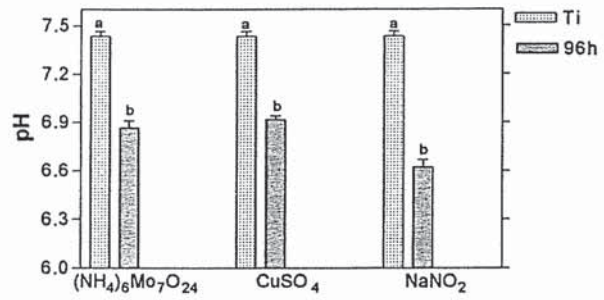


Figura 5. Variación del pH en medios BDN con la concentración de 0,25 $mg.L^{-1}$ para las distintas sales.

Las Fig. 5, 6 y 7 muestran el cambio del pH en el medio de cultivo tiempo inicial (Ti) y después de 96 horas con desnitrificación total a una temperatura de 55~60 °C. Todas las sales se adicionaron al medio BDN, a concentraciones de 0,25 $mg.L^{-1}$, 0,50 $mg.L^{-1}$ y 1,00 $mg.L^{-1}$ respectivamente. En todas las figuras se observa un descenso de pH al término del proceso de la desnitrificación, considerando un pH inicial de 7,4 y final, con valores en un rango entre 6,4 – 7,0.

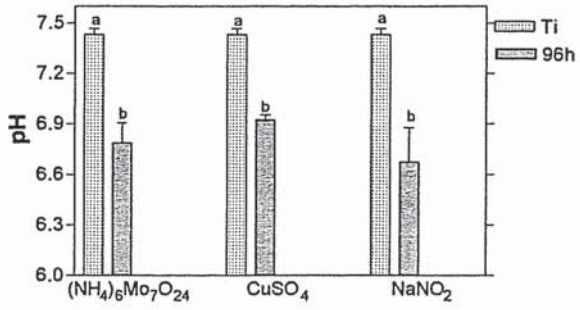


Figura 6. Variación del pH en medios BDN con la concentración de 0,50 $mg.L^{-1}$ para las distintas sales.

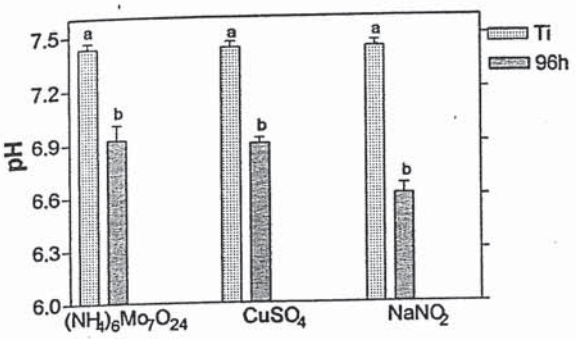


Figura 7. Variación del pH en medios BDN con la concentración de 1,00 $mg.L^{-1}$ para las distintas sales.

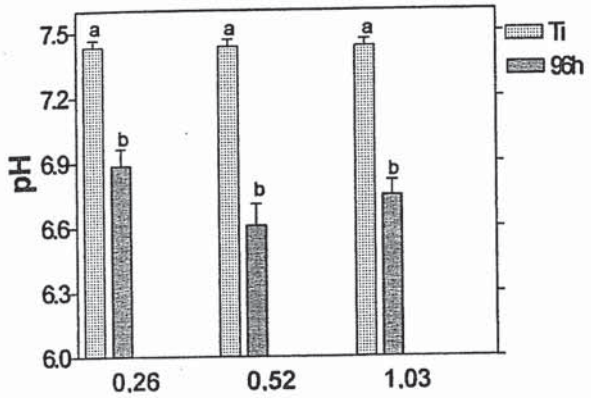


Figura 8. Variación del pH en medios BDN en las distintas concentraciones ($mg.L^{-1}$) de $NaCH_3COO$.

La Fig. 8 representa el pH en el medio de cultivo desde el tiempo inicial (Ti) hasta 96 horas cuando se alcanzó la desnitrificación total, a una temperatura de 55~60 °C para la sal $NaCH_3COO$. Para las concentraciones de 0,26 $mg.L^{-1}$ y 1,03 $mg.L^{-1}$ la desnitrificación se alcanzó a las 60 horas y para la concentración de 0,52 $mg.L^{-1}$ a las 96 horas.

4 DISCUSIÓN

La comparación de los datos obtenidos en la Tablas 1 y 2 muestra la evolución de la desnitrificación en los ensayos realizados a diferentes temperaturas (20 °C y 55 °C). En estudios previos [2, 3 y 4] los ensayos fueron realizados en temperaturas entre 5 °C y 40 °C, no obstante, en esta investigación se observó que la desnitrificación fue mas rápida a los 55~60 °C, cuando se obtuvieron los primeros resultados negativos para la reacción de la difenilamina al cabo de 60 horas. Para la temperatura de 20 °C, los primeros resultados indicativos del término de la desnitrificación fueron obtenidos a las 96 horas. La cultivo E604 inoculado con el medio básico para BDN alcanzó la desnitrificación al cabo de 7 días con una temperatura de 55~60 °C. Con el avance del estudio, se adicionaron sales para la optimización del medio BDN, con la finalidad de reducir el tiempo de desnitrificación del cultivo E604. Las sales de nitrito y molibdato son conocidas por tener efecto inhibitorio en el metabolismo de las BSR con la consecuente reducción en la producción biogénica del sulfuro de hidrógeno [3]. Además el molibdato desempeña un rol importante en la biología celular y molecular básica de la desnitrificación por ser un cofactor enzimático, mientras el nitrito es empleado en los procesos energéticos involucrados en el metabolismo del nitrato [7]. Los ácidos grasos volátiles como el acetato, propionato y butirato tienen un desempeño clave en la microbiología de un reservorio de petróleo por ser las BDN competidores más voraces por los ácidos grasos volátiles en un mismo ambiente que las BSR [6]. La sal de acetato (donante de electrones como el hidrógeno) junto con el nitrato produce un efecto inhibitorio en la producción biogénica de sulfuro de hidrógeno [5]. La sal de cobre es un micronutriente indispensable para la estructuración de enzimas que tienen un rol en el proceso de respiración que involucra la reducción del óxido nitroso [7]. Como base de esta investigación se adoptaron los datos obtenidos en investigaciones anteriores [4, 8], en las cuales se emplearon en agua de producción las sales nitrito (2,6–92 $mg.L^{-1}$) y molibdato (1,0–200 mg. L^{-1}), para el control biogénico de las BSR. Estas concentraciones se utilizaron para el cultivo E604 y no fueron efectivas para reducir el tiempo de desnitrificación (7 días) con lo que se emplearon concentraciones menores. En la presente investigación, se utilizaron las siguientes sales: $(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$, $CuSO_4.5H_2O$, $NaNO_2$ y $NaCH_3COO$. La presencia de estas sales agregadas al medio de cultivo BDN en distintas concentraciones, promovió un desarrollo del proceso de desnitrificación en un tiempo mínimo de 96 horas (20 °C) y a 60 horas (55~60 °C). Del ensayo realizado a 55~60 °C, se observó que las sales molibdato (0,25–1,00 $mg.L^{-1}$), cobre (0,25 $mg.L^{-1}$), nitrito (0,25–0,50–1,00 $mg.L^{-1}$) y acetato (0,26–1,03 $mg.L^{-1}$) en estas concentraciones fueron efectivas para la reducción del tiempo de

desnitrificación para 60 horas. Los dados obtenidos para el cobre indican que las concentraciones superiores a 0,25 $mg.L^{-1}$ pueden tener un efecto citotóxico en la medida en que después de 96 horas (20–55 °C) no se registró una completa desnitrificación, en los frascos en los cuales estuvo presente el cobre.

En las Fig. 1–8, todos los ensayos que alcanzaron una completa desnitrificación presentaron una similitud en el descenso del pH, cuando fueron comparados a un pH inicial de 7,4. Los ensayos con reacción positiva de difenilamina, indicativo de una desnitrificación incompleta, presentaron valores de pH superiores a 7,0 (datos no representados), los cuales alcanzaron un pH 6,4–6,9, en un tiempo superior a 96 horas, cuando se concluyó la desnitrificación.

5 CONCLUSIONES

El cultivo de bacterias desnitrificantes obtenido y denominado E604, demostró capacidad de desarrollarse en condiciones ambientales comúnmente encontradas en los reservorios de petróleo, como: condiciones anóxicas, temperaturas y salinidad elevadas, entre otros parámetros. Los estudios hasta ahora desarrollados indicaron que las bacterias aisladas presentan condiciones de crecer en salinidades superiores a 60 $g.L^{-1}$ NaCl. La reducción del tiempo de desnitrificación por la presencia de las sales utilizadas en la optimización pueden aún ser mas eficiente, lo que indica la viabilidad de aplicación de tales bacterias en situación de biocompetencia con las bacterias sulfato reductoras, conocidas por generar acidulación biogénica de reservorios, corrosión bacteriológica, ensuciamiento de aguas de inyección por deposición de sulfuro ferroso, entre otros factores.

La conjugación de las tres principales variables: temperatura; salinidad y temperatura, indican la viabilidad de la transferencia de los resultados obtenidos a escala de laboratorio para escala de campo, por la capacidad del cultivo E604 efectuar la desnitrificación a un tiempo inferior a 60 horas. Con el ajuste del cultivo a las tres variables mencionadas se presenta una vía económica para incrementar la eficiencia en la recuperación de petróleo.

REFERENCIAS

[1] G.E. Jenneman & D. Gevertz, Identification, characterization and application of sulfide-oxidizing bacteria in oil fields, Microbial Biosystems: New Frontiers, Proceedings of the 8th Internacional Symposium on Microbial Ecology, Canada, 1999.

[2] G.E. Jenneman, P.D. Moffitt, G.A. Bala & R.H. Webb, Sulfide removal in reservoir brine by indigenous bacteria, SPE Prod. & Facilities 14 (3), 1999.

[3] M. Nemati, T.J. Mazutinec, G.E. Jenneman & G.Voordouw, Control of biogenic H_2S production with nitrite and molibdate, Journal of Industrial Microbiology & Biotecnology, 26, 350-355, 2001.

[4] D. Gevertz , A. J. Telang, G. Voordouw & G.E. Jenneman, Isolation and characterization of strains CVO and FWKO B, two novel nitrate-reducing, sulfide-oxidizing bacteria isolated from oil fiel brine, Applied and Environmental Microbiology, 66, 6, 2000.

[5] G.E. Jenneman, M. J. McInerney & R.M. Knapp, Effect of nitrate on biogenic sulfide production, Applied and Environmental Microbiology, 51, 6, 1986.

[6] L. A. Giangiacomo & D. M. Dennis, Field testing of the biocompetitive exclusion process for control of iron and hidrogen sulfides, SPE 38351, 1997.

[7] W.G. Zumft, Cell biology and molecular basis of denitrification, Microbiology and Molecular Biology Rewiew, 61, 4, 1997.

[8] M.A. Reinsel. Control of microbial souring by nitrate, nitrite or glutaraldehyde injection in a sandstone column, Journal of Industrial Microbiology , 17, 1996.

ABSTRACT

Optimization cultive to denitrifies (DNB) was investigated for future application in biocompetitive process with sulfate-reducing bacteria (SRB). The DNB were isolated from industrial waste and led to adaptative process to simulate the oil reservoir environmental conditions. Parameters evaluated were temperature, salinity and oxygen concentration found in these oil reservoirs. Later the selected cultive (E604) was developed in cultive medium

DBN, containing salts: $(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$, $CuSO_4.5H_2O$, $NaNO_2$ y $NaCH_3COO$ to aim the optimization medium Bacterias were grown in 20 $g.l^{-1}$ of sodium chloride at 20°C and 55~60°C. The approach to select the cultive E604 was based on the time reduction for consuming nitrate present in the cultive medium, which was signed of a complete denitrification, determined by a qualitative method for reaction of diphenilamine sulfuric. Results showed mediuns with pH decrease when happened denitrification which ocurred after 60 hours, 55~60°C, in mediuns with the selected salts to optimization in differents concentrations. The reducing of denitrification time to optimization process get posible an effective biocompetitive between DBN and SRB in petroleum reservoirs subjected to Secondary Recovery.

Key Words: biocompetitive–denitrifiers–sulfate-reducing–optimization–oil reservoir.

Análisis de modos de falla y criticidad de efectos en los sistemas de contención de lixiviados

S. Llamas
sllamas@uncu.edu.ar
Instituto de Medio Ambiente, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo

RESUMEN: los sistemas conformados por una combinación de materiales naturales y sintéticos para la contención de lixiviados en la base de los vertederos utilizados para la disposición final de residuos, contribuyen a que aparezcan nuevos estados de falla. Objetivo: elaborar un modelo para identificar y controlar los riesgos relacionados con cada modo de falla, para las etapas de diseño, construcción y operación. Método: para obtener el número de prioridad del riesgo se utilizó el Análisis de Modos de Falla y Criticidad de Efectos sobre los atributos de cada componente del sistema de contención, para un horizonte temporal de 50 años. Resultados: La aplicación del modelo permitió disminuir de 149 a 82 la cantidad total de modos de falla. Los porcentajes de disminución del número de prioridad del riesgo para los componentes del sistema de contención de lixiviados se ubicaron entre 35% y 57%. La mayor frecuencia de modos de falla correspondió a los materiales sintéticos. Se propuso un plan de contingencias cuyas acciones fueron agrupadas en tres niveles de intervención. Conclusiones: la persistencia de riesgos residuales, hace evidente la necesidad de implementar planes de contingencia dinámicos y de mantener activos los sistemas de control más allá del horizonte de 50 años.

Palabras clave: riesgo - fallas - riesgos críticos - contingencia - barreras de contención

1 INTRODUCCIÓN

1.1 *El vertedero como sistema compuesto*

Un vertedero es una instalación para la disposición final de residuos, que está constituido por diferentes sistemas. Cada uno de estos sistemas, a su vez, está conformado por diversos elementos que desempeñan funciones específicas y contribuyen al correcto funcionamiento del conjunto Ref. [1], Ref. [2], Ref. [3], Ref. [4].

El uso generalizado de barreras inferiores de protección compuestas por materiales naturales y sintéticos, la implementación de sistemas para la captación, conducción y extracción de gases y lixiviados y la incorporación de instalaciones para su tratamiento, han transformado a los vertederos en complejos sistemas tecnológicos Ref. [5], Ref. [6], Ref. [7].

La elaboración de un modelo para el control de los riesgos relacionados con la pérdida de la capacidad de contención de lixiviados de la barrera inferior, orientado hacia la identificación de los posibles modos de falla, mediante el análisis de sus diversos componentes y la estimación de la severidad de las consecuencias, permite establecer prioridades de intervención, basadas en la jerarquización de los riesgos Ref. [5].

La realización de estas tareas en las fases iniciales de planificación, contribuye a garantizar que los riesgos son identificados, evaluados y limitados en sus

alcances técnico, social, ambiental, económico, jurídico y temporal Ref. [8].

1.2 *Sistema de contención de lixiviados*

Es la barrera más profunda de un vertedero, su función es la de contener los lixiviados por el tiempo que estos representen una amenaza para la salud de la población y sobre la capacidad de asimilación del ambiente Ref. [9].
El sistema de contención de lixiviados puede estar constituido por materiales naturales conformando una barrera simple, o por una combinación de elementos naturales y sintéticos configurando una barrera compuesta Ref. [10].
En la Figura 1, se presenta un esquema genérico del sistema de contención inferior de lixiviados conformado por una barrera compuesta por el sustrato inferior, un manto de arcilla compactada, una membrana flexible de Polietileno de Alta Densidad (PEAD) y un capa de protección.



Figura 1. Esquema de barrera inferior compuesta

Los criterios básicos adoptados para identificar y clasificar los mecanismos que pueden ocasionar fallas en el sistema de contención de lixiviados se organizaron a partir de la identificación funcional de los atributos de sus componentes.

1.2.1 Sustrato inferior

Debe soportar sin deformarse la carga impuesta por las capas superiores de la barrera, la correspondiente al sistema de captación-conducción de lixiviados, la masa de residuos, el peso de la maquinaria e instalaciones y el de la cubierta superior. Esa capacidad resistente está dada por las propiedades mecánicas del sustrato, la tectónica local y la geomorfología, entre otras.

1.2.2 Manto de arcilla

Debe garantizar una reducida permeabilidad al paso de los lixiviados, estabilidad frente a posibles desplazamientos y su degradabilidad debe contribuir a la atenuación de los contaminantes presentes. Esto se logra con espesores del orden de 1,00 m dispuestos en capas sucesivas de 0,25 m.

1.2.3 Geomembrana

Debe ofrecer una elevada impermeabilidad al paso de líquidos y gases, resistencia a los esfuerzos mecánicos y a las altas tensiones, integridad y compatibilidad química con los constituyentes que debe contener. Estas características pueden resultar afectadas por la exposición a la intemperie, la colocación y la unión entre paños, entre otros factores.

1.2.4 Cubierta protectora

Debe brindar protección física a la geomembrana y asegurar la estabilidad del conjunto. Requiere un espesor mínimo del orden de 0,30 m y una distribución uniforme.

2 ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA Y CRITICIDAD DE EFECTOS

2.1 *Escenarios relevantes para el análisis*

Están dados por las particularidades de la localización del vertedero (material del sustrato inferior, espesor, granulometría, uniformidad de distribución, condiciones meteorológicas) y los métodos de construcción y operación adoptados, entre otros Ref. [11], Ref. [12], Ref. [13]. En todos los casos, la revisión bibliográfica y la consulta a expertos es fundamental para garantizar la confiabilidad de los valores adoptados.

2.2 *Identificación de los modos de falla*

Con base en las propiedades de los materiales que conforman el sistema de contención de lixiviados, las actividades humanas y los eventos externos, se elaboró un listado de las fallas o defectos que podrían conducir la pérdida de la función propia de cada componente del sistema. Se realizó una exhaustiva revisión de planos, esquemas, atributos y especificaciones de materiales, manuales de

procedimientos, normas, tablas y antecedentes bibliográficos.

2.3 *Análisis de las causas*

Para cada modo de falla identificado, se indagó sobre la totalidad de las causas que pueden contribuir a su ocurrencia. Este análisis se reiteró sobre todos los componentes del sistema de contención, para las tres etapas consideradas Ref. [14], Ref. [15], Ref. [16], Ref. [17], Ref. [18], Ref. [19].

2.4 *Análisis de las consecuencias*

Al igual que en el caso anterior, se realizó un análisis de las consecuencias que podría provocar cada modo de falla y los efectos sobre los potenciales receptores.

2.5 *Estimación de la magnitud del riesgo*

La magnitud de los riesgos identificados se determinó por medio del número de prioridad del riesgo (NPR) que se obtuvo a partir de la realización del producto de tres variables: Probabilidad de ocurrencia de la falla (Po), Severidad de las consecuencias (S) y Probabilidad de no detectar la falla (Pd).

$$NPR = Po \times S \times Pd \qquad (1)$$

La metodología empleada para su determinación comprendió las siguientes etapas: se adoptó un horizonte temporal de 50 años posteriores al cierre del vertedero, se definieron las escalas empleadas para la determinación de Po, S y Pd, basadas en categorías cualitativas. Se identificó y valoró el riesgo de falla para cada componente del sistema de contención de lixiviados en las etapas de diseño, construcción y operación para el esquema de barrera compuesta considerado.

2.5.1 Probabilidad de ocurrencia

La escala elaborada para la estimación de Po quedó integrada por 5 niveles, organizados según las siguientes categorías:
Muy alta: Valor asignado (5). Ocurre reiteradas veces a lo largo del ciclo de vida del sistema. Una vez cada cuatro años.
Alta: valor asignado (4). Ocurre varias veces a los largo del ciclo de vida del sistema. Una vez cada diez años.
Media: Valor asignado (3). Ocurre algunas veces a lo largo del ciclo de vida del sistema. Una vez cada veinticinco años.
Baja: Valor asignado (2). No es probable que ocurra, pero es posible. Una vez cada cincuenta años.

Muy baja: Valor asignado (1). Se puede asumir la ocurrencia. No hay registros de experiencias.

2.5.2 Severidad de las consecuencias

Al igual que en el caso anterior, su escala quedó configurada por 5 niveles. Se adoptó, por convención, la premisa de asignar siempre la mayor severidad creíble para el riesgo correspondiente.
Severa: Valor asignado (5). Imposibilidad permanente de contención y pérdida total de la función de contención del componente de la barrera inferior considerado. Pérdida masiva de recursos naturales. Pérdida de vidas humanas. Toxicidad aguda. Enfermedades incurables. Pérdidas materiales de gran magnitud. Indemnizaciones. Pérdida de imagen. Pérdida de confianza en la organización.
Mayor: Valor asignado (4). Imposibilidad temporal de contención. Degradación progresiva de recursos naturales. Lesiones graves. Enfermedades crónicas. Importantes pérdidas materiales. Penalidades. Sanciones. Inhabilitaciones.
Seria: valor asignado (3). Interrupción temporal en el cumplimiento de la función de contención. Degradación localizada. Manifestaciones aisladas discontinuas. Daños puntualmente localizados. Enfermedades crónicas. Costos de reparación y remediación.
Menor: valor asignado (2). Sin interrupción funcional. Medidas de reparación con recursos propios existentes en el lugar. Gastos de reparación y reemplazo.
Mínima: valor asignado (1). Sin manifestaciones evidentes sobre el sistema biótico-abiótico y sobre la salud de las personas. Medidas de control rutinarias. Gastos de mantenimiento y reemplazo.

2.5.3 Probabilidad de no detección

Se tuvo en cuenta la probabilidad de no detectar el problema antes de que se produzca la falla. Para mantener la homogeneidad, también en este caso, la escala quedó conformada por 5 niveles.

Muy Alta: Valor asignado (3). Necesidad de procedimientos de monitoreo y control extraordinarios.
Alta: Valor asignado (2,5). Difícilmente detectable. Necesidad de procedimientos especiales de control.
Media: Valor asignado (2). Ocasionalmente detectable. Necesidad reentrenamiento específico para la detección.
Baja: Valor asignado (1,5). Fácilmente detectable con la implementación de programas de control.
Muy Baja: Valor asignado (1). Inmediatamente detectable con la implementación de inspecciones rutinarias.
A continuación se elaboró la matriz de valoración de riesgos, cuyas celdas representan el NPR obtenido por la realización del producto de las tres variables.
El rango de valores posibles para el NPR, quedó comprendido entre 1 y 75, lo que permitió definir 3 zonas en el interior de la matriz, como se indica en la Fig. 2. Zona 1: de operación permitida, que corresponde a valores aceptables para el NPR. Zona 2: que requiere la aplicación de medidas inmediatas para disminuir el valor del NPR. Zona 3: de operación inadmisible, donde la disminución del NPR es imperativa.

SEVERIDAD DE LAS CONSECUENCIAS	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE LA FALLA				
	MUY BAJA 1	BAJA 2	MEDIA 3	ALTA 4	MUY ALTA 5
SEVERA 5	5	15			
MAYOR 4	4	12			
SERIA 3	3	9	18 (2)		
MENOR 2	2 (3)	6	12	20	
MÍNIMA 1	1	3	6	10	15
	1 MUY BAJA	1,5 BAJA	2 MEDIA	2,5 ALTA	3 MUY ALTA
	PROBABILIDAD DE NO DETECTAR LA FALLA				

CÓDIGO RIESGO ACCIÓN: (1) Imperativo reducir nivel de riesgo; (2) Aplicar medidas inmediatas; (3) Operación permitida

Figura 2. Matriz de valoración de riesgos

Al concluir el análisis se obtuvo un total de 12 tablas, que corresponden a los 4 componentes del sistema de contención de lixiviados (sustrato inferior, manto de arcilla, geomembrana y capa de protección) para las 3 etapas de análisis (diseño, construcción y operación). Para cada modo de falla identificado y evaluado se calculó el valor del número de prioridad del riesgo, que se identificó con el subíndice i (NPRi), utilizado para representar los valores correspondientes a las condiciones iniciales.

Cuando los valores obtenidos para el NPRi se ubicaron en las zonas 1 y 2 de la matriz de valoración de riesgos, fue necesario proponer medidas de intervención para disminuir su magnitud. Las posibilidades de intervención para disminuir el NPR se orientaron hacia la reducción de la Po, a partir de la revisión de las propiedades de los componentes del sistema. La disminución de la S, se determinó a partir del refuerzo de las propiedades, atributos y características de cada componente. La minimización de la Pd, se abordó por medio de una mayor rigurosidad de los controles en las 3 etapas. Este método permite la intervención sobre combinaciones de estas variables.
Se reiteró la secuencia de cálculos y se obtuvo el nuevo valor identificado con el subíndice r (NPRr), utilizado para indicar la magnitud del riesgo resultante, obtenido después de implementar las medidas propuestas para lograr su disminución.

2.6 *Jerarquización de los riesgos*

Una vez implementadas las correcciones, algunos NPRr permanecieron ubicados en las zonas 1 y 2 de la matriz que, como ya se ha manifestado, requieren la aplicación de acciones de intervención. En tales circunstancias se optó por designarlos como riesgos residuales, por considerar que los mismos persisten aún después de implementadas las acciones de corrección. Para la jerarquización de los riesgos se tuvo en cuenta el valor de sus magnitudes y la zona ocupada en la matriz de valoración de riesgos, de esta manera se determinó la conveniencia de clasificar las contingencias en niveles de intervención. Para los riesgos residuales se decidió abordar la elaboración de un modelo para su control, que incluyera las posibilidades de intervención a partir de tres escenarios posibles: sistema peligroso, condiciones iniciadoras y consecuencias del evento no deseado.

3 MODELO DE CONTROL DE RIESGOS

El objetivo del control de riesgos es lograr que la Po, la S y la Pd, se encuentren en la zona que corresponde a los menores NPR para cada uno de los modos de falla identificados y analizados, que coincide con las celdas situadas en la zona 3 de la matriz de valoración de riesgos.
En la Fig. 3, se presenta el diagrama utilizado para representar el modelo de control de riesgos; en el mismo se puede apreciar que las medidas para

controlar el sistema peligroso se pueden implementar sobre el sistema peligroso, sobre las condiciones iniciadoras, y/o sobre las consecuencias.

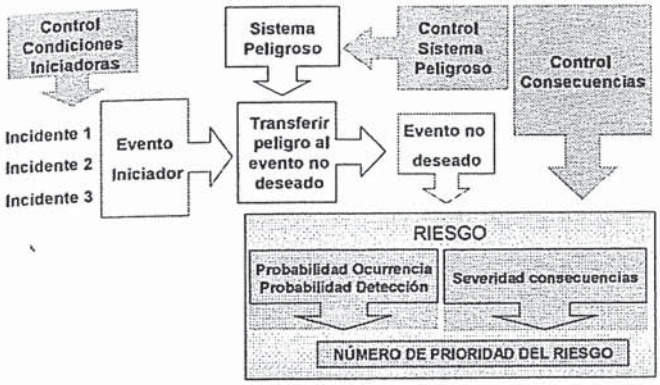


Figura 3: Modelo para el control de riesgos

3.1 *Control del sistema peligroso*

La herramienta utilizada para implementar el control sobre el sistema, consistió en una cuidadosa revisión de su diseño y en el riguroso cumplimiento de las especificaciones técnicas de los materiales y procedimientos para las tres etapas.

3.2 *Control de las condiciones iniciadoras*

El evento no deseado es el eslabón final de una cadena de eventos menores, llamados incidentes, para los cuales por lo general no se elaboran registros. En el sistema de contención de lixiviados, el control sobre las condiciones iniciadoras se realizó a partir de la revisión de los procedimientos documentados, para las tres etapas del análisis.

3.3 *Control de las consecuencias*

La única forma posible de intervención para el control de las consecuencias derivadas de la falla del sistema, consiste en la implementación de barreras que dificulten el contacto directo entre el peligro identificado y los potenciales receptores.

4 RESULTADOS

La cantidad total de modos de falla identificados antes de la implementación de las acciones de corrección resultó ser igual a 149. Con la aplicación de las medidas correspondientes a cada caso, el valor que se obtuvo para la misma cantidad fue de 82, que representa una disminución del orden del 55%.

El análisis efectuado en las etapas de diseño, construcción y operación, para los atributos de los cuatro componentes del sistema de contención de lixiviados, permitió obtener la frecuencia o cantidad de veces que ocurre alguno de los modos de falla. Las cantidades que aparecen en la tercera columna de las Tablas 1 y 2, representan la cantidad de riesgos residuales.

4.1 *Modos de falla por etapa*

Tabla 1: Cantidad de modos de falla por etapa

Etapa	Inicial	Final
Diseño	59	31
Construcción	49	23
Operación	41	28

La etapa de diseño es la que contribuye con mayor cantidad de modos de falla. Este aporte, sigue ocupando el primer lugar después de la implementación de las acciones de control, pero con una importante disminución en su frecuencia. Sin embargo, la reducción más importante se logra en la etapa de construcción.

4.2 *Modos de falla por componente*

Tabla 2: Cantidad de modos de falla por componente

Componente	Inicial	Final
Sustrato inferior	22	10
Manto de arcilla	48	26
Geomembrana	57	38
Cubierta protectora	22	8

Como se puede apreciar, la geomembrana es el componente expuesto a la mayor cantidad de modos de falla, seguido por el manto de arcilla.

A partir de la implementación de las acciones de control propuestas, lo mejores resultados se obtienen en primer lugar sobre el manto de arcilla y en segundo lugar sobre la geomembrana.

4.3 *Modos de falla por atributo*

Para la representación gráfica adoptada se tuvo en cuenta la variación en la cantidad de modos de falla de cada atributo, para cada una de las tres etapas consideradas.

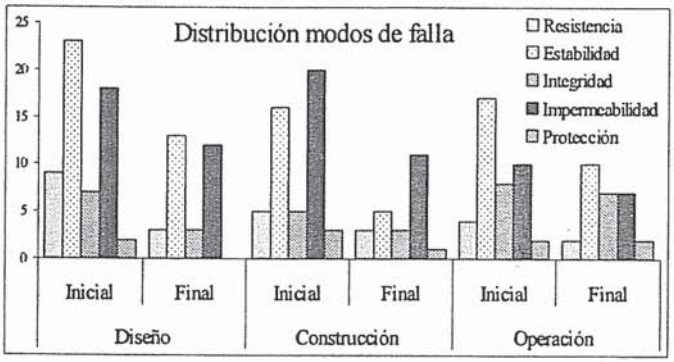


Figura 4: Modos de falla según atributos

Los modos de falla relacionados con la estabilidad del sistema de contención de lixiviados ocupan el primer lugar, tanto en la etapa de diseño como en la de operación de la instalación. Sin embargo en la etapa de construcción, la impermeabilidad del conjunto representa el principal modo de falla.

5 PLAN DE CONTINGENCIAS

5.1 *Objetivos y alcance*

El objetivo del plan de contingencias es que todas las acciones de intervención para la atención de una contingencia estén dirigidas a salvar vidas, proteger el ambiente y minimizar los daños sobre los bienes materiales propios y de terceros. Se trata de un documento escrito, que describe en detalle el conjunto de acciones necesarias para recuperar, en el menor tiempo posible, el estado operativo normal de la instalación. La ocurrencia de una contingencia aparta a la instalación de su estado operativo normal. Las diferentes contingencias se agruparon en tres niveles de intervención, acordes a la gravedad de las mismas. Por otro lado, la necesidad de actuar rápidamente, exige que los planes de contingencia se presenten resumidos en esquemas de interpretación sencilla, para su distribución entre los diferentes sectores de la organización Ref. [20].
El alcance del plan comprendió la extensión geográfica, la necesidad de comunicar la ocurrencia de la contingencia a las autoridades y la especificación de los recursos humanos y materiales propios.

5.2 *Organización del plan*

Se adoptó una estructura organizativa compuesta por dos áreas específicas; una dirigida hacia la participación de las áreas gerenciales y la otra relacionada con la intervención del personal de respuesta Ref. [21].
La secuencia de acciones de respuesta del plan se estableció en cuatro etapas: reconocimiento, notificación, acción e informe y comunicación, comunes a los tres niveles adoptados para la clasificación de las contingencias Ref. [22].
Nivel 1: Contingencia grave
Zona 1 de la matriz. Requiere activar el conjunto de recursos de la organización y la intervención de organismos externos. Reviste una importante implicancia técnica, pública y social. La probabilidad de atraer el interés externo es elevada.
Nivel 2: Contingencia importante
Zona 2 de la matriz. Requiere activar el conjunto de recursos de la organización. Puede requerir la intervención de organismos o instituciones externas. Puede atraer el interés externo.
Nivel 3: Contingencia menor
Zona 3 de la matriz. No produce efectos fuera del sistema de contención. No requiere participación de organismos externos. La probabilidad de atraer el interés externo es reducida.

6 CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos después de la realización del FMECA indican que los modos de falla relacionados con la impermeabilidad del conjunto ocupan el primer lugar en las etapas de diseño y construcción de la instalación. En segundo lugar se ubicaron los modos de falla referidos a la estabilidad, que lideran las etapas de diseño y operación.
Se comprobó que aún cuando las medidas de control permiten disminuir la cantidad total de fallas o defectos relativos a los componentes de la barrera, la proporción de dicha cantidad que conserva valores residuales del riesgo se ubica entre el 43% y el 65%.
Con relación a los componentes del sistema, sólo el conjunto conformado por la geomembrana y el manto de arcilla contribuye a la ocurrencia de modos de falla que afectan la impermeabilidad del sistema de contención.
Los atributos del sistema de contención con mayor exposición a la ocurrencia de contingencias se relacionan con fallas o defectos de impermeabilidad y estabilidad.

La geomembrana es el constituyente del sistema de contención que, en todos los casos, contribuye con la mayor proporción de modos de falla.
La persistencia de riesgos residuales, hace evidente la necesidad de implementar planes de contingencia dinámicos y de mantener activos los sistemas de control más allá del horizonte temporal de 50 años.

REFERENCIAS

[1] B. Gross, R. Bonaparte & J. Giroud, Waste containment systems: Problems and lessons learned - Appendix F, USEPA, Cooperative agreement Number CR-821448-01-0, Cincinnati, 214, 2003.

[2] J. White, J. Robinson & R. Qingchao. Modelling the biochemical degradation of solids waste in landfills. Elsevier, Waste Management, 24. 2004.

[3] G. Tchobanoglous, H. Theisen, S. Virgil. Gestión integral de los residuos sólidos. Vol. I y II. McGraw-Hill. Madrid. España. 1994.

[4] N. Dixon & U. Langer. Development of a MSW classification system for the evaluation of mechanical properties. Elsevier. Waste Management, 12, 2006.

[5] S. Llamas, Riesgo ambiental de los sistemas de contención de lixiviados en vertederos de residuos sólidos urbanos, Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo, 227, 2006.

[6] G. Blight & A. Fourie. Catastrophe revisited - disastrous flow failures of mine and municipal solid waste. Springer. Geotechnical and Geological Engineering, 29. 2005.

[7] C. Lake & R. Rowe. The 14-years performance of a compacted clay liner used as part of a composite liner system for a leachate lagoon. Springer. Geotechnical and Geological Engineering, 21. 2005

[8] S. Pollard, D. Purchase & S. Herbert, A practical guide to environmental risk assessment for waste management facilities, Envrionment Agency, 53, 2000.

[9] P. Carey, G, Carty, B. Dolon, D. Howley & T. Nealon, Landfill manuals. Landfill site design, Environment Protection Agency, Wexford, Ireland, 154, 2000.

[10] C. Shi & R. Booth. Laboratory development and field demonstration of self-sealing/self-healing landfill liner. Elsevier. Waste Management, 8, 2005.

[11] J. Suokas & R. Kakko. Safety analysis, risk analysis, risk management, quality management of safety and risk analysis. Amsterdam. Elsevier, 18, 1993.

[12] IEC 812. Analysis technique for system reliability. Procedure for failure mode and effect analysis (FMEA). Standard IEC-812, 41, 1985.

[13] A. Bouazza. Geosynthetic clay liners. Elsevier. Geotextiles and Geomembranes, 15, 2002.

[14] D. Hendron, G. Fernández & P. Prommer. Investigation of the cause of the 27 september 1997 slope failure at he Dona Juana landfill, In: Proceedings Sardinia '99, Cagliari, Italy, 11, 1999.

[15] A. Scott, M. Tysklind & I. Fangmark. Selection of a representative set of chemical accidents from a complex data matrix for the development of environment-accident index. Journal of Hazardous Materials A91. 17. 2002.

[16] T. Stark, D. Arellano, W. Evans, V. Wilson & J. Gonda. Unreinforced geosynthetic clay liner case history. Geosynthetics International, Vol. 5, N° 5, 23, 1998.

[17] T. Allen, R. Bathurst & R. Berg. Global level of safety and performance of geosynthetic walls: An historical perspective. Geosynthetics International, Vol. 9. Nos 5-6, 56, 202.

[18] N. Touze-Foltz, R. Rowe & N. Navarro. Liquid flow through composite liners due geomembrane defects: Nonuniform hydraulic transmissivity at the liner interface. Geosynthetics International. Vol. 8. N° 1, 26. 2001.

[19] D. Elton & I. Peggs. Geomembrane research needs. Geosynthetics International. Vol. 9. N° 3. 18, 2002.

[20] S. Llamas, Riesgo ambiental - Aplicación a lixiviados de vertederos, Conferencia Red Iberoamericana de Docencia en Ingeniería de Saneamiento Ambiental (REDISA), Agencia Española de Cooperación Internacional (AECI), 24, 2004.

[21] K. Mavropoulos, Risk assessments as an engineering tool in landfills, EPEM S.A., National Technical University of Athens, Greece, 10, 2004.

[22] R. Jones, M. Cawood & K. Durham, An Australian innovation in emergency risk management, Vol. 2, Nos. 3/4, 14, 2001.

ABSTRACT

Barriers performed with natural and synthetics materials as leach contention strategy in landfills, to contribute with new failure states apparition. Objetive: to develop a model for risk identification and control in landfill design, construction and operation stages. Methods: Failure modes and critically effects analysis (FMECA) was employed on every contention system component for a temporal range of 50 years. The risk priority number was obtained for every situation. Results: Total failure modes were reduced from 149 to 82 as a result of model application. The risk priority number percentages reductions were between 35% and 57%. Geomembrane was determined as the most vulnerable component. Contingency plan with three levels of intervention was performed. Conclusions: The residual risk persistency makes evident the needs of implement dynamic contingency plans and of maintain control systems in activity more than 50 years.

Key Words: risk - failure - critical risks - contingency - contention barriers

Carbones activados obtenidos del Marabú (*Leptoptilus Crumeniferus*)

B. Bucki Wasserman
ingbucki@speedy.com.ar
GESE, Unidad Académica Confluencia, Universidad Tecnológica Nacional

P. J. Villegas, A.J.Pérez de Armas, A.Mollineda T.
pjva@fim.uclv.edu.cu
C.E.T.A. Centro de Estudio de Termoenergética Azucarera, Universidad Central "Marta Abreu"

RESUMEN: Este trabajo, estudia la obtención de carbones activados a partir del marabú (*Leptoptilus Crumeniferus*), también conocido como "la aroma" en países de Centro América empleando vapor de agua como activante, con las siguientes condiciones de operación: temperatura (600-800° C) y tiempo (de 60 a 120 min.). También se evaluó la capacidad de adsorción para iones metálicos pesados Ni^{2+} y Cu^{2+} con estos carbones activados. Las propiedades de los carbones, se comprobaron haciendo énfasis en los indicadores del poder adsorbente: a) índices de azul de metileno y b) de yodo. A todas las variables con respuesta de interés se les realizó el correspondiente análisis estadístico que permitió definir la influencia de las mismas, temperatura y tiempo. Se obtuvo que, tanto el precursor como el agente activante estudiado, resultaron adecuados para la preparación de carbones activados con una elevada capacidad de adsorción.

Palabras clave: adsorción - carbones activados - activación física, metales pesados

1 INTRODUCCIÓN

La producción de carbones activados se ha visto notablemente incrementada en las dos últimas décadas dadas sus posibilidades de aplicación. La creciente demanda de estos adsorbentes ha incentivado la búsqueda de nuevas fuentes de materias primas, de disponibilidad segura y bajo costo, centrándose la atención especialmente en los materiales renovables [1]; [4]; [7].

A excepción del coco, ha sido poco estudiada la factibilidad de preparación de carbones activados a partir de algunos recursos biomásicos de las zonas tropicales, con amplia disponibilidad y poca competencia en otros usos [6].

En el caso de Cuba uno de estos recursos de amplia disponibilidad es el marabú, que avanza sobre los campos de cultivo, convirtiéndose en una plaga que obstaculiza el desarrollo de la agricultura. En los últimos años se realizaron importantes esfuerzos en la búsqueda de alternativas para reducir el impacto ambiental del marabú y añadirle valor agregado para un desarrollo agrícola sustentable.

Asimismo, debe considerarse que la disponibilidad de agua potable de buena calidad es un factor importante para preservar la salud de la población siendo conocidas epidemias causadas por contaminación de aguas, que diezmaron la población, por lo que su purificación es vital para evitar pérdidas de vidas humanas. La depuración de aguas comprende usualmente un tratamiento primario, eliminación sólidos y líquidos en suspensión, seguido de un tratamiento secundario de tipo biológico y un tratamiento terciario donde se eliminan contaminantes que no han sido separados en las etapas anteriores.

Entre estos últimos se encuentran algunos metales pesados que aún en muy baja concentración son altamente tóxicos, por ej. Ni2+, Cu2+, Cr 2+, etc. [1]; [2]. Los metales pesados más frecuentes en las aguas son: plomo, arsénico, mercurio, cadmio, níquel cobre y cromo, que por el daño que puede producir su ingesta y su alta toxicidad han sido clasificados por la Environmental Protection Agency (EPA) entre las 20 sustancias químicas más peligrosas para la salud.[3].

En el marco de estos antecedentes, el trabajo se plantea como objetivo, emplear un método que permita obtener carbones activados, a partir de un recurso renovable de amplia disponibilidad en Cuba, y eficiente en la eliminación de cationes metálicos pesados disueltos en agua.

2 PARTE EXPERIMENTAL

El material empleado en las experiencias fue madera, obtenida del marabú, recurso biomásico muy abundante en los campos de Cuba.

Para la obtención de los carbones activados el material fue secado en estufa durante 24 horas a la temperatura de 120° C , molido y tamizado, hasta obtener una granulometría de 0.1 mm . El proceso empleado fue la activación física, para lo cual se tomó una masa conocida de los precursores y se pirolizó durante una hora a la temperatura de 500 ° C con un flujo de nitrógeno de 80 ml / min para garantizar atmósfera inerte. El producto sólido de la pirólisis (*char*) se activa a diferentes temperaturas y tiempos en un reactor de lecho fijo de acero inoxidable de 30 cm de longitud y 2.5 cm de diámetro, al cual se suministra vapor de agua a 1.5 ml / min. a través de un tubo de 0.8 cm de diámetro del mismo material conectado a la parte inferior del reactor, los gases producto se evacuan por la parte superior del reactor a través de un conducto de diámetro similar. Estos gases fueron evaluados en un analizador de gases rbr-ecom®-SG-PLUS de procedencia alemana, para determinar su composición, tanto de la pirolisis como la activación y poder emitir un criterio sobre el efecto del proceso estudiado sobre el medio ambiente.

3 RESULTADOS Y CONCLUSION

El análisis de resultados de la caracterización del precursor, como la de los carbones activados obtenidos a partir del marabú, permite la optimización de las condiciones operativas para obtener un producto con el máximo poder adsorbente verificado mediante el auxilio del análisis estadístico correspondiente.

A partir de los resultados reportados en la Tabla 1 se obtuvo la dependencia entre la conversión y el tiempo a las diferentes temperaturas de activación, la cual se muestra en la Figura 1.

Tabla 1. Rendimientos (R), conversión (Cv), pH y densidades aparentes (dap) del marabú y los carbones activados obtenidos mediante activación con vapor de agua

$T_{ct.}$ (°C)	Muestra	$t_{act.}$ (min)	R (%)	Cv (%)	pH	dap (g/ml)
-	Residuo virgen	-	-	-	-	0.274
-	Char	-	31.0	-	-	0.270
600	Experim. 1	60	95.5	4.50	7.14	0.269
600	Experim. 2	90	80.0	20.0	7.53	0.227
600	Experim. 3	120	79.6	20.4	7.55	0.203
700	Experim. 4	60	78.0	22.0	7.68	0.254
700	Experim. 5	90	64.2	35.8	8.41	0.205
700	Experim. 6	120	58.0	42.0	8.70	0.197
800	Experim. 7	60	62.6	37.4	8.58	0.184
800	Experim. 8	90	48.0	52.0	9.68	0.159
800	Experim. 9	120	39.0	61.0	9.84	0.146

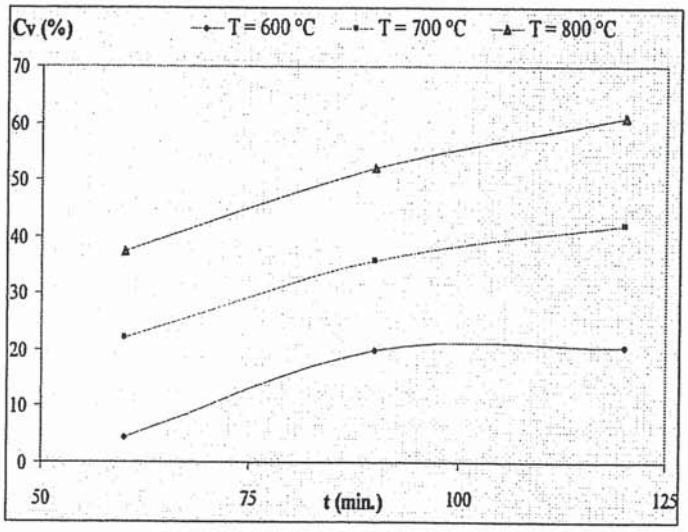


Figura 1. Dependencia entre la conversión y el tiempo a las diferentes temperaturas durante la activación vapor de agua del marabú.

En la misma puede apreciarse que la conversión incrementa con el tiempo de activación y es mayor al aumentar la temperatura. Este comportamiento se corresponde con lo reportado en la literatura para productos de naturaleza similar y el mismo tiene una importancia decisiva en el desarrollo poroso de los adsorbentes [5].

El estudio estadístico de la influencia de las variables independientes: T y t sobre el rendimiento (Tabla 1) se corresponde con la expresión (1) con un coeficiente de correlación R2 = 0.9727.

$$\%R = 220.04 - 0.1758*(T) - 0.3306*(t) \quad (1)$$

Los dos coeficientes de este modelo resultaron significativos sobre la variable dependiente con un nivel de confianza del 99%. El estudio estadístico de la incidencia de las variables independientes: T y t sobre la conversión reflejada en la Tabla 1, se corresponde con la expresión (2) con coeficiente de correlación R2 = 0.9726.

$$\%Cv = -120.04 + 0.1758*(T) + 0.3306*(t) \quad (2)$$

En este caso, también se obtuvo que ambos resultaran significativos sobre la variable dependiente estudiada, con un intervalo de confianza del 99%. El estudio estadístico de la incidencia de las variables independientes: T y t = f (dap), que se reflejan en la Tabla 1 corresponde con la expresión (3) con coeficiente de correlación R2 = 0.8917.

$$dap = 0.5304 - 0.00035*(T) - 0.00089*(t) \quad (3)$$

Resultaron significativos sobre la variable dependiente estudiada la influencia tanto de la temperatura como del tiempo con intervalos de confianza del 99%.

El estudio de la influencia del pH (Tabla 1) respecto a las variables independientes: T y t, se ajusta a la expresión (4) con coeficiente de correlación R2 = 0.9425.

$$pH = 0.1406 + 0.0098*(T) + 0.0149*(t) \quad (4)$$

Se obtuvo que ambos coeficientes resultaran significativos con un 99% de significación. Para evaluar la capacidad de adsorción de los carbones activados obtenidos se analizó la adsorción tanto de yodo como de azul de metileno a partir de soluciones patrones de 0.10N y 0.15%, respectivamente.

Se ofrecen en la Tabla 2 los resultados de índices de yodo (Iy) y de azul de metileno (Ia) correspondiente a los carbones activados obtenidos mediante activación con vapor de agua del marabú a las diferentes condiciones de operación.

Tabla 2. Índices de yodo y de azul de metileno correspondiente a los carbones activados obtenidos mediante activación con vapor de agua del marabú

Muestra	$T_{act.}$ (°C)	$t_{act.}$ (min)	Ia	Iy (mg / l)
Experim. 1	600	60	-	497
Experim. 2	600	90	-	499
Experim. 3	600	120	-	990
Experim. 4	700	60	-	994
Experim. 5	700	90	6	999
Experim. 6	700	120	9	1001
Experim. 7	800	60	9	1003
Experim. 8	800	90	18	1538
Experim. 9	800	120	20	1541

En los ensayos de eficiencia de la adsorción se observó el producto preparado según los experimentos 8 y 9 son capaces de decolorar completamente la elevada concentración de solución Standard de azul de metileno al 0.15%, en cambio los restantes carbones verificados en el experimento logran decolorar por debajo de ésta cantidad. Un estudio comparativo con un carbón comercial producido en la planta industrial del Centro de Investigaciones de la Industria Minero – Metalúrgica (CIPIMM) arrojó que este decoloraba 20 ml. La similitud con los materiales presentados en este trabajo avala la calidad de los productos obtenidos.

El comportamiento de los índices de yodo evidencia un crecimiento con la temperatura y el tiempo, obteniéndose que el carbón activado obtenido según los experimentos 8 y 9 poseen los mayores índices de yodo, lo cual implica que en éstos se han desarrollado un mayor número de microporos. Este valor, superior al reportado para otros carbones activados que se utilizan en variados usos lo que habla muy positivamente sobre la calidad del producto obtenido según las condiciones de los experimentos mencionados.

El análisis estadístico de la Tabla 2 señala que la variación de los índices de azul de metileno de los carbones activados preparados a partir de marabú, respecto a las variables independientes temperatura (T) y tiempo (t), se ajustaba a la expresión siguiente con coeficiente de correlación $R^2 = 0.8786$.

$$Ia = -57.94 + 0.0783*(T) + 0.1111*(t) \quad (5)$$

Del análisis se obtuvo que el coeficiente correspondiente al tiempo resultó significativo con

un 95% de confianza, en cambio la temperatura resultó significativa sobre la variable dependiente estudiada con un nivel de confianza del 99%.
La valoración estadística de la variación de los índices de yodo, reportados en la Tabla 2, con las variables independientes T y t, se ajustaba a la expresión (6) con coeficiente de correlación R^2 = 0.8397:

$$Iy = -1957.44 + 3.4933*(T) + 5.7667*(t) \quad (6)$$

Del análisis se obtuvo que el coeficiente correspondiente al tiempo resultó significativo con un 95% de confiabilidad, mientras que la temperatura tuvo una influencia significativa sobre la variable dependiente estudiada con un 99% de significación.
El estudio de la capacidad de eliminación de los metales pesados Ni^{2+} y Cu^{2+}, se realizó pesando una masa de 4 g de los carbones preparados, los cuales se pusieron en contacto durante 12 horas con un litro de soluciones patrones de estos iones en concentraciones iniciales de 67.5 y 43.6 mg. / l, respectivamente. El filtrado resultante analizado mediante Espectrometría de Absorción Atómica, permitió obtener los porcentajes de remoción se reportan en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados de la remoción de cationes metálicos pesados con carbones activados preparados a partir del marabú.

Muestra	% de remoción de Ni^{2+}	% de remoción de Cu^{2+}
Carbón activado de aroma (Exp. 8)	99.82	99.54
Carbón activado de aroma (Exp. 9)	99.84	99.63

Como se aprecia en la Tabla anterior los carbones activados preparados según las condiciones de los experimentos 8 y 9 son excelentes adsorbentes de los metales pesados estudiados, al eliminar estos de la solución, lo cual abre expectativas muy favorables para la aplicación de los productos obtenidos en este trabajo.

4 VALORACIÓN ECONÓMICA

Un ejemplo del cálculo del costo de los productos, estimado según la valoración económica preliminar, se puede inferir de los datos que se detallan a continuación en este punto. Estos fueron calculados de acuerdo a [10]

- *Capacidad anual estimada:* se decidió una producción anual de 500 toneladas, por ser el establecido para una planta pequeña.
- *Costo del equipamiento:* se consideró que dado la pequeña magnitud de la planta, con una inversión de 100 000 USD se adquiere el equipamiento necesario para la misma.
- *Vida útil de la planta:* se consideró de diez años teniendo en cuenta que es una planta pequeña.

Costo total de producción: incluye el costo de fabricación y los gastos generales, y se expresa en USD/t.

- *Costo de fabricación:* incluye los costos directos, fijos e indirectos, y se expresa en USD/t.
- *Costos directos*: se expresa en USD/t e incluye el gasto de:
  - *Materias primas:* reactivos y precursors empleados en el proceso de activación;
  - *Mano de obra y supervisión (salario)*: se asumió un salario promedio de 750 USD por obrero y 10 trabajadores para manejar la planta;
  - *Utilidades:* incluye básicamente la energía consumida en el proceso; se consideró el precio comúnmente establecido de 0.10 USD / KWh;
  - *Mantenimiento y suministros operacionales:* Según criterio generalizado en este tipo de estudios se considera un 10% del costo del equipamiento entre la capacidad anual de la planta.
  - *Laboratorio:* Se considera un 15% del costo de equipamiento entre la capacidad anual de la planta y se expresa en USD/t.
- *Costos fijos:* están dados por la depreciación de los equipos, dado por la relación entre la inversión, su vida útil y su capacidad, y se expresa en USD/t.
- *Costos indirectos:* se expresan como el 10 % del costo total de producción y se expresa en USD/t.
- *Gastos generales:* incluyen los gastos de administración, distribución y venta e investigación y desarrollo, los cuales se consideran como el 0.05% del costo total.
- Teniendo en cuenta los aspectos anteriormente detallados es que se estima el costo de producción según las especificidades de las materias primas y reactivos. Del análisis del Anexo anterior se infiere lo beneficioso que sería la obtención de un

producto tan necesitado a partir de residuos, con el consiguiente ahorro económico, empleando el método de activación física con vapor de agua, el cual además tiene la ventaja de que se obtiene un producto granular que puede reactivarse luego de ser usado, redundando en la eficiencia del proceso. Si se considerara el gasto por consumo de los productos propuestos, cuyo costo de producción de aproximadamente 700 USD/t, y considerando un precio igual al costo total de producción más el 10% de éste, dicho producto podría venderse a 900 USD/t, con la ventaja adicional que se recupera el mismo luego de su empleo, lo que trae aparejado beneficios medioambientales.

5 CONCLUSIONES

- El estudio sobre la factibilidad de preparar carbones activados señala que el producto sólido de la pirólisis del marabú puede ser utilizado, aplicando el método de activación con vapor de agua, con este propósito.
- Las condiciones de operación empleadas en la activación ejercen una marcada influencia sobre la capacidad de adsorción de los productos obtenidos.
- Es evidente que en este estudio, además de utilizar un recurso renovable cuyo costo es nulo, inclusive se lo puede considerar negativo, ya que su conversión a carbón activado elimina un problema de invasión que sufren los campos azucareros, lo cual redunda en un mayor aprovechamiento de los campos cultivables, es decir superficies cultivables y ello implica una reducción del costo para el mantenimiento de los mismos exentos de estos arbustos.
- De la valoración económica podemos deducir que la obtención reduciría los gastos de divisas de Cuba en cerca de un 50% dado el costo de fabricación del carbón activado por el proceso descrito y por otra parte su eficiencia.
- El mejor resultado se obtuvo para los experimentos 8 y 9 que se realizaron a una temperatura de 800°C y tiempos de activación de 90 y 120min., respectivamente con buenos rendimientos. Este producto resultó tener propiedades adsorbentes excelentes.
- El análisis estadístico realizado permitió determinar las ecuaciones que describían la influencia entre las condiciones de operación estudiadas (variables independientes) y las diferentes variables respuesta bajo análisis (densidad aparente, rendimiento, conversión, pH y propiedades adsorbentes), estableciéndose la significación de los coeficientes correspondientes en cada caso.

  Los productos preparados bajo las condiciones de los experimentos 8 y 9 son adsorbentes adecuados para la remoción de prácticamente la totalidad de los iones metálicos Ni2+ y Cu2+ presentes en solución acuosa.

REFERENCIAS

[1] Arriagada, R.; García, R.; Saavedra, G. "Carbones activados de origen lignocelulósico". Informe de Investigaciones. Departamento de Físico - Química Universidad de Concepción, Chile, 1999.

[2] Arriagada, R.; García, R.; Cid, R.. Retención de Hg(II) y Cr(VI) en carbones activados de origen lignocelulósico". Informe de Investigaciones. Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Concepción . Chile, 2002.

[3] Basso, M. C.; Cerella, E. G.; Cukierman, A. L. "Remoción de Cd (II) de soluciones acuosas mediante carbón activado preparado a partir de caña" Revista Argentina Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, 5, pp., 2001.

[4] Barthon, A. "Preparation of Activated Carbon from Wood of Fast Growing Tree Species" Mc. Sc. Thesis, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 1998.

[5] Heschel W.; Klose, E. "On the Suitability of Agricultural By-product for the Manufacture of Granular Activated Carbon". Fuel, 74, 12, 1787-1791, 1995.

[6] Reinoso, R.F., Sabio M.M.."El carbon activado en procesos de descontaminacion". Departamento de Química Inorgánica. Universidad de Alicante. España, 2002.

[7] Villegas Aguilar, P. J.; Medina Alvarez, B. F.; de las Posas del Río, C. E. Production of Granular Activated Carbon by Controlled Gasification of some Agricultural Resources with Steam Water. Proceeding of the Sixth APISCEU, organized by the Institute of Engineering Thermo-physics, Chinese Academy of Sciences and the Faculty of Mechanical Engineering, Universti Teknologi Malaysia, Kuala Lumpur, Malaysia, may 2002.

[8] P. J. Villegas Aguilar; J. O. Prieto García; Y. Meneses Plasencia; B. Bucki Wasserman; A. Mollineda Trujillo; Tratamiento de una simulación de aguas contaminadas con carbones

activados obtenidos a partir de precursores Renovables. Revista Argentina Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, vol 7, art. 1.07, Argentina 2003.

[9] P. J. Villegas Aguilar; Y. Dévora Rodríguez; B. Bucki Wasserman; A. Mollineda Trujillo. Obtención de carbones activados para la protección ambiental a partir de maderas exóticas tropicales. Revista Argentina. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, vol. 8, art. 129, p 1.53, Argentina 2004.

[10] Timerhaus, K. D. "Plants Design and Economics for Chemical Engineers", p. 141, 1990.

ABSTRACT

Present work studies the obtaining of activated charcoal from the marabou-wood (*Leptoptilus Crumeniferus*), also known like "the aroma" in some countries of Central America, using water steam as activator, under the following conditions of operation: temperature (600-800° C) and time (from 60 to 120 min.). Also the capacity of adsorption for heavy metallic ions Ni^{2+} and Cu^{2+} was evaluated with these activated charcoals. The charcoals properties were verified making emphasis in the indicators of the adsorbent power: a) ratio of methylene blue and b) of iodine. All the variables with interest answer were made the corresponding statistical analysis that allowed defining the influence of the same ones, temperature and time to them. It was obtained that, as much the precursor as the studied activate agent, was suitable for the activated charcoal preparation with a very high capacity of adsorption

Key Words: Adsorption - Activated Carbons - Physical Activation - Heavy Metals

Análisis de ciclo de vida de la turbina G47-660 kW

A. Rivarola & P. A. Arena
andreari@frm.utn.edu.ar & aparena@frm.utn.edu.ar
Grupo CLIOPE, Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza

H. Mattio
mattio@eeolica.com
CREE Centro Regional de Energía Eólica - Provincia de Chubut.

RESUMEN: la energía eólica presenta muchas facetas evaluadas positivamente desde el punto de vista ambiental, debido a que aprovecha un recurso renovable para producir energía mecánica o eléctrica, sin consumir recursos fósiles finitos y sin producir emisiones nocivas durante su funcionamiento. Sin embargo, para poder establecer una evaluación completa es necesario considerar además los impactos asociados a las otras etapas del ciclo de vida de la generación eólica, tales como la obtención de los materiales, la construcción del aerogenerador, su montaje, su desmantelamiento al final de su ciclo de vida. El objetivo de este trabajo es precisamente el de determinar los impactos ambientales asociados al ciclo de vida de una turbina eólica tipo G47 – 660 kW. Esta turbina pertenece a un grupo de 16 turbinas que fueron instaladas durante la 2° ampliación del parque eólico Antonio Morán, en la provincia de Chubut, Argentina. Para alcanzar este objetivo se utiliza la metodología del Análisis de Ciclo de Vida, la cual permite considerar distintas categorías de impacto ambiental en cada etapa del ciclo de vida completo de una turbina. En este primer análisis se estudia la fase de fabricación y montaje de los aerogeneradores. Los resultados muestran los impactos de mayor importancia relacionados con la construcción y uso, siendo el más relevante la generación de residuos, seguido de ecotoxicidad aguda y crónica en sistemas acuáticos.

Palabras clave: turbina eólica – ACV – impactos ambientales.

1 INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la preocupación por los aspectos ambientales asociados al sector energético mundial ha crecido juntamente con los relacionados con la disponibilidad energética. El modo de vida de nuestra sociedad se sustenta en un fuerte consumo energético, lo que ha determinado la realización de ingentes esfuerzos tendientes a disminuir la dependencia de una única fuente energética, y a aumentar la eficiencia de su aprovechamiento. En el campo de las energías renovables la energía eólica ha experimentado a nivel mundial una madurez tecnológica importante, con precios competitivos en algunas condiciones, lo que la constituye en una alternativa factible de implementar. Sin embargo sólo aquellos países que han avanzado en sus políticas energéticas ya han emprendido una línea clara de introducción del uso de la

energía eólica en sus sistemas de producción energética. Alemania con 18.428 MW, España con 10.027 MW, EE.UU. con 9.149 MW, la India con 4.430 MW y Dinamarca con 3.122 MW).
Otros países, como Italia, el Reino Unido, los Países Bajos, China, Japón y Portugal, ya han alcanzado el umbral de 1.000 MW y son claros ejemplos de la potencialidad de la energía eólica para la producción de energía eléctrica Ref. [1].
Aunque la energía eólica para la generación eléctrica es considerada una tecnología no contaminante, para realizar un análisis correcto del impacto ambiental sobre el medio ambiente que su uso causa, es necesario identificar los impactos en todas y cada una de las etapas del ciclo de producción y consumo.
En este trabajo se propone la utilización del Análisis de Ciclo de Vida como metodología de análisis de un aerogenerador marca Gamesa 47 G47-, que integra un grupo de 16 turbinas instaladas durante la 2° ampliación del Parque Eólico Antonio Morán en Comodoro Rivadavia, situado en Chubut, Argentina. El Parque Morán es manejado por la Sociedad Cooperativa Popular Limitada (SCPL). El parque contaba inicialmente con dos molinos de 250 kW y ocho de 750 kW, constituyendo con su producción del 7 al 10% del total de la energía eléctrica proporcionada por la SCPL de la ciudad de Comodoro. En agosto del año 2000 se instalaron 16 molinos, marca Gamesa. De esta manera se adicionaron 10.5 MW a los 6.5 MW anteriores.
Los nuevos molinos se instalaron de modo de inyectar la producción en distintos puntos de la extensa Red Primaria de Distribución, brindando energía aproximadamente a 19.500 hogares. La Tabla 1 brinda las especificaciones técnicas de estos generadores. La Fig. 1 muestra un esquema de una turbina eólica genérica.

Tabla 1. Especificaciones técnicas de la G47

Parte	Característica
Rotor	
Diámetro	47 m
Área de barrido	1.735 m^2
Palas	
N° de palas	3
Longitud	23 m
Perfil	NACA 63600/FFA-W3
Color	RAL 9018
Torre	
Tipo	Modular, 3 secciones
Diámetro superior	2,0 m
Altura	45 m
Diámetro inferior	3,0 m
Generador	
Tipo	asincrónico
Potencia Nominal	660 kW
Tensión	690V
Frecuencia	50 Hz

1.Pala
2.Buje
3.Rodamiento pala
4.Eje Principal
5.Multiplicadora
6.Disco de freno
7.Refrigerador
8.Eje cardan
9.Generador
10.Polipasto
11.Anemómetro Veleta
12.Cilindro del pitch
13.Bastidor
14.Torre
15.Control orientación
16.Amortiguadores
17.Corona de giro
18.Reductora de giro
19.Control eléctrico
20.Grupo Hidraulico

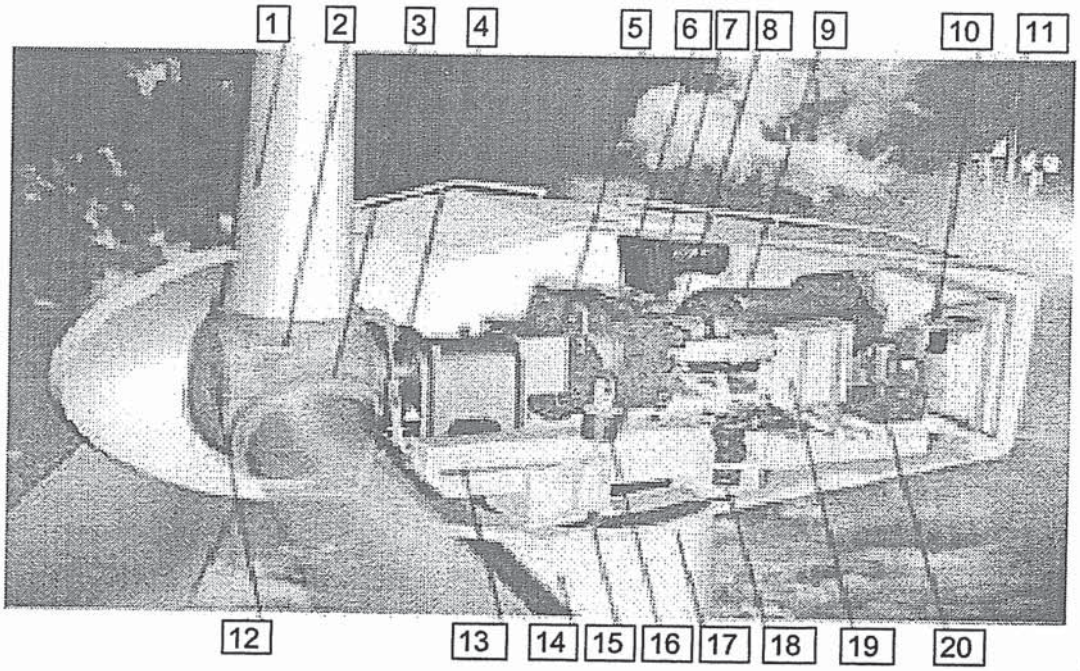


Figura 1. Principales partes y componentes de un aerogenerador
Fuente: Sociedad Cooperativa Popular Limitada

2 OBJETIVO

El propósito de este estudio es el de conocer la cantidad de recursos utilizados y los impactos ambientales producidos por las emisiones liberadas en las etapas de fabricación y montaje del aerogenerador G-47 de 660 KW de potencia nominal.

3 METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

3.1 *Caso analizado e hipótesis manejadas*

La turbina G47-660 KW, es del tipo tripala y eje horizontal. De acuerdo a su potencia puede ser clasificada como un aerogenerador de mediana potencia Ref. [2]. La torre del molino fue fabricada en el Astillero de Comodoro Rivadavia, Chubut, Argentina, el resto de las piezas fueron fabricadas por la empresa GAMESA, en España. La torre está compuesta de varias planchas de acero. Cada plancha es rolada en una subsección cónica. La plancha debe curvarse adecuadamente ya que la forma cónica es diferente en ambos extremos. La torre es ensamblada a partir de estas subsecciones cónicas más pequeñas, que son cortadas y laminadas con la forma correcta y posteriormente unidas por soldadura. Una vez superada esta instancia se debe avanzar en la preparación del terreno para posteriormente ejecutar la fundación en hormigón armado. Posteriormente se trasladan los equipos al sitio. En el caso particular de la torre se realizaron tres viajes para trasladar las tres secciones que componen la misma, en tanto para el traslado del rotor y la góndola se realizó un viaje en cada caso. Dispuestas las partes del molino sobre el terreno se inicia el ensamble armando el rotor conformado por tres aspas, posteriormente, y con la utilización de una grúa, se iza la torre que se elabora en 3 tramos. Seguidamente se realiza el izado de la góndola o nacelle, una "caja" de unos 4 metros de longitud, 2,50 metros de ancho y 2 metros de altura que en sus aproximadamente 21 toneladas conlleva al generador, la caja multiplicadora, accesorios cables, etc. El paso final consiste en la colocación del rotor con el que se da término al armado de la estructura del molino. Toda esta operación no demanda más de un día Ref. [3].

Para este trabajo se decidió dividir la turbina G47 en las siguientes partes principales:

Rotor:

- Palas
- Buje
- Cono

Góndola:

- Generador
- Caja de engranajes
- Carcaza

Torre

Cimentaciones

Luego cada parte principal fue subdividida para lograr mayor detalle durante el análisis. Esta subdivisión fue establecida de acuerdo al grado de información obtenida. Los datos correspondientes a peso total de la turbina, peso del rotor, peso de cada pala y peso de la góndola fueron suministrados por el fabricante. Sin embargo para lograr hacer un análisis que implicara un mayor grado de detalle se utilizó para su cálculo la relación de porcentajes de materiales utilizados para la fabricación de los principales componentes para turbinas de baja y mediana potencia Ref. [2]. Los datos referidos a cimentación fueron brindados por los directivos del Parque Antonio Morán Ref. [3]. En la Tabla 2 se observan los pesos y materiales de las principales partes del aerogenerador:

Tabla 2. Materiales y pesos de la G47

Parte	Material	Peso [a] (kg)
Torre	Acero	33000
Góndola	Acero Aluminio Cobre Fibra de vidrio	20400
Palas	Fibra de vidrio reforzada con resina epoxi	1500[b]
Fundaciones	Acero Cemento	3100

a- Los pesos corresponden a la pieza indicada en cada caso.

b- Peso correspondiente a una pala

3.2 *Metodología*

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) fue la metodología seleccionada para realizar este trabajo. El ACV permite describir y evaluar los impactos ambientales totales de un

aerogenerador, analizando todas las etapas del proceso completo desde la provisión de materia prima, producción, transporte y generación de energía, hasta el reciclado y las etapas de eliminación de deshechos. En este trabajo se analizó sólo la fase de fabricación y montaje del equipo, dejando el análisis del ciclo de vida completo para un trabajo posterior. El ciclo de vida de un aerogenerador comienza con la extracción de la materia prima de la tierra para su fabricación y finaliza en el punto en que todos los materiales vuelven a la tierra. Con esta metodología se intenta incluir todas las etapas del ciclo de vida del equipo en una evaluación, suponiendo que son interdependientes, es decir, que una operación lleva a la siguiente. El ACV hace posible calcular los impactos ambientales acumulativos resultantes de todas las etapas en el ciclo de vida, a menudo incluyendo impactos no considerados en análisis más tradicionales (por ejemplo, extracción de materia prima, transporte del material, eliminación definitiva del equipo, etc.). Por lo tanto, la ACV provee un análisis exhaustivo de los aspectos ambientales del aerogenerador y un panorama más exacto de las compensaciones ambientales verdaderas en la selección del mismo. Esta metodología permite no sólo cuantificar las citadas cantidades, sino también construir un perfil ambiental del producto analizado, consistente en una cuantificación del impacto producido en distintos categorías ambientales, tales como el calentamiento global, la eutrofización de las aguas y el adelgazamiento de la capa de ozono. Además, los principales responsables (procesos o materiales) de estos impactos son identificados Ref. [4] Dentro de un ACV, la recolección de datos es una parte de gran importancia. Se puede decir que la calidad científica de los resultados de un ACV serán proporcionales a la calidad de los datos que han sido utilizados. Debido a esto y reconociendo las limitaciones que puede significar la recopilación de datos, el objetivo fue en todos los casos trabajar con los datos más específicos posibles.

De acuerdo a la ISO 14040, las etapas de un ACV son Definición; Inventario; Evaluación de Impactos e Interpretación Ref. [5].

4 DEFINICIÓN DEL ESTUDIO

Objetivo: se estudia el impacto ambiental asociado a la fabricación de una turbina G47 de 660 KW de potencia nominal, en la región de Comodoro Rivadavia, Chubut, Argentina.

Alcance: en este ACV se han considerado sólo las etapas de fabricación y montaje de una turbina, omitiéndose las etapas de funcionamiento, mantenimiento y desmantelación de la misma. El tiempo de vida útil de la turbina ha sido establecido en 20 años, según datos del fabricante.

Inventario: consiste en contabilizar todos los recursos y procesos requeridos y las emisiones producidas para la obtención del producto estudiado. En este estudio, siempre que ha sido posible, los datos correspondientes al consumo de recursos en cada etapa analizada se obtuvieron de sus fuentes directas (empresa y parque eólico). En algunos casos, sin embargo, ha sido necesario utilizar datos provenientes de bibliografía relacionada y bases de datos extranjeras cuando los datos locales no estaban disponibles.

Evaluación de Impactos: los resultados obtenidos de la etapa de Inventario se elaboran, asociando cada sustancia consumida o liberada a una categoría de impacto. Este proceso se conoce como Categorización de los impactos, y constituye la primera actividad de la fase de Evaluación de Impactos.

Interpretación: es el análisis de los resultados del estudio.

El software utilizado para este estudio fue Simapro 6.0 Ref. [6].

5 RESULTADOS OBTENIDOS

5.1 *Análisis de la contribución de los procesos:*

A través de este análisis se puede realizar una evaluación de la contribución de los principales procesos involucrados en las etapas del ciclo de vida analizado, determinando cual de los procesos contribuye más al impacto total del ciclo de vida de la turbina. Los resultados que se indican en la Tabla 3., muestran que el proceso del cobre es el de mayor contribución al impacto total que genera la fabricación y montaje de este aerogenerador, seguido por el proceso del acero.

Tabla 3. Contribución de los procesos de fabricación y montaje de la G47

Procesos	Unidad Pt
Cobre	321
Acero	122
Procesos restantes	94.5
Producción de petróleo crudo offshore	71.6
Barco de carga	18.3
Total de los procesos	628

5.2 *Caracterización*

La Tabla 4 resume los resultados de la evaluación de impactos, utilizando la metodología de EDIP/UMIP 96 Ref. [7].

Tabla 4. Resultados de la caracterización

Categoría ambiental	Unidad	Turbina G47
Calentamiento global	g CO2	1,45E+08
Adelgazamiento de la capa de ozono	g CFC11	40,1
Acidificación	g SO2	3730000
Eutrofización	g NO3	1460000
Producción de smog	g etano	78800
Ecotoxicidad medio acuoso crónica	m^3	18800000
Ecotoxicidad medio acuoso aguda	m^3	1490000
Ecotoxicidad crónica suelos	m^3	443000
Toxicidad humana aire	m^3	7,33E+10
Toxicidad humana agua	m^3	1640000
Toxicidad humana suelo	m^3	5120
Deshechos	kg	367000
Cenizas	kg	35.1
Recursos	kg	70.2

5.3 *Normalización*

Como se observa en la Tabla 4, los resultados de la caracterización están en distintas unidades, lo que dificulta la comprensión de los mismos.
La normalización permite transformar todos los resultados en unidades compatibles, relacionándolas con valores de referencia a nivel nacional, regional o mundial. En la Tabla 5, se muestran los resultados normalizados, refiriéndolos a la cantidad del mismo impacto producido por una persona (la unidad resultante es Persona equivalente, para cada categoría ambiental

Tabla 5. Resultados de la Normalización

Categoría ambiental	Sigla	Turbina G47
Deshechos	BW	272
Ecotoxicidad medio acuoso crónica	ETAC	40,1
Ecotoxicidad medio acuoso aguda	ETAA	30,9
Acidificacion	AP	30
Toxicidad humana agua	HTW	27,8
Calentamiento global	GWP	16,7
Toxicidad humana suelo	HTS	16,5
Ecotoxicidad crónica suelos	ETS	14,7
Toxicidad humana aire	HTA	7,99
Eutrofizacion	EP	4,9
Producción de smog	OCP	3,94
Adelgazamiento de la capa de ozono	OD	0,198
Cenizas	SL	0,1

En la Fig. 2 se observa el gráfico que resume los resultados de la Tabla 5, utilizando las siglas indicadas en la misma.

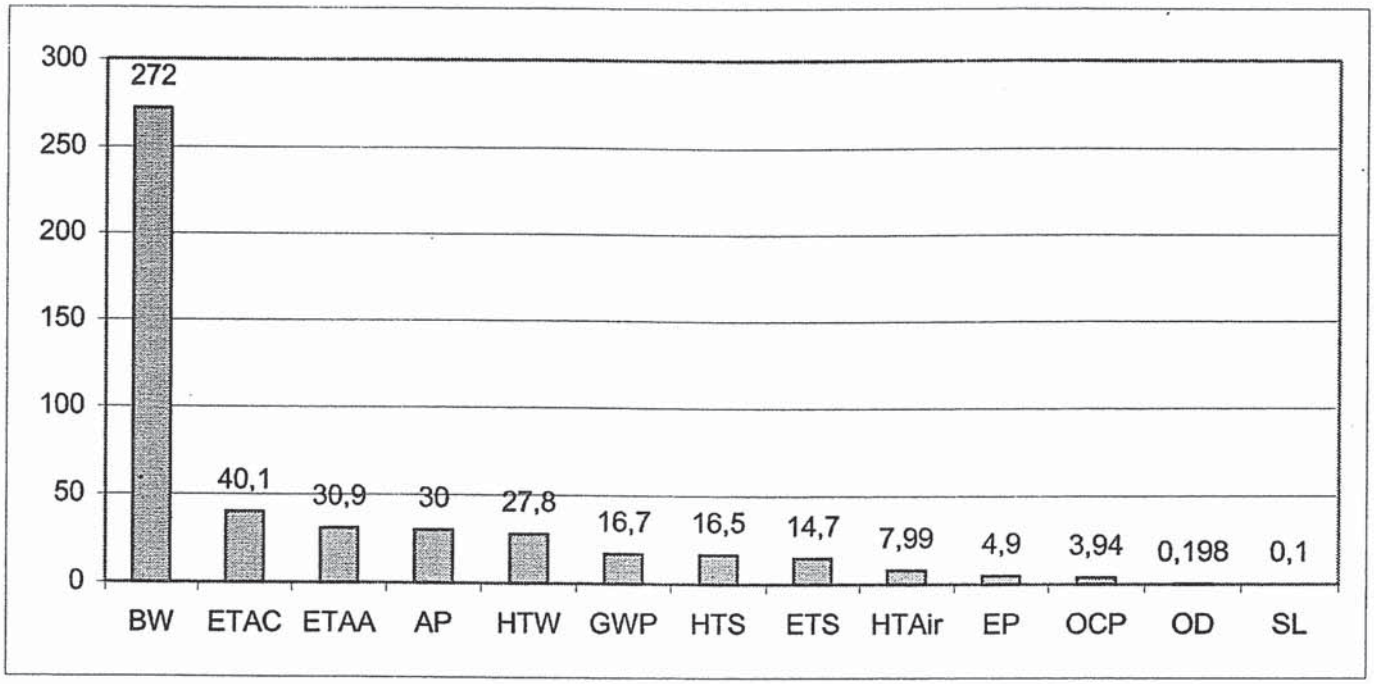


Figura 2. Gráfico de los resultados de la tabla 5 para la turbina G47

La Fig. 2 muestra los resultados normalizados de la carga ambiental de las distintas categorías de impacto que han sido seleccionadas para este análisis. Se observa que la categoría de Residuos es la que presenta mayor importancia relativa. Esta categoría se encuentra representada por: deshechos de la construcción y otros similares, los cuales han sido depositados en un lugar controlado y no contienen sustancias peligrosas.
En orden decreciente, se encuentran las categorías de Ecotoxicidad crónica del agua (se la relaciona con sustancias que no son biodegradables y que pueden alcanzar concentraciones que causen efectos tóxicos tanto en personas como para el ecosistema), Ecotoxicidad aguda del agua, Acidificación, Toxicidad humana del agua, etc.

6 DISCUSIÓN

En este trabajo se recopilaron un gran número de datos, los cuales fueron seleccionados en función principalmente de la fuente y fidelidad que presentaban. En los casos que no se contó con datos aceptables, se asumió la importancia que tendrían dentro de los resultados una mala elección u omisión de estos. De acuerdo a ello se realizó el ACV que se presentó en este trabajo.
En la evaluación de los resultados, se seleccionó la caracterización por ser un elemento obligatorio dentro de la fase de análisis de impactos, además se incluyó la normalización para facilitar en análisis de los impactos al homogeneizar las unidades para cada categoría.

7 CONCLUSIONES

La fase de manufactura de la turbina es una etapa de mucha importancia debido a que se consideran los procesos de extracción de materiales, la energía involucrada en cada operación y la fabricación de las diferentes piezas del aerogenerador. Este análisis consideró sólo las etapas de fabricación y montaje del aerogenerador. En una etapa posterior se considerarán las otras fases del ciclo de vida de la generación de energía eólica, lo que se verá reflejado en los resultados y permitirá un análisis completo del sistema.

AGRADECIMIENTO

Este artículo fue realizado mediante un subsidio de la Fundación YPF.

REFERENCIAS

[1] Consejo Mundial de Energía Eólica (GWE) & Greenpeace, Perspectivas Globales de la Energía Eólica 2006.
[2] Office of Industrial Technologies, US Department of Energy. By Princenton Energy Resources International, LLC. Dan Ancona and Jim Mc Veigh, Wind Turbine – Materials and Manufacturing Fact Sheet.
[3] Gerente Técnico: Pedro Ceragioli. www.scpl.coop.com.ar
[4] Capítulo 3 Metodología del Análisis del Ciclo de Vida 100039//04CAPITOL3.pdf, www.tesisenxarxa.net/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-0420104.
[5] European Environment Agency, Life Cycle Assessment – A guide to approaches, experiences and information sources.
[6] Pré-consultants. Netherlands. www.pre.nl
[7] Wenzel et al, EDIP-96 method(Environmental Design of Industrial Products), 1997.

ABSTRACT

The aim of this work is to know the environmental impacts related to the life cycle of the wind turbine G47 – 660 kW. This turbine belongs to a group of 16 turbines which were sited, (during the 2nd extension), in the wind farm "Antonio Morán" in Chubut, Argentina. Although wind energy has a lot of aspects which have been evaluated as environmentally friendly. In order to determinate a whole assessment is necessary to consider the impacts connected with other phases of the life cycle of the turbine. It means impacts related to the extraction of the raw materials, turbine manufacture and decommission phase. This part of our study will only consider the impacts connected with the phase of materials extraction turbine manufacture and its erection. The methodology used is the Life Cycle Analysis, which allows to identify different categories of impact for each step of the whole life cycle of a turbine. In this LCA, it is used methodologies of potential impacts for the evaluation of the impact phase of the life cycle. It will continue up to methodologies for the specific region are developed. It should consider environmental conditions of the emission sites and of the receiving ecosystems of the polluting agents.

Key Words: wind turbine – LCA - environmental impacts

Calidad del aire en Mendoza

M. E. Barbeito & M. R. Clausen & F. Castro & G. Dragón & D. Pitrella & D. Torrado
mbarbei@uncu.edu.ar & mclau@uncu.edu.ar
Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo

RESUMEN: teniendo en cuenta que el deterioro de la calidad del aire es uno de los mayores problemas que conlleva el crecimiento de las grandes ciudades y que su principal causante son las emisiones de fuentes móviles, se comenzó con la medición de sustancias contaminantes en el centro de la ciudad de Mendoza. Se monitorearon durante el periodo comprendido entre julio del 2006 y marzo del 2007 los contaminantes llamados criterio, es decir, NOx, SO2, CO, HC y PM10. Las mediciones fueron realizadas por medio de una Unidad Móvil de Monitoreo, equipada con instrumentos automáticos. Para realizar el muestreo se eligieron dos puntos de la ciudad considerados hot spots, el Hospital Central y la intersección de las calles Sarmiento y Patricias Mendocinas. Las concentraciones de NOx y PM10 encontradas son las que generan mayor preocupación ya que superan los valores guía de la OMS y en algunos casos los valores límites legales para Mendoza. Se analiza la ocurrencia de dos episodios de Zonda durante los días monitoreados y su relación con el incremento en las concentraciones de PM10. Además, se estudia el patrón del ozono durante el día y su aparición de ozono durante la noche.

Palabras clave: Mendoza – ozono – NOx – PM10 – Zonda

1 INTRODUCCIÓN

En Mendoza, al igual que en la mayoría de los centros urbanos de Latinoamérica, los factores que presionan sobre la calidad del aire son: el gran crecimiento del parque automotor, su envejecimiento, la expansión de los centros urbanos, un transporte público ineficiente y la falta de control de las fuentes emisoras por parte de las autoridades locales. A estos se debe sumar una desfavorable situación meteorológica ya que el clima semidesértico de la ciudad y su localización al pie de la cordillera aportan pocas precipitaciones y vientos que favorezcan la renovación del aire.

Si bien los factores de presión son conocidos, se desconoce completamente el estado del aire que se respira en la ciudad ya que no se han realizado mediciones de contaminantes desde fines de los años 90.

Ante esta situación, se consideró de fundamental importancia conocer, aunque fuese de manera indicativa, la calidad del aire en la parte más comprometida de la ciudad, el llamado microcentro. Es en esa parte de la ciudad donde ejerce la mayor presión sobre la calidad del aire el tránsito vehicular, considerado como el principal responsable de la contaminación atmosférica en los ambientes urbanos.

El estudio se centró en la medición de los llamados contaminantes criterio, es decir, óxidos de nitrógeno (NOx) dióxido de azufre (SO2), monóxido de carbono (CO), hidrocarburos totales (HT), ozono (O3) y material particulado con diámetro aerodinámico menor a 10 μm (PM10).

2 METODOLOGÍA EMPLEADA

Las mediciones de los contaminantes criterio fueron realizadas por medio de una Unidad Móvil de Monitoreo de Calidad del Aire (UMM) equipada con instrumentos automáticos de medición para los contaminantes criterio.

La UMM está equipada con analizadores automáticos para determinar CO, NOx, SO2, HT, PM10 y O3. Además cuenta con un generador de aire cero, es decir aire libre de impurezas, un calibrador multigas y un generador de ozono. En la Tabla 1 se detallan algunas de las características de estos analizadores automáticos franceses marca Environnement.

Tabla 1. Analizadores incorporados en la UMM

Equipo	Modelo	Principio de Detección
PM_{10}	MP101M	Atenuación radiación β
SO_2	AF21M	Fluorescencia UV
NO_x	AC31M	Quimiluminiscencia
CO	CO11M	NDIR (non dispersive infrarred)
HT	HC15M	FID (flame ionization detection)
O_3	O341M	Absorción UV

2.1 *Sitios y periodo de monitoreo*

La primer actividad que se desarrolló fue la elección de los sitios de monitoreo respetando los objetivos del estudio y algunas limitaciones operativas (disponibilidad de energía, seguridad, etc).

El estudio se restringió entonces a la medición en puntos del centro de la ciudad considerados críticos (hot spots) por su elevada circulación vehicular. Así los sitios elegidos fueron:

- Esquina de Peatonal Sarmiento y Patricias Mendocinas (PyPM), ubicada en el centro comercial de la ciudad.
- Hospital Central (HC), ubicado en las inmediaciones de la estación de buses.

Las mediciones se realizaron en el periodo comprendido entre julio de 2006 y marzo de 2007. La duración total del monitoreo fue de 39 días repartidos entre ambos sitios en campañas de 3-7 días.

3 RESULTADOS

Los valores de PM10 para promedios de 24 horas y el valor promedio para todo el periodo para cada sitio se presentan en la Fig. 2. En la misma figura se pueden comparar estos valores con una de las metas interinas (IT2) propuestas por la OMS [1]. Se utilizaron estos límites ya que no existen valores límites locales para PM10 lo que denota la antigüedad de la legislación de Mendoza en la materia.

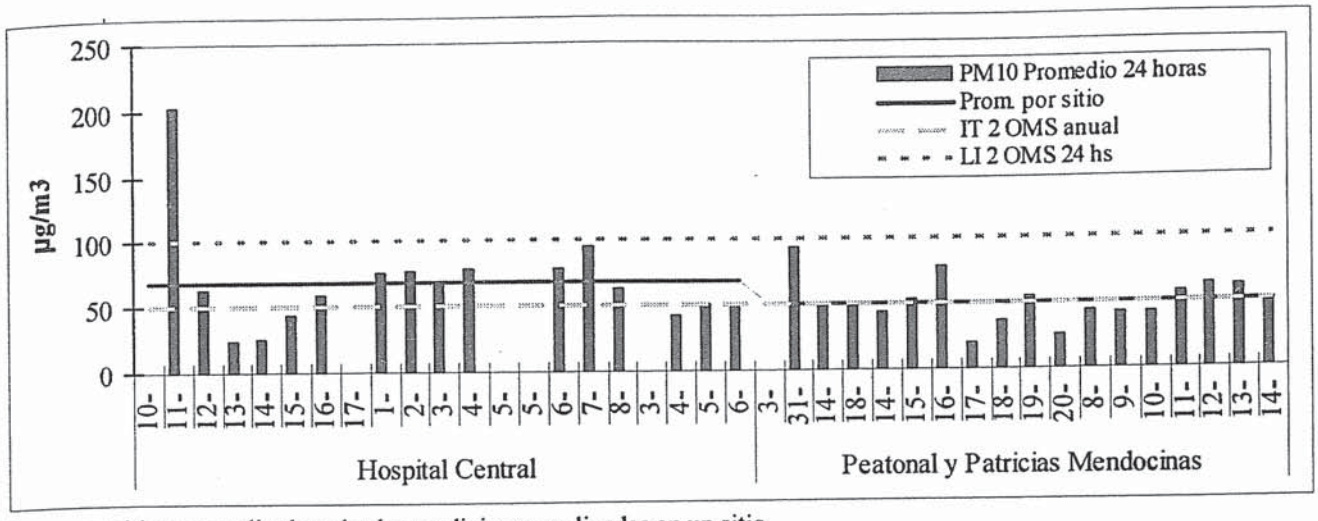
Se puede observar que en el sitio de HC se registraron valores más altos posiblemente debido a un mayor flujo de transporte de pasajeros que utiliza diesel como combustible y a que la mayor parte de las mediciones fue realizada en invierno. Si tomamos el promedio de las mediciones de cada sitio, 68 µg/m3 para HC y 51 µg/m3 para PyPM, como representativo del promedio anual podríamos decir que el valor IT2 sería superado en ambos sitios.

Especial atención merecen los días 11 julio y 16 de febrero ya que durante los mismos se registró viento Zonda (ver Fig. 2) que elevó las concentraciones de PM10 hasta niveles de aproximadamente 900 µg/m3 en el episodio de julio y de mas de 400 µg/m3 en el de febrero. El viento Zonda es un viento caliente y seco (observar descenso en la humedad relativa) que sopla en el occidente de la Argentina, a sotavento de la Cordillera de Los Andes, entre los 38 grados de latitud sur y el sur de Bolivia. Pertenece al grupo de los vientos que descienden desde la cresta de la montaña al valle o el llano. Es similar al föhen de los Alpes Europeos y al chinook de la Cordillera Rocallosa en Estados Unidos [2]. El viento Zonda en el llano arrastra gran cantidad de polvo y éstas son las primeras mediciones que existen de PM10 realizadas durante su ocurrencia.

Las concentraciones de NOx medidas superaron en reiteradas ocasiones tanto el valor límite establecido en la legislación de Mendoza para promedios de 24 horas como el establecido en la OMS para promedios de 1hora (ver Fig. 3). Se observó una notable diferencia en los valores medidos en ambos sitios que posiblemente responda a los distintos flujos vehiculares y la distinta composición de esos flujos en las inmediaciones de los sitios de monitoreo.

Los valores límites estipulados en la legislación de Mendoza para SO2, CO, HT y O3 no se superaron en ninguna de las mediciones realizadas. Tampoco se superaron los valores guía de la OMS para estos contaminantes.

El valor promedio encontrado de SO2 fue de 8 µg/m3. Este valor responde a los bajos contenidos de azufre de las naftas y combustibles diesel que se comercializan en Argentina (máximo de 1500 ppm para gasoil y 1500 para nafta).



Prom. por sitio: promedio de todas las mediciones realizadas en un sitio
IT 2 OMS anual: Límite interino 2 establecido por la OMS para un año – 50 µg/m3
IT 2 OMS 24 hs: Límite interino 2 establecido por la OMS para promedios de 24 horas - 100 µg/m3
Figura 1. Concentraciones de PM10 (µg/m3) para promedios de 24 horas

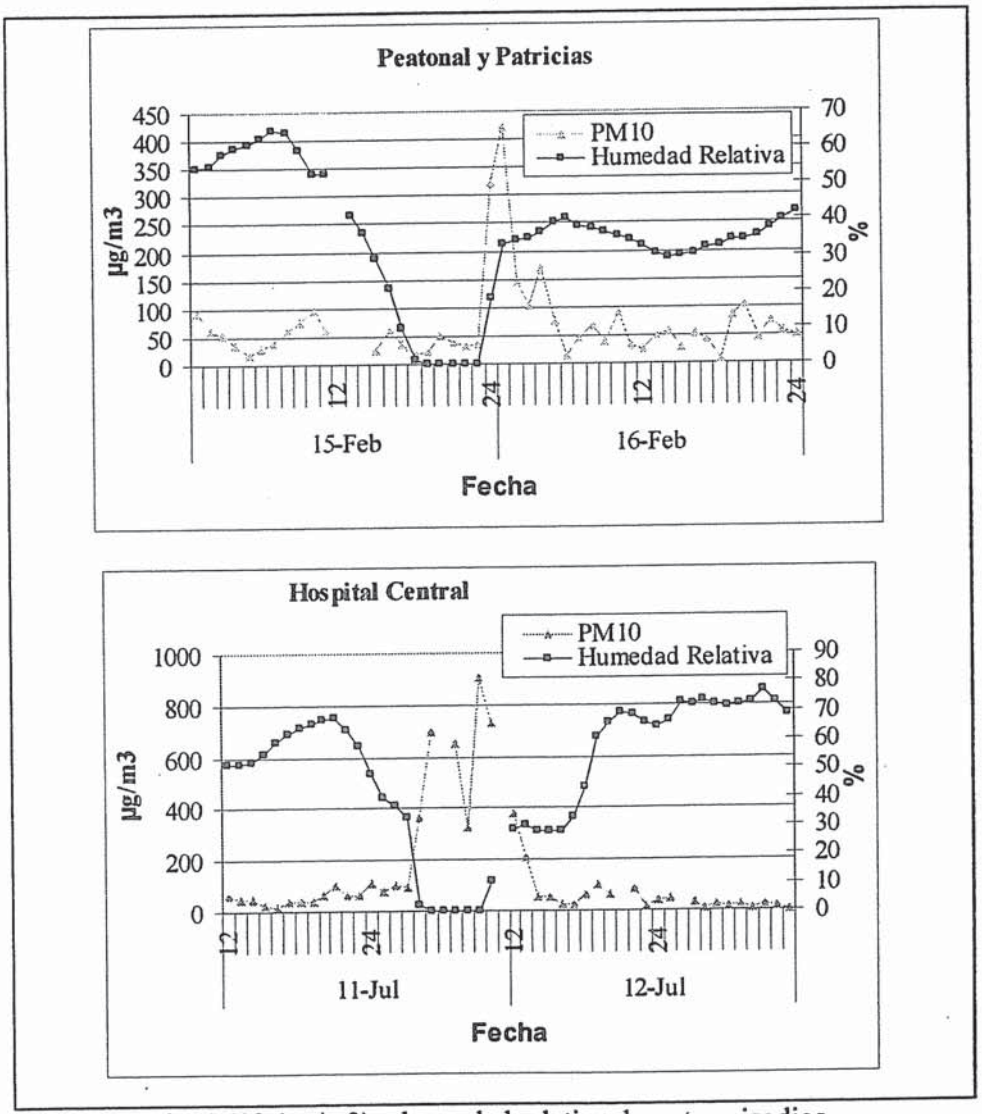
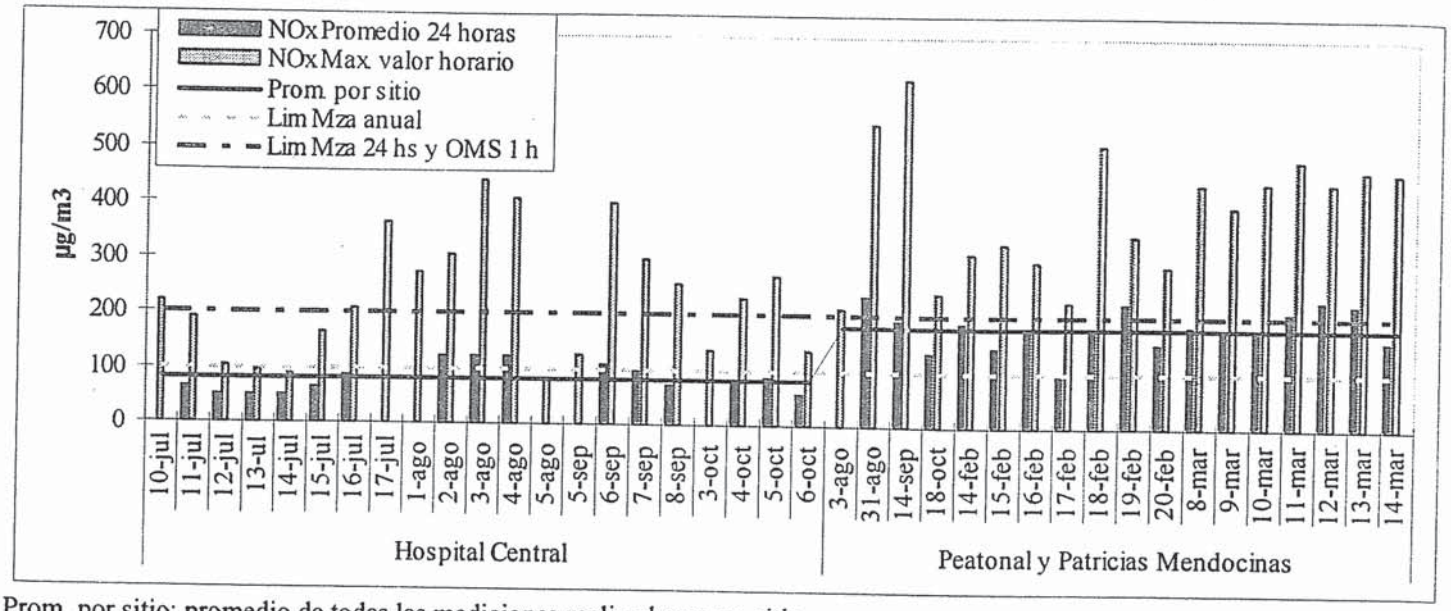


Figura 2. Concentraciones de PM10 (µg/m3) y humedad relativa durante episodios de viento Zonda



Prom. por sitio: promedio de todas las mediciones realizadas en un sitio
Lim Mza anual: Límite establecido en la legislación de Mendoza para un año – 100 µg/m3
Lim Mza 24 hs y OMS 1h: Límite establecido en la legislación de Mendoza para 24 horas y valor guía de la OMS para 1 hora – 200 µg/m3
Figura 3. Concentraciones de NOx para promedios de 24 y maximos horarios (µg/m3)

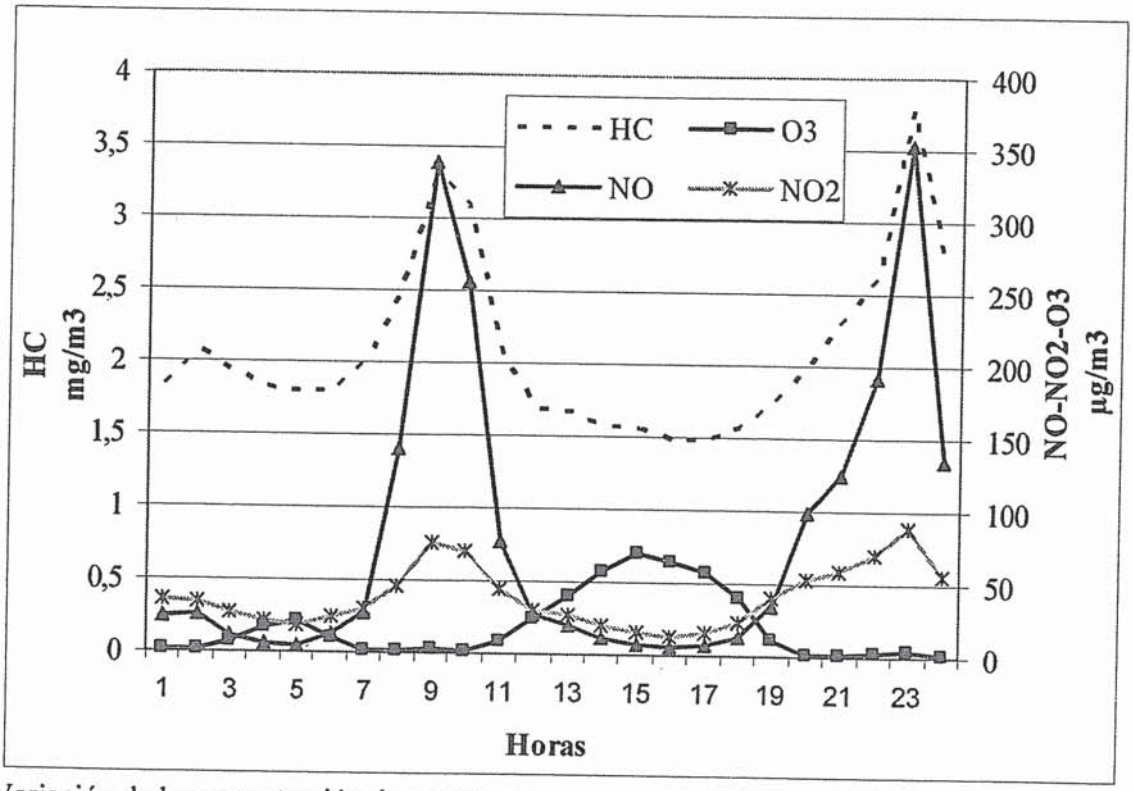


Figura 4. Variación de la concentración de ozono y sus precursores a lo largo del día 3 de agosto

En lo que respecta al ozono se observó una "anomalía" respecto a lo que debería ser su comportamiento típico a lo largo del día ya que durante las madrugadas (3-6 am) se produce un pico en su concentración (ver Figura 4).

La explicación de esta aparición parece encontrarse en la circulación valle-montaña. Durante el día los precursores del ozono son trasportados fuera de la ciudad hacia la montaña [3] y mientras esta mezcla viaja se produce O3 por las conocidas reacciones

fotoquímicas. Dado que en los suburbios montañosos los niveles de NOx son mucho menores a los de la ciudad, se mantienen niveles más altos de ozono y este no se destruye completamente durante la noche [4].
Así, durante la madrugada, el viento que baja de la montaña y que contiene mayores concentraciones de ozono produce la aparición de este en la ciudad. El ozono desaparece luego debido a la titulación producida por los NOx presentes en la ciudad, es decir el NO reacciona con el O3 para producir NO2 [4].

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los valores de contaminación encontrados no sorprenden y coinciden con los de otras ciudades latinoamericanas en crecimiento. Con especial cuidado deben observarse los valores de PM10 y NOx encontrados ya que ambos superan, y en algunos casos con creces, los valores guía recomendados por la OMS.
Los valores encontrados de SO2 son bajos respecto a los valores guía y limites legales. La explicación de esto se halla en que el contenido de azufre de los combustibles que para la Argentina es relativamente bajo (máximo de 1500 ppm para gasoil y de 500 ppm para naftas).
La presencia de monóxido de carbono e hidrocarburos es muy pequeña en comparación con los estándares de calidad de aire. De todas maneras habría que destacar que el uso de la medición de los hidrocarburos totales es solo a fines indicativos y que sería necesaria la medición individual de los mismos ya que cada hidrocarburo posee características particulares que afecta de distinta manera la calidad del aire y la salud. Así, seria muy beneficioso conocer las cantidades de COV ya entre ellos se encuentran algunas sustancias cancerígenas como el benceno y el formaldehído.
Se determinó, a través del análisis del comportamiento de las concentraciones de ozono y las de sus precursores, que la circulación valle-montaña de Mendoza es la responsable de la aparición de ozono en la madrugada.
Un punto aparte merecen las elevadas concentraciones de PM10 observadas durante los episodios de Zonda ya que si bien estas no se mantuvieron por mucho tiempo y no se han publicado efectos agudos para el PM10, en algunos estudios se ha encontrado correlación entre dust events (situaciones con elevados valores de polvo en atmósfera) y el incremento en la admisión en hospitales por diversas afecciones [5].
Este trabajo deja en evidencia la necesidad de comenzar en Mendoza con la medición continua de la contaminación atmosférica a través de una red de estaciones fijas ubicadas en distintos puntos de la ciudad. Aquí si, la UMM se tornaría de gran utilidad ya que sería el instrumento indispensable para obtener una mayor representatividad espacial del estado del aire.
Para la ciudad de Mendoza es claro que la principal fuente de contaminación del aire es el tránsito vehicular. Por lo tanto, las medidas orientadas a mejorar la calidad del aire deberán apuntar a disminuir sus emisiones.

REFERENCIAS

[1] WHO, WHO air quality guidelines global update 2005, WHO Regional Publications, Denmark, 2005.
[2] Norte, F. A., Características climatológicas del viento Zonda en la región de Cuyo. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires, 1998.
[3] Schlink, U., Herbarth, O., Richter, M., Rhewagen, M., 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.
[4] Sang-Mi, L., et al, Transport and Diffusion of Ozone in the Nocturnal and Morning Planetary Boundary Layer of the Phoenix Valley, Environmental Fluid Mechanics 3: 331–362 2003.
[5] Yang, C., et al, Effects of Asian dust storm events on daily stroke admissions in Taipei, Taiwan, Environmental Research 99, 79–84.P, 2005.
[6] Puliafito, S., et al, Characterization of urban air quality using GIS as a management system, Environmental Pollution 122, 105–117, 2003.

ABSTRACT

Considering that the air quality damage is one of the biggest problems involved in the growth of big cities and that the mayor contributors to this situation are mobile sources, the monitoring of air pollutants in the Mendoza city center was started. Were monitored the air criteria pollutants (NOx, SO2, CO,

hydrocarbons and PM10) during the period between July 2006 and March 2007. The measures were performed with the aid of a Mobile Monitoring Unit equipped with automatic analyzers. Two points of the city considered as hot spots were selected to do the monitoring, the Central Hospital and the Sarmiento y Patricias Mendocinas road intersection. The concentrations of NOx and PM10 founded are the ones that generate the greatest concern due to their high values. These values in some cases are greater than the WHO guidelines and the Mendoza legal limits. Two episodes of Zonda wind occurred and their relation with the increment of PM10 are presented. In addition the pattern of ozone during the day and its appearance during the night are presented.

Key Words: Mendoza – ozone – PM10 – NOx - Zonda

Benceno en la ciudad de Mendoza: un primer intento de evaluación de riesgo

F. Castro & M.E. Barbeito & M.R. Clausen
ferhcastro@yahoo.com.ar & mbarbei@uncu.edu.ar
Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo

RESUMEN: Un estudio realizado entre el 2003 y 2004 reveló la presencia de concentraciones relativamente elevadas de benceno en el aire de la ciudad de Mendoza. Esto motivó la realización de una evaluación de riesgo para determinar, aunque fuese de manera aproximada, en que medida el benceno afecta la salud de la población de la ciudad. La metodología para efectuar la evaluación de riesgo se basó en cuatro pasos sucesivos. Para el desarrollo de los dos primeros pasos, la identificación del riesgo y la evaluación dosis-respuesta, se recurrió a fuentes bibliográficas. El tercer paso, la evaluación de la exposición, se basó en la medición del benceno en algunos puntos de la ciudad, en la extrapolación de estos resultados a otros ambientes de exposición (interior, transporte) y en supuestos de los patrones de actividad de la población. En la caracterización del riesgo, el último paso, se integraron los resultados de las etapas anteriores para cuantificar el riesgo. Las concentraciones de benceno medidas presentaron una media geométrica de 4,5 $\mu g\ m^{-3}$. El riesgo poblacional calculado para los habitantes de la ciudad varía en el rango de 1,58 a 5,62 casos de leucemia atribuibles a la exposición al benceno.

Palabras clave: benceno – Mendoza – aire – riesgo – cáncer

1 INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica de los centros urbanos es un problema que afecta a la mayoría de las ciudades alrededor del mundo. La ciudad de Mendoza no escapa a esta realidad. Su creciente, envejecido y poco controlado parque automotor es la principal fuente de emisiones contaminantes. En años pasados, las autoridades locales (Dirección de Saneamiento y Control Ambiental) y diversos organismos, como el desaparecido Instituto para el Estudio del Medio Ambiente de la Universidad de Mendoza, realizaron estudios para determinar la calidad del aire en Mendoza [1]. Estos estudios estuvieron siempre centrados en los contaminantes denominados criterio, es decir O3, SO2, NOx, CO y Material Particulado para los cuales existen limites de ley establecidos en el Decreto Provincial 2404/89 que regula la Ley 5100 de Preservación del Recurso Aire.

Durante los años 2003 y 2004 el Laboratorio de Análisis Instrumental de la Facultad de Ingeniería, consciente de esta situación, decidió realizar un estudio para determinar la concentración de algunos contaminantes no criterio presentes en el centro de la ciudad, entre ellos el benceno, un conocido cancerígeno. Los resultados de este estudio mostraron que las concentraciones de benceno eran elevadas, con promedio de entre 30-53 µg/m3 [2].

Observando los valores obtenidos en ese estudio y sabiendo que no existen en la legislación argentina, ni mendocina, límites para esta sustancia, se formularon las siguientes preguntas: representa esta

sustancia un riesgo para la población de la ciudad? es dicho riesgo aceptable?

Para responder a estas preguntas, se consideró necesario realizar la evaluación del riesgo (risk assessment) que representa el benceno para la salud humana en la ciudad de Mendoza. Este tipo de evaluaciones son realizadas por gran cantidad de agencias de protección ambiental del mundo como soporte para la toma de decisiones y como base para la fijación de límites de protección ambientales.

Para realizar esta tarea se utilizó el reconocido paradigma de la National Academy of Science para evaluaciones de riesgo. Este paradigma divide la evaluación de riesgo en cuatro distintos pasos:

- Identificación del peligro
- Evaluación dosis-respuesta
- Evaluación de la exposición
- Caracterización del riesgo:

Es válido aclarar que la evaluación de riesgo realizada aquí pretende ser solo el primer paso de lo que debería ser un trabajo iterativo de mejora continua. Por este motivo, se ha intentado especificar en detalle cada una de las suposiciones hechas y de especificar las incertidumbres en la información utilizada.

2 EVALUACIÓN DEL RIESGO

2.1 *Identificación del peligro*

En esta etapa se intenta responder a la siguiente pregunta: es el benceno peligroso para la salud humana?

En este trabajo se recurrió directamente a organismos que han realizado ya una evaluación de gran cantidad de estudios [3,4 y 5] acerca de la toxicidad del benceno y han establecido los peligros que presenta para la salud humana.

Para una mejor descripción de los efectos crónicos del benceno en la salud humana, los mismos se dividen en dos categorías, cancerígenos y no cancerígenos. A continuación se presenta un resumen para cada una de estas categorías.

2.1.1 Efectos no cancerígenos

La exposición al benceno resulta en efectos adversos no cancerígenos por todas las rutas de administración en estudios de especies animales. La hematotoxicidad ha sido consistentemente reportada como el indicador de toxicidad más sensible en estudios de humanos y de animales experimentales, con la médula ósea como principal órgano afectado.

2.1.2 Efectos cancerígenos

En las clasificaciones de cancerígenos, basadas en la evaluación de la evidencia de los estudios disponibles en humanos y animales, el benceno ha sido clasificado como cancerígeno para el hombre por todas las rutas de exposición (sustancia Clase 1 para la IARC y sustancia Clase A para la EPA).

Los estudios epidemiológicos de cohorte en trabajadores altamente expuestos han demostrado que la exposición al benceno puede causar leucemia no linfocítica aguda y otros desordenes en la sangre como la preleucemia y la anemia aplástica. Es también probable que la exposición esté asociada a un mayor riesgo de leucemia linfocítica crónica y posible mieloma múltiple, aunque la evidencia para esta última haya disminuido con estudios recientes.

En especies animales experimentales, se ha observado que la exposición a benceno (por vía oral y respiratoria) causa cáncer en múltiples órganos como hígado, pulmón, ovarios y glándulas mamarias [3].

2.2 *Evaluación de la relación dosis-respuesta*

El benceno, presenta tanto efectos con umbral como la hematotoxicidad, como efectos sin umbral como la leucemia y por lo tanto las relaciones dosis-respuesta serán tratadas de manera separada para cada tipo de efecto.

El resultado de esta evaluación es la identificación de la dosis o concentración que recibida a diario no presente un riesgo para la salud humana (en caso de sustancias con umbral), o bien, que represente un nivel definido de riesgo de cáncer (en caso de sustancias cancerígenas sin umbral).

Al igual que en la etapa anterior, aquí se recurrió directamente a organismos que han evaluado y caracterizado la relación dosis-respuesta.

2.2.1 Dosis-respuesta para efectos no cancerígenos

Aunque existe un gran número de estudios epidemiológicos y en animales para evaluar los efectos no cancerígenos del benceno, hay solo unos pocos reportes con datos humanos que poseen estimaciones suficientemente confiables de la exposición al benceno. Muchos de los estudios epidemiológicos son complicados debido a la exposición a otros solventes, y algunos de los estudios a largo plazo en animales han empleado

niveles de exposición que eran demasiado altos para establecer valores NOAEL (No Observed Adverse Effect Level) confiables.
A partir de un estudio epidemiológico realizado en trabajadores chinos expuestos a benceno se ha derivado una RfC (concentración de referencia) para inhalación crónica de 3×10^{-2} mg m^{-3} [4]

2.2.2 Dosis-respuesta para efectos cancerígenos

Existen diferentes valores de unidad de riesgo (UR)[1] obtenidos a partir de los datos del estudio de los trabajadores de Pliofilm. Esta dispersión se debe en gran medida a la diferencia en las estimaciones de exposición y al modelo de extrapolación utilizados para estimar el riesgo a dosis ambientales. Así, el valor de UR que utiliza la WHO es de 6×10^{-6} y el que utiliza la EPA varía en el rango de $2{,}2 \times 10^{-6}$ a $7{,}8 \times 10^{-6}$[3 y 4].

2.3 *Evaluación de la exposición*

La exposición es el contacto del agente químico presente en el ambiente con los límites exteriores del organismo. La concentración del químico en el punto de contacto se conoce como concentración de exposición.
La evaluación de la exposición consiste en determinar el patrón local de magnitud, frecuencia, duración y vía por la cual ocurre la exposición. Para hacer esto existen distintos enfoques, aquí se ha utilizado la llamada evaluación de escenario, es decir, la exposición se estima evaluando separadamente la concentración de exposición y el tiempo de contacto.
Para caracterizar la concentración de exposición se han utilizado mediciones pero su costo y algunas limitaciones técnicas hicieron imposible extenderlas a toda la ciudad.
En la caracterización del tiempo de contacto se debe determinar quien está expuesto y desarrollar estimaciones de la frecuencia y duración de la exposición. Esto se ha realizado a partir de datos demográficos y, debido a la ausencia de información más exacta, a partir de presupuestos acerca del comportamiento de la población.
En este trabajo se limitó la evaluación de la exposición a la ciudad de Mendoza (departamento Capital) y a la población que en ella habita. Se limitó además a la exposición por inhalación ya que se considera que la vía oral representa una fuente menor de exposición.
A continuación se detallan los pasos seguidos para evaluar la exposición.

2.3.1 Determinación de la ruta de exposición

La exposición al benceno se atribuye principalmente a tres fuentes: exterior (E) o aire ambiente, interior (I), cigarrillo y transporte. Todas estas son fuentes de exposición por inhalación. La exposición por ingestión de agua y comida no es considerada ya que se estima que contribuye solo en un 1% a la cantidad total de benceno absorbida por una persona [6].
En el aire ambiente la principal fuente de emisión es el tránsito vehicular. En el interior de hogares sin fumadores es el aire exterior la principal fuente de benceno [7 y 8]. En diversos estudios se ha observado que la tasa I/E de concentraciones de benceno es mayor a 1 y que varia un rango de 1-2 [7, 8, 9 y 10].
El humo de cigarrillo es la principal fuente de exposición en fumadores y es significativa también en el caso de fumadores pasivos. Algunos estudios revelan que la cantidad de benceno en un cigarrillo varía entre 40-50 µg por lo que un fumador puede inhalar hasta 1000 µg de benceno por día [6 y9]. La presencia de fumadores en interiores aumenta el nivel normal de benceno de un 30-50 % [9].
A pesar de que la gente pasa relativamente poco tiempo viajando, pueden sufrir grandes exposiciones en ese periodo. Los principales factores que contribuyen a esto son, el hecho de que los microambientes del transporte (interior de automóvil o transporte de pasajeros) suelen estar más contaminados y que la mayoría de los viajes son hechos durante horas pico, cuando el tránsito vehicular es mayor y produce niveles más altos de contaminación. Las comparaciones entre concentraciones de benceno en el interior de los vehículos y el exterior han mostrado que las primeras son entre 5 y 8 veces mayores [10].
En este trabajo se ha determinado experimentalmente solo la concentración en el aire ambiente (exterior) y luego se ha extrapolado a otros ambientes a partir de factores extraídos de bibliografía. Si bien este enfoque no es el más preciso, ya que en la extrapolación se agrega una enorme incertidumbre a las estimaciones, se cree útil a los fines de tener una primera aproximación del riesgo que representa el benceno para la población que habita en la ciudad.

[1] UR: riesgo de desarrollar cáncer, que se presenta en individuos continuamente expuestos durante toda la vida a una concentración de 1 µg m^{-3}.

2.3.2 Determinación de la concentración ambiental

Siendo la concentración de benceno en la ciudad el dato más relevante para determinar la exposición se efectuó su medición siguiendo la metodología que se detalla a continuación.

2.3.2.1 Metodología de muestreo y análisis

El método para la determinación del benceno consiste en el muestreo por aspiración del aire ambiente a través de un cartucho adsorbente de carbón activado. Luego, los componentes fijados en el carbón activado son desorbidos utilizando disulfuro de carbono (CS2). El resultado de la extracción es analizado por medio de un cromatógrafo de gases con detector selectivo de masas (GC/MS).

Los parámetros de muestreo y análisis fueron tomados del Método 1501 de la NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health). Los únicos parámetros que no se respetaron de este método fueron el tiempo y el volumen de muestreo. El motivo es que, al ser este un método de higiene laboral y estar prevista su utilización en lugares con concentraciones mas elevadas que las ambiente, la duración de muestreo estipulada es de solo unas horas y el volumen máximo a muestrear es muy bajo. Por lo tanto, se realizó una prueba para saber si los cartuchos adsorbentes podían se usados durante un mayor tiempo y muestreando un mayor volumen de aire. La prueba consistió en muestrear aire durante 24 horas en el centro de la ciudad, realizar el análisis por separado de las 2 secciones que componen el cartucho adsorbente y comprobar si se verificaba la siguiente condición:

$$W_2 < W_2/10$$

Donde W_2 y W_1 son las masas de benceno encontradas en la sección menor y en la sección mayor del cartucho respectivamente. Esta condición se verificó por lo que los muestreos fueron realizados durante 24 horas y extrayendo aproximadamente 300 litros de aire por muestra. La tasa de muestreo fue de aproximadamente 0,2 litros/min.

A continuación se da un detalle de los instrumentos utilizados en el análisis:

- Cromatógrafo de gases: Perkin Elmer Clarus 500 con detector de espectrometría de masa
- Columna: HP 5 de 30 m x 0,53 mm y 0,88 µm de fase estacionaria.
- Inyector: Perkin Elmer automático. Volumen de inyección 1 µl.

2.3.2.2 Distribución temporal y espacial de las muestras

La elección de los sitios y la frecuencia de monitoreo se ajusto a limitaciones tanto técnicas como económicas. El estudio se restringió a la medición en puntos del centro de la ciudad considerados críticos (hot spots). La criticidad de estos puntos está estrechamente relacionada al tráfico automotor particular y de pasajeros. Los sitios elegidos para el monitoreo fueron:

- Esquina de Sarmiento y Patricias Mendocinas
- Hospital Central
- Esquina de Belgrano y Colón

Los muestreos se distribuyeron a lo largo del año entre los distintos sitios de monitoreo y la duración de cada uno fue de entre 1-5 días.

Esto permitió conocer de manera aproximada la concentración del benceno en estos puntos pero cabe aclarar que dada la baja frecuencia de los muestreos los resultados obtenidos tienen solo carácter indicativo y que las conclusiones extraídas de ellos deben tener en cuenta esta limitación. Además, se debe considerar la baja resolución espacial del muestreo ya que solo fueron monitoreados 3 puntos, por lo que afirmar que las concentraciones son las mismas para el resto de la ciudad es una suposición solo válida a los fines de este trabajo que, como ya se aclaró, pretende ser solo una primera aproximación a la estimación del riesgo.

2.3.2.3 Resultados

En total se tomaron 42 muestras distribuidas en el intervalo comprendido entre julio 2006 y marzo del 2007. De estas muestras se descartaron 10 correspondientes a los meses de setiembre y octubre debido a una posible contaminación con BTX del solvente utilizado para la extracción. De las restantes 32 se presentan los resultados en la Tabla 1.

Tabla 1. Concentraciones de benceno para el periodo julio 2006-marzo 2007

Parámetro	Valor $\mu g/m^{-3}$
Media geométrica	4,51
Máximo	18,74
Percentil 90	10,49

Dado que las concentraciones se hallan distribuidas aproximadamente de manera log-normal, la media geométrica es un mejor indicador de un punto medio de la distribución que la media aritmética (ver Fig. 1).

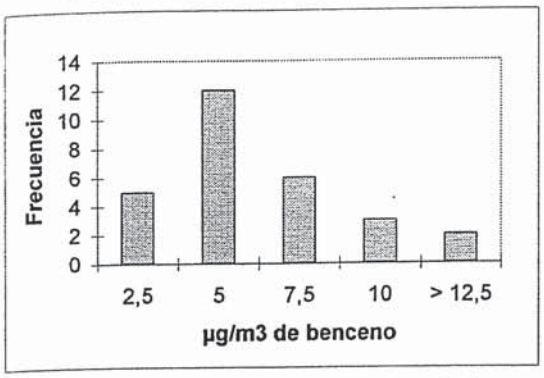


Figura 1. Distribución de los resultados de benceno

2.3.2.4 Determinación de la población expuesta y grupos de riesgo

Como ya se mencionara anteriormente, en este trabajo se evaluó la exposición de la población que habita en la ciudad de Mendoza, es decir, en su departamento Capital.

Se consideró a los fumadores como grupo de alto riesgo. Se sabe, que además de los fumadores, constituyen grupos de alto riesgo la gente cuyo trabajo los obliga a permanecer cerca de calles muy transitadas (policía municipal, taxistas, etc) y quienes se encuentran en la vecindad de estaciones de servicio.

2.3.2.5 Identificación de patrones de actividad de la población

En este trabajo no se han realizado estudios para determinar los principales hábitos y factores de contacto que la población tiene con respecto de cada uno de los ambientes de exposición. Por ello se han tomado factores por defecto extraídos de bibliografía. En la tabla siguiente se presentan los datos considerados sobre la distribución promedio del tiempo diario (Tabla 2) de un habitante urbano.

Tabla 2. Tiempo medio transcurrido en distintos ambientes para una persona promedio mayor de 12 años [11]

Ambiente	Duración media min/día
Interior	1255
Exterior	86
En vehículo	96

2.3.2.6 Determinación de la concentración de exposición

Cabe aclarar que en este trabajo no se estimó la exposición como la dosis en µg kg^{-1} $día^{-1}$ ya que tanto las relaciones de dosis-respuesta para efectos cancerígenos como no cancerígenos están dadas en función de la concentración de exposición.

La concentración de exposición se determinó calculando la media ponderada de la concentración para cada ambiente de exposición por el tiempo que un individuo promedio estuvo en cada uno de esos ambientes (ver Ec.1).

$$C_{exp} = \frac{C_I \cdot t_I + C_E \cdot t_E + C_T \cdot t_T}{T} \quad (1)$$

Donde:

C_{exp}: es la concentración de exposición en µg/m^{-3}

C_I: es la concentración en interiores en µg/m^{-3}

C_E: es la concentración en exteriores en µg/m^{-3}

C_T: es la concentración en viajes en µg/m^{-3}

t_I: es el tiempo de exposición en exteriores

t_E: es el tiempo de exposición en interiores

t_T: es el tiempo de exposición en viajes

T: tiempo total de exposición

Las concentraciones de exposición en los distintos ambientes de exposición se calcularon a partir de la concentración media medida en el centro de la ciudad. Los factores que se tomaron para la conversión y el valor de concentración obtenido se presentan en la Tabla 3.

Para los tiempos de exposición en cada uno de los ambientes se tomaron valores extraídos de bibliografía (ver Tabla 2).

Utilizando la Ec. (2) se obtuvo una concentración de exposición para un individuo promedio (C_{exp}) que habite en la ciudad de Mendoza de 6,49 µg m^{-3}.

Tabla 3. Factores de conversión y concentraciones para ambientes de exposición

Ambiente de exposición	Factor	Concentración µg/m^{-3}
Interior	1,2 [7]	5,41
Exterior	1	4,51
Transporte	5 [10]	22,55

Se consideró además la concentración de exposición para el caso de un fumador, por lo que al cálculo anterior se sumó la exposición debida al humo del cigarrillo [9] de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$D_{cig} = B_{cig} \cdot N \cdot R = 250\ \mu g\ dia^{-1} \quad (2)$$

Donde:

D_{cig}: dosis individual de benceno ingresada en el organismo en µg $día^{-1}$. 50 µg cig^{-1} [9]

B_{cig}: dosis de benceno por cigarrillo

N: número diario promedio de cigarrillos consumidos. Se consideran 10 cig $día^{-1}$

R: tasa de absorción del benceno. Igual a 0,5

La dosis individual se convirtió entonces en una concentración de exposición equivalente utilizando la Ec. (3).

$$C_{eq} = \frac{D_{cig}}{V \cdot R} = 21{,}9\ \mu g\ m^{-3} \quad (3)$$

Donde:

V: volumen de aire diario que una persona aspira normalmente. Se consideró de 22,8 m^3 $día^{-1}$

Por lo tanto, la concentración de exposición total para fumadores (C_{fum}) se obtuvo como la suma de C_{eq} y C_{exp} y arrojo como resultado 28,39 $\mu g\ m^{-3}$.

Para tener en cuenta a grupos de mayor riesgo (ej. gente cercana a calles con mucho tráfico) se realizaron los cálculos de la concentración de exposición (C_{90}) teniendo en cuenta la concentración correspondiente al percentil 90 de las concentraciones medidas y se obtuvo una concentración de exposición de 13,1 $\mu g\ m^{-3}$ como resultado.

2.4 *Caracterización del riesgo*

En esta etapa se integran los resultados de las tres fases previas. La caracterización del riesgo tiene como objetivo determinar cuantitativamente el exceso de riesgo en humanos atribuibles a la exposición de aire contaminado con benceno.

La caracterización del riesgo se realizó de manera distinta para los efectos cancerígenos y no cancerígenos.

2.4.1 Efectos no cancerígenos

La caracterización del riesgo para los efectos no cancerígenos del benceno se realizó utilizando el *Índice de peligro* (IP). Este índice compara la concentración de benceno medida localmente con el valor de RfC que tiene la sustancia (ver Ec. 4).

$$IP = \frac{C_{exp}}{RfC} \quad (4)$$

El IP denota seguridad en las condiciones locales de exposición cuando resulta en un valor de uno o menor que uno, es decir, cuando se está por debajo de la concentración establecida como límite seguro. Si el valor crece por encima de uno significa que aumenta la posibilidad de que aparezcan afectos adversos en la población. En la Tabla 4 se presentan los resultados del IP calculado para los efectos hematotóxicos del benceno por inhalación para los grupos considerados.

Tabla 4. Índices de peligro calculados

Grupo	IP
Individuo promedio	0,216
Fumador	0,946
Grupo alto riesgo	0,437

2.4.2 Efectos cancerígenos

Para estimar el riesgo de cáncer del benceno se utilizó su valor de Unidad de Riesgo (UR). Si recordamos su definición UR es el "riesgo de desarrollar cáncer, que se presenta en individuos continuamente expuestos durante toda la vida a una concentración de 1 $\mu g\ m^{-3}$". Vemos entonces que este valor está relacionado con la concentración del contaminante. Por lo tanto, el riesgo individual (RI) de contraer leucemia por exposición al benceno por inhalación se estimó para la población y los grupos de riesgo por medio de la siguiente ecuación:

$$RI = UR \cdot C \quad (5)$$

En la estimación se utilizaron el rango de UR propuesto por EPA y la UR propuesta por la WHO. En la Tabla 5 se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 5. Resumen del riesgo individual para cada grupo considerado

Grupo	Conc. exposición $\mu g/m^{-3}$	UR	Riesgo individual
Población	6,49	$2{,}2 \times 10^{-6}$	$1{,}43 \times 10^{-5}$
		$7{,}8 \times 10^{-6}$	$5{,}06 \times 10^{-5}$
		6×10^{-6}	$3{,}89 \times 10^{-5}$
Fumadores	28,39	$2{,}2 \times 10^{-6}$	$6{,}25 \times 10^{-5}$
		$7{,}8 \times 10^{-6}$	$2{,}21 \times 10^{-4}$
		6×10^{-6}	$1{,}70 \times 10^{-4}$
Grupo alto riesgo(P90)	13,1	$2{,}2 \times 10^{-6}$	$2{,}88 \times 10^{-5}$
		$7{,}8 \times 10^{-6}$	$1{,}02 \times 10^{-4}$
		6×10^{-6}	$7{,}86 \times 10^{-5}$

Si se multiplica el valor de riesgo individual por la población expuesta bajo estudio (P) se obtiene el riesgo poblacional (RP) (ver Ec. 7).

$$RP = RI_{exp} \cdot P \quad (6)$$

En la Tabla 6 se presenta la estimación del RP para los habitantes de la ciudad de Mendoza de contraer leucemia por exposición al benceno por vía respiratoria.

Este valor de riesgo poblacional representa un escenario hipotético que debe interpretarse como el número de casos de leucemia que aparecería en la población en el supuesto de que todos estuvieran

permanentemente expuestos de por vida a una concentración de exposición de benceno de 6,49 $\mu g/m^{-3}$.

Tabla 6. Estimación del riesgo para la población de la ciudad de Mendoza

Población	RI	RP
110.993 (s/Censo 2001)	$1,43 \times 10^{-5}$	1,58
	$5,06 \times 10^{-5}$	5,62
	$3,89 \times 10^{-5}$	4,32

Este resultado es práctico para quienes toman decisiones en cuanto al manejo y solución de los problemas locales de contaminación ya que el dato da una idea objetiva acerca de la magnitud actual del riesgo y que podría ser real si las condiciones del escenario representado se mantuvieran estables por mucho tiempo.

3 CONCLUSIONES

En diversos estudios se ha establecido que el benceno es una sustancia tóxica para el hombre. Puede producir tanto efectos tóxicos con umbral, como la hemotoxicidad como efectos sin umbral como la leucemia. Se ha determinado también que la principal vía de exposición es la inhalación y que las fuentes de exposición son el aire ambiente, el aire en interiores, el cigarrillo y el aire en microambientes de transporte.

Las concentraciones encontradas, con una media de aproximadamente 4,5 $\mu g\ m^{-3}$ presentaron una gran diferencia respecto a las encontradas en el 2003-2004, con media de aproximadamente 40 $\mu g\ m^{-3}$. Esta diferencia se debe a dos motivos, el primero es la disminución del contenido de benceno en las naftas a la mitad a partir de enero del 2006 cuando se pasó de un límite legal máximo del 3% en volumen a 1,5% para todas las naftas. El otro motivo, es la diferencia en el muestreo utilizado ya que el estudio anterior se muestreaba solo durante una hora y en los picos de tránsito y en este estudio se ha muestreado durante 24 horas.

Los resultados han mostrado que la mayor contribución a la exposición para los no fumadores son los ambientes cerrados debido al mayor tiempo de exposición. La exposición en viajes es mayor que la de exteriores debido a la mayor concentración que se tiene en el interior de los transportes. Para el caso de los fumadores la contribución del cigarrillo a la exposición es la más significativa (ver Fig. 3).

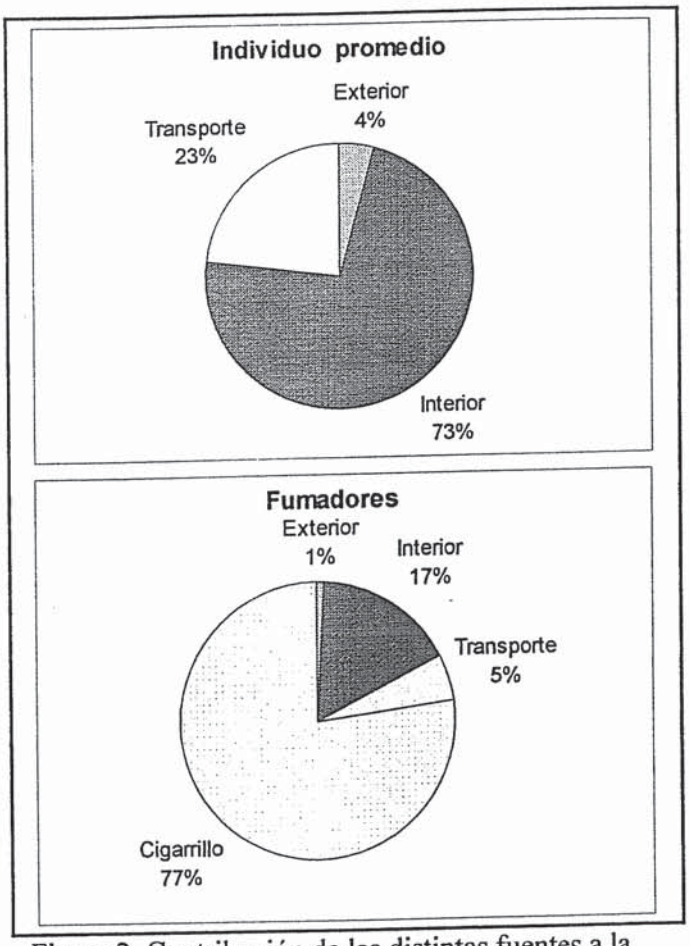


Figura 2. Contribución de las distintas fuentes a la exposición total

Los índices de peligro calculados, para estimar el riesgo de hematotoxicidad, a partir de las concentraciones de exposición son para todos los grupos menores a uno. Esto significa que los niveles de benceno en el aire no son peligrosos ya que se hallan por debajo de la concentración de referencia, es decir, se hallan por debajo de la concentración a la cual puede estar expuesto un individuo de por vida sin riesgo de que sufra un efecto hematotóxico. Solo para el caso de los fumadores, donde el IP es cercano a uno, existe cierto peligro ya que se ha considerado un consumo promedio de solo 10 cigarrillos por día, por lo que de aumentar el consumo, seguramente el IP sobrepasaría la unidad. Se debe considerar también que el humo del cigarrillo afecta a los fumadores pasivos, razón por la cual la concentración de exposición sería mayor y consecuentemente el IP para no fumadores.

El riesgo individual de contraer leucemia calculado, varía en un rango de 1,43 x 10-5 a 5,06 x 10-5 para un individuo promedio y es mayor para los otros dos grupos considerados ya que se hallan expuestos a mayores concentraciones. El riesgo poblacional varía entre 1,58 y 5,62, es decir, que para la

población de la ciudad, de aproximadamente 110.000 habitantes, continuamente expuesta de por vida a la actual concentración promedio de 4,51 μg m^{-3} se podrían atribuir a la exposición al benceno entre 1,58 y 5,62 casos adicionales de leucemia.

Aquí entra en juego la valoración de si el riesgo el mucho o poco. Esto tiene que ver en realidad con los márgenes de seguridad que la sociedad desee fijar, conscientes de que el riesgo nulo no existe. Es decir, la sociedad debe establecer cual es un riesgo aceptable. Además, a la hora de decidir cual es el riesgo aceptable y establecer límites y métodos de control se debe tener en cuenta no solo la evaluación del riesgo sino también factores económicos, sociales, políticos y las consecuencias de cada opción de regulación. La WHO considera como riesgo aceptable la aparición de un caso en un millón.

REFERENCIAS

[1] Puliafito, S., et al., Characterization of urban air quality using GIS as a management system. Environmental Pollution 122, 105–117, 2003.

[2] Barbeito, M.E. et al, Determinación del nivel de contaminación del aire en el microcentro de Mendoza con BTX, formaldehido y MTBE. XIX Jornadas de Investigación de la Secretaria de Ciencia, Técnica y Posgrado de la UNCuyo, Mendoza, 2004.

[3] US EPA, Carcinogenic Effects of Benzene: An Update, EPA/600/P-97/001F, Washington DC, 1998.

[4] US EPA, Toxicological review of benzene (non cancer effects), EPA/635/R-02/001F, Washington DC, 2002.

[5] WHO, Air quality guidelines for Europe, Second Edition, WHO Regional Publications, European Series, No. 91, 2000.

[6] Istituto Inquinamento Atmosferico, Council directive on ambient air quality assessment and management working group on benzene, Commission of European Communities, 1998, Roma, 1998.

[7] Skov, H.,Hansen, G., Andersen, H., Benzene exposure and the effect of traffic pollution in Copenhagen, Denmark, Atmospheric Environment 35 (2001) 2463-2471, 2001.

[8] Schenider, P., Gebefügi, K., Richter, G., Wölke, G., Indoor and outdoor BTX levels in German cities, The Science of the Total Enviironment, 26741-51, 2001.

[9] Carletti, R., Romano, D., Assessing health risk from benzene pollution in an urban area. Environmental Monitoring and Assessment 80: 135–148, 2002.

[10] WHO, Health effects of transport-related air pollution, WHO Regional Publications, Denmark, 2005.

[11] US EPA, Exposure factors handbook, EPA, Washington DC, 1997.

[12] US EPA, Guidelines for Carcinogen Risk Assessment, EPA/630/P-03/001F, Washington DC, 2005.

ABSTRACT

A study carried on during the years 2003 and 2004 reveal the presence of high concentrations of benzene in the Mendoza city center. This fact motivated the development of a first attempt health risk assessment for the city population exposed to benzene. The risk assessment methodology is based on four consecutive steps. For the first two, the hazard identification and the dose-response assessment, a bibliographic research was done. The third step, the exposure assessment, was based on the benzene measurement in the city center, in the extrapolation of these results to other exposure environments (interior, transport) and in the assumptions of population activity patterns. In the hazard characterization, the last step, the results of the previous steps were integrated to quantify the risk. The measured benzene concentrations presented a 4,5 μg m-3 geometric average. The calculated city population risk varies in a range of 1,58 to 5,62 leukemia cases attributable to benzene exposure.

Key Words: benzene - Mendoza – air – risk – cancer.

Índices y mapas de sensibilidad ambiental de San Rafael, 1ª parte: aspectos metodológicos

L. E. Najar; G. Zenobi;
lnajar@infovia.com.ar; gzenobi@fcai.uncu.edu.ar
Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria, Universidad Nacional de Cuyo

S. B. Prósperi; L. Ferraro; F. R. Tarántola; R. Martínez; D. M. Sobrino; T. Miguelo; P. P. Martelli; J. De Ondarra; A. B. Guajardo & C. Martelli
sprosper@fcai.uncu.edu.ar; lferraro@fcai.uncu.edu.ar; rmartine@fcai.uncu.edu.ar; dsobrino@fcai.uncu.edu.ar; tmiguelo@fcai.uncu.edu.ar; pmartell@fcai.uncu.edu.ar; jdeondar@fcai.uncu.edu.ar; aguajard@fcai.uncu.edu.ar & fcai@fcai.uncu.edu.ar
Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria, Universidad Nacional de Cuyo

RESUMEN : Las políticas basadas en el Desarrollo Sustentable son diseñadas tomando en cuenta un aprovechamiento racional de los recursos naturales para contribuir a un desarrollo económico con equidad y en armonía con el ambiente. La relación entre economía y medio ambiente es crucial para los países en vías de desarrollo. Desde el punto de vista del ambiente, las planificaciones de desarrollo no consideraban, hasta hace algunos años, estrategias en el uso de recursos naturales, los riesgos de contaminación al medio ambiente, las medidas mitigadoras y las posibles consecuencias en la salud y bienestar de la sociedad. Esta visión en la actualidad esta cambiando. En el departamento de San Rafael se advierte un nivel de crecimiento económico en actividades tradicionales como la agricultura e industrialización de productos que de ella deriven, como así también en otros aspectos como los turísticos y nuevas industrias. Se cuenta con estudios sobre el ordenamiento territorial que es necesario vincularlo con planificación de desarrollo. Actualmente, con el aporte del conocimiento interdisciplinario se ha realizado la línea de base que describe los entornos, se han elaborado herramientas que establecen medidas de prevención y control en el uso de los recursos como son los índices de sensibilidad ambiental y se plantea para el presente trabajo el cálculo de dichos índices para entornos específicos del Departamento. Una vez definidos estos, sus valores permitirán identificar áreas con características específicas que se volcaran en mapas ambientales en escalas que permitan visualizar con bases científicas, lineamientos para una planificación territorial sustentable.

Palabras clave: sensibilidad ambiental – desarrollo sustentable – planificación

1 INTRODUCCIÓN

Las políticas basadas en el Desarrollo Sustentable son diseñadas tomando en cuenta un aprovechamiento racional de los recursos naturales, para contribuir a un desarrollo económico con equidad y en armonía con el ambiente.

En San Rafael se ha definido, con el aporte del conocimiento interdisciplinario, la línea de base que describe los entornos. Se han elaborado herramientas que establecen medidas de prevención

y control en el uso de los recursos como son los índices de sensibilidad ambiental; se plantea para el presente trabajo el cálculo de dichos índices para entornos específicos del Departamento. Una vez definidos estos, sus valores permitirán identificar áreas con características específicas que se volcaran en mapas ambientales en escalas que permitan visualizar con bases científicas, lineamientos para una planificación territorial.

2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

2.1 *Estado actual de conocimientos sobre el tema*

La relación entre economía y medio ambiente es crucial para los países en vías de desarrollo. Desde el punto de vista del ambiente, las planificaciones de desarrollo no consideraban, hasta hace algunos años, estrategias en el uso de recursos naturales, los riesgos de contaminación al medio ambiente, las medidas mitigadoras y las posibles consecuencias en la salud y bienestar de la sociedad. Esta visión en la actualidad esta cambiando. Ref. [1]

Una solución respecto a los recursos naturales sería que fueran tratados como una forma de capital, y también sería importante dar cuenta del verdadero valor social de los servicios y bienes que están fuera del mercado.

En el departamento de San Rafael se advierte un nivel de crecimiento económico en actividades tradicionales como la agricultura e industrialización de productos que de ella deriven, como así también en otros aspectos como los turísticos y nuevas industrias.

Se cuenta con estudios sobre el ordenamiento territorial que es necesario vincularlo con planificación de desarrollo. De estudios ambientales realizados en la región se han recopilado datos de recursos bióticos y abióticos que definen la línea de base del Departamento.

Se ha realizado un análisis de la información ambiental y de metodologías y herramientas técnicas de evaluación (MGIA, informes de investigación, sistemas SIG, índices ambientales, geografía de redes, representaciones en grafos) que permiten tener una visión global de la calidad ambiental en diferentes entornos regionales. y desarrollo de este proyecto.

Se ha trabajado en la realización de mapas de sensibilidad ambiental para otras regiones de la provincia. Con los conocimientos actuales y con las herramientas de evaluación disponibles se desprende la necesidad de calcular índices ambientales y la elaboración de mapas ambientales por sectores. El departamento cuenta con una amplia extensión superficial, que establece entornos con características diferentes y especificas. Por lo que se trabajará en una escala apropiada para que los resultados logrados sean útiles en la elaboración de planes de desarrollo

2.2 *Inventario ambiental y diagnostico de base cero*

El uso actual de los terrenos radica principalmente en la explotación agrícola, los principales cultivos consisten en plantaciones de frutales, vid, hortalizas y forrajeras.

En los últimos años se ha realizado un vuelco hacia la producción ganadera, también se han establecido algunos emprendimientos de explotación porcina y avícola y en menor medida caprina.

Se han desarrollado emprendimientos mineros con distinto grado de envergadura, en especial no metalíferos y de rocas de aplicación.

Existe una gran cantidad de explotaciones del terreno destinadas a la fabricación de ladrillo (produciendo la consecuente degradación de la capa fértil de los terrenos).

San Rafael dispone de una superficie bajo riego es de 127.525 Ha.

El estudio del contenido ambiental abarca dos grandes aspectos. Una parte descriptiva de la realidad física (biótica y abiótica) del Departamento y en la que se orienta sobre las potencialidades del territorio y las limitaciones de su uso derivadas de los parámetros ambientales o culturales. Una segunda parte prescriptiva en la que se generan alternativas de distribución de usos y se valoran sus consideraciones ambientales. Es por tanto un paso propuesto del que debe emanar la selección de la mejor alternativa de distribución de usos en el municipio, esto es la ordenamiento planificado del territorio. Ref. [2]

Estudios Descriptivos: Se realizan en dos aspectos, uno corresponde a un inventario del medio, y luego se integra con su diagnóstico ambiental.

En el inventario, se recoge información documental y cartográfica de cada una de las variables del medio físico y biológico que se consideran necesarias para la correcta descripción del funcionamiento del territorio y para su posterior valoración ambiental, la que se integra toda la información ambiental en unidades de diagnóstico.

2.3 *Caracterizar las unidades de estudio*

Con el fin de caracterizar integralmente el área en estudio, se establecen características ambientales de cada factor según las condiciones actuales y según los efectos antrópicos que los afecten descriptos por sectores de estudio.
Elaborar los mapas sensibilidad: Los mapas de sensibilidad ambiental (MSA) son una herramienta útil en los planes de contingencias para la protección del ambiente. Ref. [4]
Los MSA son expresiones cartográficas en un formato espacial, que contienen información básica con componentes biológicos, geomorfológicos, hidrológicos, meteorológicos, etc., indicando además las áreas de conservación, recreación y asentamientos urbanos. Abarcan, entre otros, ríos, arroyos, lagunas, etc., especialmente zonas protegidas, desembocaduras de ríos y arroyos , lagunas, áreas de uso múltiple, etc., siendo estos datos de suma utilidad en el momento de suministrar información actualizada a los planificadores de protección ambiental. Ref. [3]
En general, los MSA proveen información crítica para responder a los eventos impactantes, aportando los datos básicos requeridos para tomar decisiones rápidas (y acertadas), en materia de protección de los recursos. Los recursos a proteger se pueden agrupar en componentes básicos.
En el contexto del presente trabajo, interesan los pasos relativos a la caracterización integrada de las unidades en estudio, que es en lo que se trabaja en la actualidad y para lo que se necesita la definición de elementos ambientalmente críticos y la identificación de la sensibilidad ambiental de las unidades en estudio, para los cuales se utilizo en particular el enfoque ambiental.
Se planea un análisis respecto a la elaboración de MSA y se ejecuta para entornos definidos del Departamento de San Rafael.

2.4 *Identificación de la sensibilidad ambiental para las unidades*

Una vez identificados los elementos en las unidades que debían tenerse presente al momento de la intervención, éstos se categorizan en tres niveles de sensibilidad.
Se consideran como de sensibilidad alta aquellos elementos cuya respuesta a la intervención pudiera significar cambios substanciales en el funcionamiento de los sistemas presentes en la unidades que se identifiquen, ya sea por la afectación directa de algún componente o componentes del sistema o sistemas, o por alteración de procesos (flujos de energía, de nutrientes, flujos hídricos, etc.).
Fundamentado en esta misma base conceptual, se consideran de sensibilidad media a aquellos elementos cuyas respuestas a la intervención impliquen cambios en el funcionamiento del sistema, si bien estos cambios podrían ser no son tan marcados y lograrían ser mitigados incorporando las medidas pertinentes. Por último se le asigna sensibilidad baja a los elementos con respuestas "leves o bajas" frente a la intervención propuesta.
El mapa de sensibilidad ambiental que se genere, producto de la caracterización, servirá de base para dar condicionantes de localización para la infraestructura de diversos proyectos, sobre la base de la identificación de los elementos críticos o de alta sensibilidad presentes. Se utiliza un algoritmo de cálculo de los índices de sensibilidad y se aplican a macroentornos del Departamento.

3 FORMULACIÓN Y FUNDAMENTACIÓN DEL PROBLEMA A INVESTIGAR

Se ha realizado para el departamento un inventario ambiental que permitió la elaboración del diagnóstico ambiental del departamento.
Se procedió a desarrollar el mapa de análisis de sensibilidad ambiental (MSA) a escala regional como resultado preliminar de la ejecución este nuevo trabajo y esto se convirtió en herramienta primordial para el planeo de nuevos estudios en otras escalas que por la amplia extensión territorial y la diversidad de entornos se hace necesario realizar.
Previo a la definición de los MSA para San Rafael, se calcularán índices de sensibilidad para los entornos específicos.
Se delimitarán inicialmente unidades de estudio, éstas se categorizaron por regiones en tres niveles de sensibilidad: alta media y baja. El criterio para ello será en respuesta del análisis crítico frente al impacto que generen nuevas actividades antropicas a establecer en el lugar. Se calcularan luego índices numéricos que validen o no la clasificación efectuada, en caso negativo se recategorizarán. Se consideraron como de sensibilidad alta aquellos elementos cuya respuesta a la intervención pudiera significar cambios substanciales en el funcionamiento de los sistemas ecológicos allí representados, ya fuera por la afectación directa de algún componente o componentes del sistema o

sistemas, o por alteración de procesos. Fundamentado en esta misma base conceptual, se considerarán de sensibilidad media a aquellos elementos cuyas respuestas a la intervención implicaban también cambios en el funcionamiento del sistema, si bien estos cambios podían ser no son tan marcados y podían ser mitigados incorporando medidas pertinentes. Por último se le asignará sensibilidad baja a los elementos con respuestas "leves o bajas" frente a la intervención futura.

Un análisis de sensibilidad ambiental de los distintos entornos permitirá volcar los datos a un mapa del sector. Con el apoyo del procesamiento de cada atributo de la información espacial y a través de Sistemas de Información Geográfica (SIG) se producirá la información cartográfica.

En este proceso las variables que se emplearán serán geología, paisajes-relieve, pendientes, suelo, vegetación, uso actual de la tierra, cuencas hidrográficas, fauna y densidad poblacional.

Se realizarán consultas a expertos y reuniones con participación de profesionales de distintas disciplinas, expertos tanto en el área ambiental y como social a fin de fijar una valoración ponderada a los atributos cartográficos a fin de establecer rangos de sensibilidad de los distintos entornos. Finalmente se indicaran los porcentajes superficiales que ocupan los distintos sectores con sensibilidades específicas.

En el proceso de análisis y consulta también se desarrollará la metodología "Matriz de Impacto Cruzado" que permitirá identificar las variables ambientales claves dentro del sistema analizado.

Los MSA logrados constituirán un instrumento que orientará el rumbo de la formulación de los objetivos y/o políticas de ordenamiento y reglamento de uso de los recursos de la zona.

4 OBJETIVOS

- Analizar el inventario ambiental y el diagnostico de base cero.
- Caracterizar ambientalmente las unidades de estudio.
- Establecer unidades homogéneas de estudio.
- Calcular índices de sensibilidad ambientales en los diferentes entornos.
- Definir las escalas óptimas para caracterizar los entornos.
- Diseñar y elaborar matrices de impactos cruzados
- Elaborar los mapas sensibilidad en escala adecuada
- Calcular los porcentajes definidos según la sensibilidad calculada.
- Formar recursos humanos
- Transferir a instituciones y empresas privadas

5 HIPÓTESIS DE TRABAJO

El mapa de sensibilidad ambiental generado de la identificación y análisis de los elementos naturales y acciones antropicas, y de la caracterización sensibilidad de los entornos, servirá a la definición de planes de ordenamiento territorial y lineamientos de desarrollo basados en criterios de sustentabilidad para nuevas actividades antropicas y mitigación de las existentes.

6 METODOLOGÍA

En primera instancia se procederá a analizar y procesar toda la información provista por la línea de base elaborada en el proyecto: "Elaboración de Instrumentos de Prevención y Control Ambiental para San Rafael"

Relevamiento de información cartográfica disponible y procesada en la línea de investigación o en otras fuentes disponibles.

Se analizará el empleo como herramienta informática (soft) que permita volcar los datos ambientales a mapas georeferenciándolos.

Con las variables relevadas: geología, paisajes-relieve, pendiente, suelo, vegetación, uso de la tierra, cuencas hidrográficas, unidades de fauna y densidad poblacional se procederá a nuclearlas en entornos específicos que reúnan características de homogeneidad.

Una vez definidas las unidades de estudio se procederá a categorizarlas según el grado de afectación antrópica, deterioro o grado de evolución, calculando índices de sensibilidad

Posteriormente y considerando las ponderaciones estudiadas en la línea de investigación se procederá a evaluar los efectos y sensibilidad de los diferentes entornos.

Paralelamente se trabajará en la elaboración de matrices de impactos cruzados que permitirán corroborar lo evaluado con los efectos ambientales y la ponderación asignada a los diferentes factores de los entornos específicos. Ref. [3]

Se volcará todo lo definido en mapas de sensibilidad de los diferentes entornos Departamentales estudiados y se calcularan los porcentajes superficiales de sensibilidad, según la cartografía lograda por la interrelación de homogeneidad en los

entornos estudiados y cada una de las variables ambientales asociadas.
Se trabajará en la formación de recursos humanos y en la transferencia de resultados.

7 RESULTADOS ESPERADOS

-Elaborar métodos y matrices que permitan la valoración objetiva de los índices sensibilidad ambiental.
- Disponer de un diagnostico ambiental de base, volcado en cartografía georeferenciada.
- Contar con mapas de sensibilidad ambiental para el Departamento.
- Proponer de medidas preventivas
-Elaborar de propuestas de instrumentos legislativos
- Formación de recursos humanos
- Transferencia de resultados

8 RESULTADOS PRIMERA ETAPA

8.1 *Sistema Territorial del área*

Este proyecto tiene la finalidad de integrar los antecedentes relacionados a la situación actual de los distintos factores ambientales, de manera tal que su comprensión e interpretación permitan planificar y/u orientar las decisiones respecto del uso del territorio de San Rafael.
La metodología general definida para lograr este objetivo, subdivide el Departamento de San Rafael en cuatro subsistemas que conforman globalmente el Sistema Territorial del área. Estos son el Medio Físico, la Población y Actividades de Producción, Consumo y Relación Social; el Medio Urbano y el Marco Legal e Institucional.
Se entiende por Medio Físico al subsistema formado por los elementos y procesos del ambiente natural tal y como se encuentran en la actualidad. Aquí se incluyen el Clima, la Hidrología, la Fauna y Vegetación, los Suelos, el Paisaje y el Patrimonio Arqueológico. El conocimiento de este subsistema permite entender las potencialidades y restricciones del medio natural que nos rodea.
El Medio Socioeconómico es el subsistema más dinámico y corresponde a las características de la población y sus actividades, incluidas la localización y relaciones espaciales involucradas en los procesos productivos, de consumo y recreativas.
El entendimiento de éste permite tomar decisiones que busquen mejorar la calidad de vida de la población.
El Medio Urbano comprende los asentamientos de población, el área de población y su disyuntiva con la ocupación planificada.
El Marco Legal e Institucional es el subsistema que establece y controla las reglas que intervienen en el Sistema Territorial.
Cada uno de estos subsistemas y sus respectivos componentes, generarán las particularidades que hacen de este espacio un lugar único y variante para los usos requeridos. Por ello, la primera etapa a desarrollar es un diagnóstico del área con el fin de definir las características y actual distribución de los distintos componentes ambientales, urbanos, legales y socioeconómicos.
Una vez obtenido el diagnóstico del subsistema Medio Físico, se establecieron zonas de diferente complejidad y sensibilidad ambiental de manera que sean consideradas en esta condición para establecer la sustentabilidad del desarrollo que tengan lugar en ellas, así como del desarrollo de alternativas acordes con su aptitud.
Como primer paso se definen homogéneas definiendo sensibilidad ambiental.

9 DEFINICIÓN DE AREAS AMBIENTALES

Se definieron zonas ambientales con cuatro categorías según la sensibilidad ambiental que presenta cada una de ellas.
- Zona Ambiental con Categoría A - Natural
Es aquella en que los componentes ambientales individuales o interrelacionados, presentan un estado y/o funcionalidad que permite reconocer su alta incidencia en la naturalidad y en la permanencia de estas características naturales como valor intrínseco del área o el paisaje. Con relación a la funcionalidad, se reconoce una alta valoración en los aspectos que permiten el desarrollo y permanencia de los ecosistemas, incluido el hombre.
- Zona Ambiental con Categoría B – Rural o Turística
Es la categoría de rango ligeramente inferior a la anterior, en que la incidencia de la naturalidad de los componentes está en un estado intermedio o en un grado menor de complejidad funcional. Este grado menor puede deberse a una intervención degradante en uno o más componentes de su ecosistema o a un menor grado de complejidad del ecosistema, a las

características propias del componente por su diversidad o densidad, o a una combinación de éstas.
- Zona Ambiental con Categoría C - Urbana
Está constituida por las áreas que comprenden ecosistemas menos complejos o tienen bajo nivel de densidad. Asimismo, se encuentran incluidas en esta categoría todas las áreas que se encuentran altamente intervenidas por el hombre y/o el ganado, y cuyo destino no es recuperable en términos de naturalidad.
- Zonas Ambiental con Categoría Z - Preservación Ambiental
Están constituidas por aquellos sectores que se encuentran designados como áreas silvestres protegidas por el Estado. Estos se encuentran demarcados en forma específica y en su territorio no se discute la interrelación de los componentes naturales.

9.1 *Indicadores de sensibilidad del medio*

La evaluación de la sensibilidad ambiental se realizará en base a los diferentes indicadores ambientales
Se estudiaron los cambios que producirían acciones sobre los factores. Esto permitió obtener la valoración absoluta de los impactos. Se le asignó puntaje (unidades de importancia ponderal) a los factores involucrados en el entorno de la obra. Considerando estos se pudo definir la valoración relativa de los impactos.

9.2 *Rango de Valores y Puntuación*

Para cada indicador se establecieron rangos, a los que se les asignó un puntaje. En la tabla siguiente se presenta el resumen de los indicadores, rangos y puntajes otorgados.
El puntaje varía entre 1 y 5, correspondiendo un valor ascendente de acuerdo al incremento de sensibilidad del medio.

Tabla 1. Puntajes en la definición de Indicadores

Indicador	Rango - Grado de Afectación %	Puntaje
Calidad del aire	0 –10	1 punto
	11 – 20	2 puntos
	21- 35	3 puntos
	35 – 60	4 puntos
	60 – 80	5 puntos
Microclima	0 –10	1 punto
	11 – 20	2 puntos
	21- 35	3 puntos
	35 – 60	4 puntos
	60 – 80	5 puntos
Suelo	0 –10	1 punto
	11 – 20	2 puntos
	21- 35	3 puntos
	35 – 60	4 puntos
	60 – 80	5 puntos
Agua Superficial	0 –10	1 punto
	11 – 20	2 puntos
	21- 35	3 puntos
	35 - 60	4 puntos
	60 - 80	5 puntos
Agua subterránea	0 -10	1 punto
	11 - 20	2 puntos
	21- 35	3 puntos
	35 - 60	4 puntos
	60 - 80	5 puntos
Medio Perceptual	0 -10	1 punto
	11 - 20	2 puntos
	21- 35	3 puntos
	35 - 60	4 puntos
	60 - 80	5 puntos
Flora	0 -10	1 punto
	11 - 20	2 puntos
	21- 35	3 puntos
	35 - 60	4 puntos
	60 - 80	5 puntos
Fauna	0 -10	1 punto
	11 - 20	2 puntos
	21- 35	3 puntos
	35 - 60	4 puntos
	60 - 80	5 puntos
Uso del suelo	0 -10	1 punto
	11 - 20	2 puntos
	21- 35	3 puntos
	35 - 60	4 puntos
	60 - 80	5 puntos
Infraestructura	0 -10	1 punto
	11 - 20	2 puntos
	21- 35	3 puntos
	35 - 60	4 puntos
	60 - 80	5 puntos
Humanos	0 -10	1 punto
	11 - 20	2 puntos
	21- 35	3 puntos
	35 - 60	4 puntos
	60 - 80	5 puntos
Economía	0 -10	1 punto
	11 - 20	2 puntos
	21- 35	3 puntos
	35 - 60	4 puntos
	60 - 80	5 puntos

9.3 *Cálculo del índice de sensibilidad Ambiental (ISA)*

El ISA unitario está dado por la sumatoria del producto de la ponderación dada al indicador por la puntuación del indicador

$$ISA_N = \sum_{i=n}^{i=j} F_I P_i = F_a P_a + F_b P_b + F_c P_c + ...+ F_j P_j \quad (1)$$

$$ISA_T = \sum_{N=1}^{N=n} ISA_N = ISA_1 + ISA_2 + ISA_3 + ...+ ISA_n \quad (2)$$

Donde:
ISA_N representa el índice de sensibilidad Ambiental unitario para una unidad real N
F_i representa la puntuación de la sensibilidad ambiental de un indicador ambiental i para una unidad j
P_i representa la ponderación aplicada al indicador ambiental i la cual es independiente de la unidad real N
ISA_T representa el índice de sensibilidad Ambiental total para la región de interés
n representa el número de áreas unitarias N
j representa el número de indicadores ambientales i.

10 CONCLUSIONES

Los mapas de sensibilidad ambiental y las metodologías analizadas y desarrollada para construirlos establecen una contribución al conocimiento de los entornos, grados de modificación y pasivos ambientales existentes. Surgiendo de la interpretación de resultados la prevención y la protección del medio ambiente. Estos resultados se transforman en una propuesta o esquema sencillo, flexible y móvil que se puede incorporar a los procesos de gestión de cualquier nuevo emprendimiento, independientemente de su estructura y dimensiones.
Como herramienta fundada en la utilización de un Sistema de Información Geográfico permite integrar datos originados en distintas fuentes, aunque éstas sean heterogéneas tanto en su formato como en su origen.
La información se puede mantener como un sistema dinámico a partir de las ventajas que ofrecen las técnicas de mapeo temático. También ofrece la posibilidad de interactuar con todos los sectores involucrados directa o indirectamente con la problemática ambiental.

REFERENCIAS

[1] L. D. Mackenzie & S. Masten, Ingeniería y Ciencias Ambientales Editorial McGraw-Hill, 2004
[2] G. Kiely, Ingeniería Ambiental, Editorial Mcgraw-Hill, Edición 1999.
[3] S. Matteucci & G. Buzai, Sistemas Ambientales Complejos, Herramientas de análisis espacial. Ed Eudeba. 1998.
[4] R. A. Corbitt, Manual de Referencia de la Ingeniería Ambiental, Editorial MCGRAW-HILL. Edición 2003.

ABSTRACT

The politics based on the Sustainable Development are designed taking into account a rational use of natural resources, to contribute to an economic development with equity and in harmony with the environment.

In San Rafael the base line has been defined and it is counted on the contribution of the interdisciplinary knowledge that describes the surroundings. Tools have been elaborated to establish prevention and control measurements in the resources use as they are the environmental sensitivity indexes; for the present work has been considered the indexes calculation for specific Department surroundings. Once they are defined, their values will allow identify areas with specific characteristics that will be overturned into environmental maps in scales that could permit visualize with scientific bases, lineaments for a territorial planning.

Key Words: environment- environmental sensitivity- environmental indicators- environmental maps

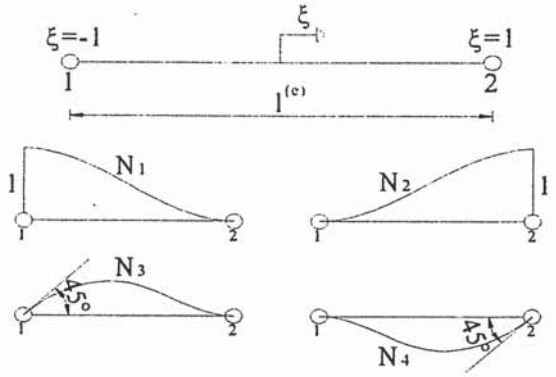
2. El desplazamiento lateral (según el eje y) es nulo.
3. Las secciones transversales normales al eje de la viga antes de la deformación, permanecen planas y ortogonales a dicho eje después de la deformación.

A partir de estas hipótesis en [2] y [5] se formula un elemento finito de dos nodos, con dos grados de libertad por nodo (rotación y translación) cuyas funciones de forma son las siguientes: (ver Fig.4)

$$N_1 = \frac{1}{4}(2-3\xi+\xi^3) \quad ; \quad \overline{N}_1 = \frac{1}{4}(2-\xi-\xi^2+\xi^3)$$

$$N_2 = \frac{1}{4}(2+3\xi-\xi^3) \quad ; \quad \overline{N}_2 = \frac{1}{4}(-1-\xi+\xi^2+\xi^3)$$

$$\xi = \frac{2}{l^{(e)}}(x-x_m) \quad \text{y} \quad x_m = \frac{x_1+x_2}{2}$$



N1-N2 = polinomio interpolador de desplazamientos
N3-N4 = polinomio interpolador de rotaciones

Figura 4. Funciones de Forma (Euler-Bernoulli).

Y finalmente la matriz de rigidez del elemento finito de barra es [2] [5]:

$$K^{(e)} = \left(\frac{E.I}{l^3}\right)^{(e)} \begin{bmatrix} 12 & 6l^{(e)} & -12 & 6l^{(e)} \\ .. & 4\left(l^{(e)}\right)^2 & -6l^{(e)} & 2\left(l^{(e)}\right)^2 \\ .. & .. & 12 & -6l^{(e)} \\ sim. & .. & .. & 4\left(l^{(e)}\right)^2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

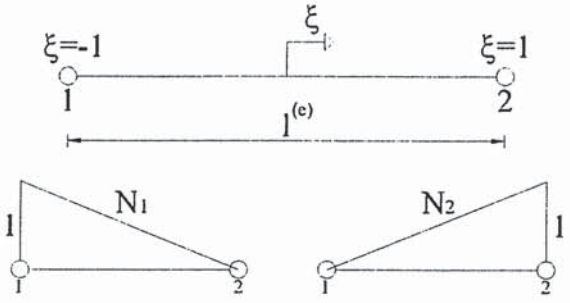
2.3 *Elemento finito de barra según Timoshenko*

La teoría de vigas de Timoshenko [2] comparte las hipótesis 1 y 2 de la teoría de Euler-Bernoulli. Pero introduce una modificación en la hipótesis 3, estableciendo que: las secciones planas normales al eje de la viga antes de la deformación, permanecen planas pero no necesariamente normales al eje después de la deformación.

A partir de estas hipótesis en [2] se formula un elemento finito de dos nodos, con dos grados de libertad por nodo: rotación y translación, pero a diferencia de la teoría de Euler-Bernoulli, estos son independientes y se interpolan por separado utilizando las siguientes funciones de forma:(ver Fig.5)

$$N_1 = \frac{1}{2}(1-\xi) \quad ; \quad N_2 = \frac{1}{2}(1+\xi)$$

$$\xi = \frac{2}{l^{(e)}}(x-x_m) \quad \text{y} \quad x_m = \frac{x_1+x_2}{2}$$



N1-N2= polinomio interpolador de desplazamientos

Figura 5. Funciones de Forma (Timoshenko).

La matriz de rigidez que se obtiene es la siguiente:

$$K^{(e)} = \begin{bmatrix} \frac{G.A^*}{l^{(e)}} & \frac{G.A^*}{2} & -\frac{G.A^*}{l^{(e)}} & \frac{G.A^*}{2} \\ .. & \left(\frac{G.A^*}{3}l^{(e)}+\frac{E.I}{l^{(e)}}\right) & -\frac{G.A^*}{2} & \left(\frac{G.A^*}{6}l^{(e)}-\frac{E.I}{l^{(e)}}\right) \\ .. & .. & \frac{G.A^*}{l^{(e)}} & -\frac{G.A^*}{2} \\ sim. & .. & .. & \left(\frac{G.A^*}{3}l^{(e)}+\frac{E.I}{l^{(e)}}\right) \end{bmatrix} \quad (5)$$

Donde $A^* = A/\chi$.

2.4 *Formulación Mixta*

Es importante notar que en la solución de los problemas anteriores las únicas variables son los desplazamientos y rotaciones, que una vez calculados permiten obtener las otras variables de interés en forma directa.

Se pueden obtener formulaciones de elementos finitos muy generales usando principios variacionales que pueden interpretarse como extensión del principio de estacionalidad del

Impacto sobre el suelo de las deposiciones de compuestos de Nitrógeno provenientes de emisiones liberadas a la atmósfera. Evaluación de la eutrofización terrestre en Mendoza, Argentina.

B. Civit

bcivit@frm.utn.edu.ar
Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda. INCIHUSA Cricyt (CONICET)
Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza

A.P. Arena

aparena@frm.utn.edu.ar
Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza
Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda. INCIHUSA Cricyt (CONICET)

E.S. Puliafito

epuliafito@frm.utn.edu.ar
Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza (CONICET)

RESUMEN: Los factores de equivalencia que se emplean en la etapa de evaluación de impactos del Análisis de Ciclo de Vida cuantifican el impacto observable causado por las emisiones contaminantes sobre el ambiente natural o construido y por el consumo de recursos. Las emisiones de compuestos de nitrógeno, provenientes tanto de fuentes fijas como de fuentes móviles, se depositan sobre el suelo cerca de la fuente o hasta a cientos kilómetros de ella, dependiendo de las propiedades de la sustancia y de las condiciones climáticas del sitio donde se produce la emisión. Este trabajo expone los resultados obtenidos en la modelización de las deposiciones de nitrógeno en suelos, y su comparación con los valores umbral de nitrógeno en los dos cultivos representativos de la región: vid (Allium sativum) y ajo (Vitis vinifera); paso previo a la determinación de los factores de equivalencia para la categoría de impacto Eutrofización Terrestre en la región centro oeste árida argentina.

Palabras clave: Análisis de Ciclo de Vida - evaluación de impactos - deposición de nitrógeno - eutrofización terrestre.

1 INTRODUCCIÓN

Las emisiones de compuestos de Nitrógeno como los óxidos de nitrógeno (NOx) y el amoníaco (NH_3), liberadas a la atmósfera que provienen de chimeneas industriales, de los escapes de vehículos, de los sistemas de calefacción y/o de las actividades agrícola-ganaderas, se dispersan según las características climáticas y orográficas de una región determinada para luego depositarse sobre el suelo. La deposición puede ocurrir cerca de la fuente de emisión o hasta cientos de kilómetros de ella, dependiendo de las características del gas emitido. En general, los gases liberados sufren reacciones químicas en la atmósfera antes de depositarse (polutante secundario), sin embargo, un alto porcentaje de la emisión se deposita como polutante primario. Tanto los NOx como el NH_3, o sus formas combinadas, pueden producir Eutrofización Terrestre una vez que se depositan sobre el suelo, si tal deposición contribuye a que se supere el umbral máximo de nitrógeno que la vegetación natural o los cultivos puedan tolerar.

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV), en la etapa de evaluación de impactos (LCIA), traduce las emisiones identificadas y cuantificadas en la etapa de inventario (ICV) en una medida del impacto que éstas producen sobre el ambiente. Para ello clasifica las distintas emisiones producidas en función de categorías de impacto, que pueden tener alcance global (calentamiento global, adelgazamiento de la capa de ozono) o bien alcance regional o local (acidificación, eutrofización, formación de ozono fotoquímico, toxicidad humana, etc.), y luego las relaciona mediante factores de equivalencia. En el último caso, el impacto sobre el ambiente será diferente según dónde se produzca la acción nociva. En los últimos años se han comenzado a difundir metodologías de LCIA más sofisticadas que tienen en cuenta no sólo la cantidad de emisiones producidas, sino también el lugar donde son liberadas, su destino y el daño que producen, sea sobre el ecosistema natural, artificial o sobre la salud humana [1], [2], [3], [4]. En estas metodologías, los factores de equivalencia utilizados reflejan una dependencia del sitio, y serán en general diferentes de un lugar a otro. La Eutrofización es una de las categorías incluidas en la LCIA.

1.1 *La Eutrofización Terrestre*

Como se mencionó anteriormente, los métodos empleados en la etapa de evaluación de impactos del ciclo de vida incluyen entre sus categorías de impacto la Eutrofización, entendida como el exceso de nutrientes, específicamente de compuestos de nitrógeno y fósforo, en ecosistemas acuáticos y/o terrestres produciendo un efecto nocivo tal que modifica las condiciones de vida de las diferentes especies que habitan y se desarrollan en los mismos. La Eutrofización Acuática se produce cuando la deposición ocurre sobre cuerpos de agua, causando la proliferación de algas en los mismos debido al aumento excesivo de nutrientes. Esto se evidencia por el color verdoso que toma el cuerpo de agua, y en algunas ocasiones pueden producirse emanaciones de olores desagradables.

Si bien hasta hace algunos años se consideraba la eutrofización como una única categoría de impacto, fue recién en 1992 que se explicitó la diferencia entre eutrofización de ecosistemas terrestres y acuáticos. Recientemente Potting et al. [5] incluye en el método EDIP 2003, una actualización del ampliamente difundido EDIP 97, la eutrofización terrestre como categoría de impacto independiente. La razón de esta diferenciación es que los ecosistemas terrestres se ven afectados principalmente por el aporte de las emisiones de compuestos de Nitrógeno emitidos en el aire durante todo el ciclo de vida de productos, procesos o actividades, mientras que otros nutrientes responsables del efecto eutroficante en ecosistemas acuáticos, como lo es el fósforo, no presentan relevancia.

1.2 *Objetivo*

El objetivo de este trabajo es proponer un procedimiento para determinar los factores de Eutrofización Terrestre desde el cálculo de los niveles de deposición de nitrógeno en suelos de la provincia de Mendoza, por medio de la comparación con los valores umbral de nitrógeno para los dos cultivos más representativos que se encuentran en la región considerada: Vitis vinifera y Allium sativum (vid y ajo). Los resultados obtenidos, se aplicarán en los estudios de ACV que tengan lugar en la región centro oeste árida argentina, permitiendo conseguir perfiles ambientales más adecuados a la realidad evaluada. En un trabajo previo se obtuvo la diferencia entre los niveles de deposición de nitrógeno y los valores umbral para ajo en la región considerada [18].

2. MATERIALES Y METODOS

Del mismo modo en que se trabajó metodológicamente parar el cálculo de los Factores de Acidificación [6], [7], [8], se analizará la categoría de impacto Eutrofización Terrestre.

2.1 *Consideraciones Iniciales*

2.1.1 Principales Fuentes de Emisión de Compuestos Nitrogenados

En este trabajo se considera solamente los óxidos de nitrógeno (NOx) provenientes de fuentes fijas y fuentes móviles.
Para el cálculo de las concentraciones anuales de NOx se computaron las emisiones producidas por fuentes fijas ubicadas en el polo industrial de Luján de Cuyo (Mendoza), Argentina, y la emisiones del tráfico vehicular en el área metropolitana de la citada provincia argentina. Las concentraciones anuales calculadas se convirtieron luego en índices de deposición, estableciendo el patrón de distribución de la deposición de las sustancias eutrofizantes. Las emisiones de NOx de las fuentes fijas consideradas fueron mediciones in situ realizadas durante el año 1996 [9]. Los datos de las emisiones causadas por el tráfico vehicular están actualizados al año 2003 [9]. La información se procesó y almacenó en bases de datos compatibles con los sistemas de información geográfica utilizados (ArcView GIS 3.2®). Las concentraciones anuales de NOx se calcularon mediante el programa ISC 3 de la US EPA [10], el cual permitió obtener la distribución de la concentración anual medida en µg/m3. El programa mencionado no considera las reacciones químicas que se producen en la atmósfera una vez que el gas contaminante se ha emitido, por otra parte tiene alcance local, es decir, abarca un radio de acción de 25 Km, mientras que los óxidos de nitrógeno pueden viajar en la atmósfera antes de depositarse sobre el suelo cientos de kilómetros. Para salvar la primera dificultad, se consideró el escenario más desfavorable, el cual supone que la totalidad de gas emitido se depositará sobre el área analizada. Esta área está representada, al igual que se hizo con las deposiciones de sustancias acidificantes para mantener la consistencia del método, por una grilla de 28800 celdas de 350 m x 350m cada una, abarcando un total de 35280 ha, distribuidas hacia el sur, sur oeste y noreste de la ciudad de Mendoza. El segundo inconveniente no se solucionado hasta el momento, sin embargo, se está trabajando en la implementación de un modelo de dispersión que permita considerar las reacciones químicas y que el alcance sea mayor. Los datos de entrada considerados se tomaron de [17].

2.1.2 Valores Umbrales de Nitrógeno: Selección del Cultivo Representativo para el Análisis

El proceso de eutrofización terrestre se produce cuando se exceden los niveles óptimos de nitrógeno necesarios para que un determinado cultivo alcance su mayor rendimiento o productividad. Este proceso es extensivo a la vegetación natural de los ecosistemas, como pasturas, bosques, etc. Para cada especie o cultivo existe un máximo de Nitrógeno tolerable. De la totalidad de cultivos existentes en la región estudiada dos de ellos son los que presentan mayor relevancia, tanto por la superficie cubierta como por su relevancia económica de la región: la vid y el ajo.
En esta fase del trabajo se seleccionó el ajo y la vid como cultivos de referencia, pues se cuenta con un alto grado de información acerca del manejo de estos cultivos, especialmente referida a los rendimientos de producción y a los requerimientos de fertilización, que en el caso de la vid depende fundamentalmente del destino que tiene la cosecha. La sensibilidad frente a la eutrofización se establecerá de acuerdo a los valores umbrales de Nitrógeno que el ajo puede tolerar sin que la productividad decline, y para el caso de la vid, esos niveles están relacionados con la edad de las plantas, con el momento de aplicación del Nitrógeno y como se dijo anteriormente, del destino que tiene la producción. Tal sensibilidad será luego relacionada con la cantidad de compuestos de nitrógeno depositados y se calculará la equivalencia de la acción nociva con el efecto de eutrofización.

3 RESULTADOS OBTENIDOS

3.1 *Representación gráfica del patrón de deposición resultante*

Como se mencionó en párrafos anteriores, en este trabajo se considera solamente los óxidos de Nitrógeno como promotores de eutrofización. El patrón de deposición obtenido para las emisiones de los dos tipos de fuentes consideradas se muestra en las figuras 1 y 2. La mayor concentración de NOx se ubica en las inmediaciones del parque industrial considerado, el abanico luego se extiende hacia el

Sur y el Noreste a causa de la circulación predominante de los vientos en la región. Cuando además de las fuentes fijas se consideran las fuentes móviles, la mayor concentración de NOx se produce sobre el área metropolitana debido a la densidad de flujo vehicular que se focaliza en el centro de la capital y los alrededores.

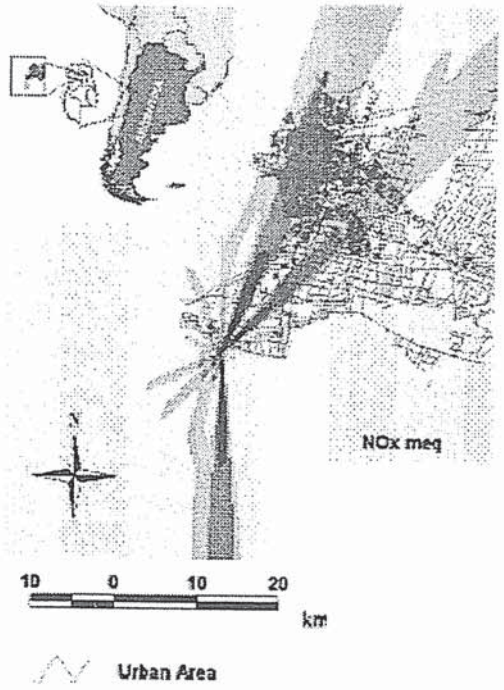


Figura 1. Patrón de deposición de NOx.

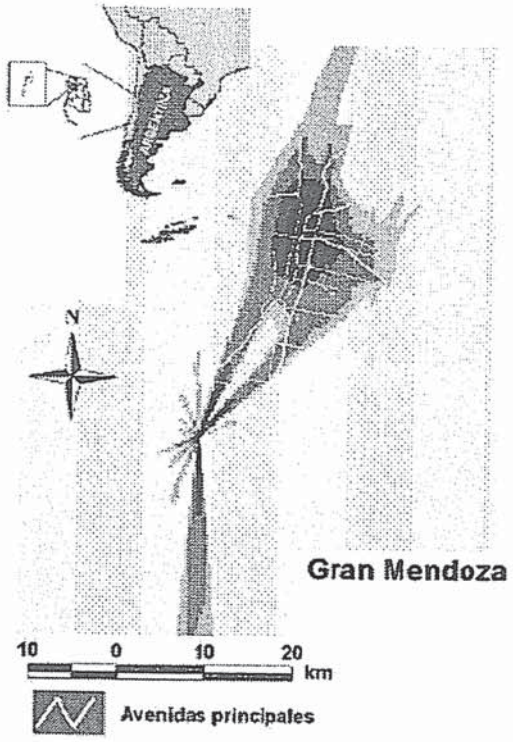


Figura 2. Patrón de deposición de NOx considerando fuentes móviles

3.2 *Comparación de deposiciones con los valores umbrales de nitrógeno*

El umbral de nitrógeno para el ajo dadas las condiciones nutricionales del suelo es de 297 kg N ha^{-1}. Este valor fue tomado de Gaviola y Lipinski [11], en el cual se evaluó el rendimiento del cultivo de ajo blanco y colorado empleando diferentes dosis de nitrógeno y frecuencias de aplicación. El valor umbral de Nitrógeno para la vid se estimó teniendo en cuenta las recomendaciones nutricionales para este cultivo [12] en 70 kg N ha^{-1}. Debe tenerse en cuenta que los suelos en la región considerada son suelos que presentan deficiencia de Nitrógeno. La proporción de nitrógeno total en suelos de Mendoza es generalmente baja oscilando entre 200 – 600 mg·kg-1 (96 – 288 kg N ha-1) [12], [13], aunque existen buenas condiciones ecológicas para su mineralización que compensan, en parte, esas circunstancias. Como justificación de tal afirmación hacemos referencia al trabajo realizado por Gaviola et al. [14] en que se obtuvo que para un rendimiento de ajo colorado de 10 t ha-1 la extracción de nitrógeno que realiza el cultivo es de 180 kg N ha-1. Si se parte de la hipótesis de realizar un cultivo de ajo sobre un suelo franco con contenido de nitrógeno total de 600 mg kg-1 y considerando una tasa de mineralización del 2%, ese suelo es capaz de suministrar sólo el 31% del requerimiento del cultivo. El resto debe ser cubierto mediante fertilización [15]. En estas condiciones, la deposición de Nitrógeno no causaría eutrofización hasta alcanzar el valor de umbral. Esto constituye entonces el criterio para determinar la sensibilidad frente a la Eutrofización Terrestre. En caso de exceso, se produciría impacto nocivo debido a la deposición de compuestos de N. Por el contrario, si no existe exceso, tal efecto no ocurrirá. Las cantidades de N depositadas varían entre 3.97 E-08 kg ha^{-1} y 1.61 E-03 kg ha^{-1}.

Los resultados obtenidos hasta el momento, de la superposición entre las cantidades depositadas sobre la grilla estudiada y el umbral de nitrógeno tolerable para los dos cultivos seleccionados, se han representados gráficamente mediante un Sistema de Información Geográfica, (ArcView GIS 3.2®) obteniendo la imagen que se muestra en las figuras 3 y 4. En esta figura se muestra, además de las parcelas de ajo y de vid, los terrenos ocupados con vegetación natural. Sin embargo, en esta fase del

trabajo no se ha incluido la flora nativa para la determinación de la sensibilidad. La zona estudiada abarca una porción relativamente pequeña respecto del territorio de la provincia que la contiene (conocido como el oasis norte), donde se concentra la mayor actividad industrial, urbana y agrícola de la provincia. La distribución de las parcelas con cultivo de ajo y de vid se tomaron de [16].

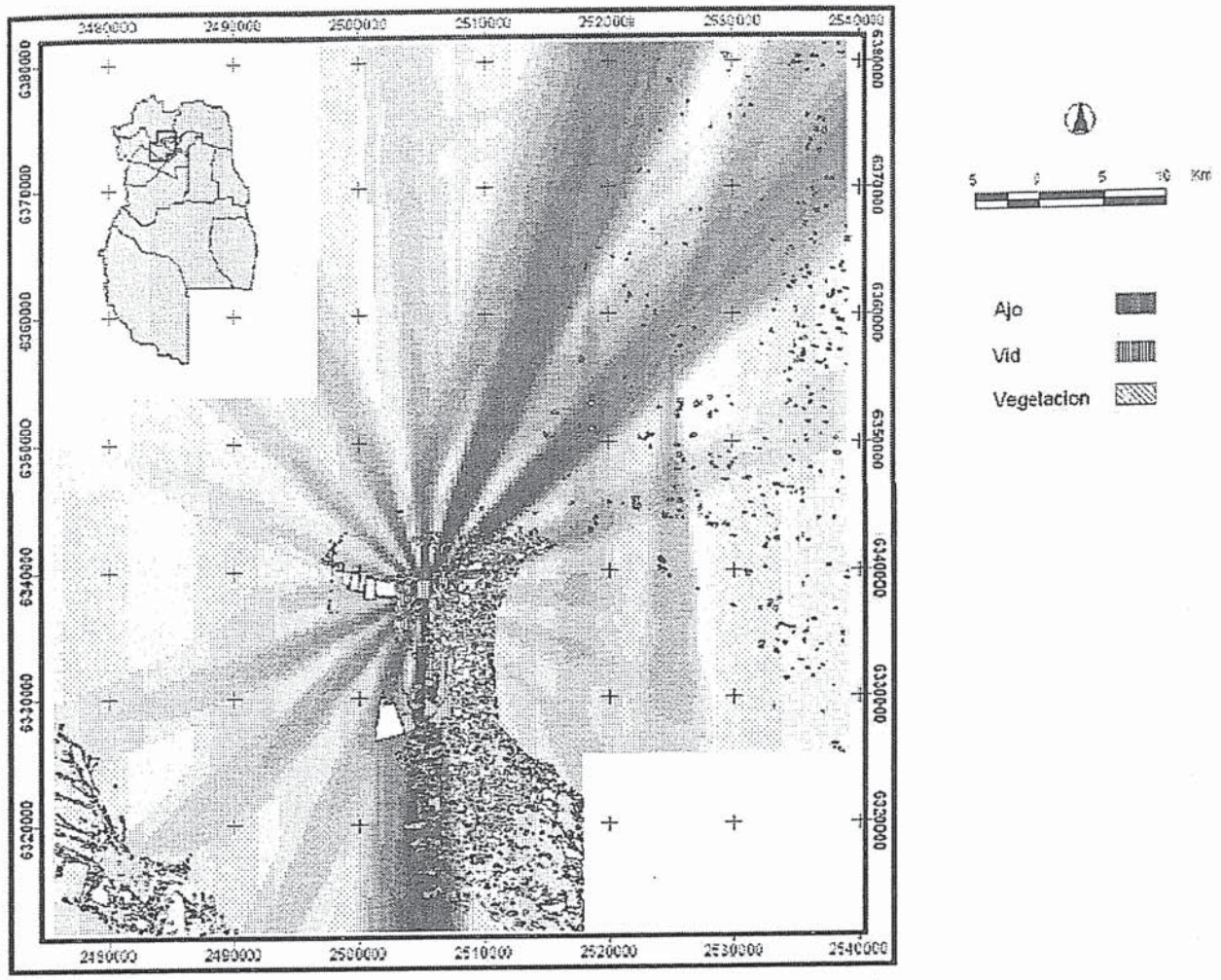


Figura 3. Distribución de la deposición de NOx sobre las parcelas de ajo, de vid y vegetación natural. Elaboración de los autores.

3.3 *Procedimiento de cálculo propuesta para el Factor de Equivalencia de Eutrofización (Factor de Eutrofización)*

El factor de eutrofización para la sustancia contaminante NOx, considerado como su equivalente en N, se obtendrá aplicando a cada celda de la grilla establecida la ecuación (1) que representa la variación entre la cantidad depositada y el umbral de nitrógeno que cada parcela de cultivo presenta, teniendo en cuenta su sensibilidad. Luego se debe calcular el valor para toda el grilla obteniéndose el factor de eutrofización en el área considerada. Debe aclararse que cada celda puede presentar una combinación de ambos cultivos. El valor umbral considerado para este último caso se estimó realizando un promedio ponderado según la superficie que cada cultivo ocupa.

$$E_i = DN_i - Ntot_i \quad (1)$$

donde E_i representa el factor de eutrofización para la grilla; DN_i la cantidad de nitrógeno en forma de óxido de nitrógeno que deposita en cada celda, y $Ntot_i$ la cantidad de nitrógeno umbral. El factor de eutrofización obtenido según el procedimiento descrito resulta: -0.1621 kg N / ha año. Si bien este es un resultado parcial, es una buena aproximación de cálculo de factor de eutrofización para la región

considerada, y su signo negativo nos indica que para las condiciones actuales de niveles de deposición, y según las características que presentan los suelos, no se produce exceso de nutrientes en el corto plazo.

4 CONSIDERACIONES FINALES Y CONCLUSIONES

Se han establecido las deposiciones en suelos de Nitrógeno presentes en la atmósfera provenientes de fuentes fijas y móviles, en la región centro oeste árida argentina, y se han comparado con los valores umbral de Nitrógeno correspondientes a los cultivos más relevantes de la región: la vid y el ajo. Esto permite establecer la sensibilidad que presentan ambos cultivos frente al riesgo de eutrofización. Los resultados muestran que en las condiciones analizadas no se produciría eutrofización pues en ningún caso se supera el valor umbral. El procedimiento descrito es aplicable en la región considerada y constituye un acercamiento a la determinación de los factores de eutrofización.

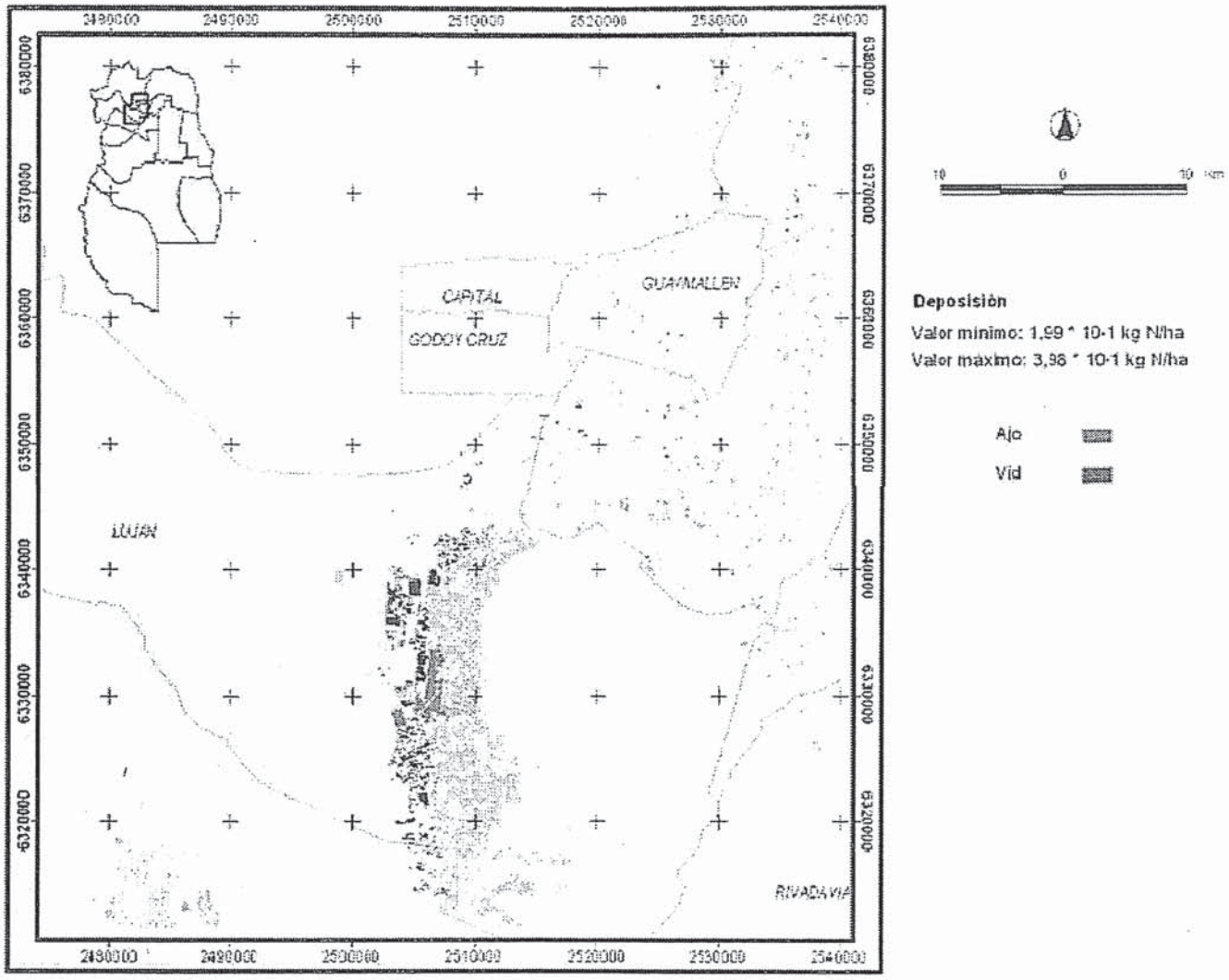


Figura 4. Cantidad deposición atmosférica de N sobre las parcelas de ajo y vid receptoras.

Es importante poder incluir en el análisis la vegetación natural, puesto que las tierras agrícolas han sufrido durante más de un siglo el aporte de fertilización. Por otra parte, la superficie cubierta por vegetación natural de secano es ampliamente mayor que la región agrícola irrigada, por lo que su inclusión en el cálculo del factor de eutrofización representaría un factor de peso que no puede desestimarse. Completar este análisis queda pendiente para trabajos futuros.

AGRADECIMIENTOS

La realización del presente trabajo contó con la

invaluable colaboración de la Tca. Cecilia Rubio en el procesamiento de la información en el sistema de información geográfica, de la Ing. Silvia Gaviola de Heras en los temas específicos a la influencia del Nitrógeno en el cultivo del ajo, de la Dra. María Flavia Filippini, quien nos orientó y colaboró en la búsqueda de información referida a la vid, y del Ing. Eduardo Martínez Carretero quien aportó su experiencia en biodiversidad y flora nativa.

REFERENCIAS

[1] Huijbregts, M. "Uncertainty and variability in environmental life-cycle assessment"Ph.D. Thesis University of Amsterdam- pp 192, 2001.

[2] Krewitt W et al. "Country-specific Damage Factors for Air Pollutants. A step Towards Site Dependent Life Cycle Impact Assessment", Int J LCA 6(4) 199-210 D-86899 Landsberg, Germany, 2001.

[3] Goedkoop, M and Spriensma, R. "The Eco-Indicator 99. A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment. Methodology Report. 3° Ed. Amesfoort, The Netherlands. Pp 144, 2001.

[4] Guinée, J (Final editor) "CML 2 baseline 2000" Institute of Environmental Sciences- Leiden University Leiden, The Netherlands, 2004.

[5] Potting J., Schöpp W. and Hauschild M. Background for spatial differentiation in life cycle impact assessment. The EDIP2003 methodology. Final Version.Copenhhhagen. pp 285, 2004

[6] Civit B., Arena, A.P, Puliafito, E. Site-dependent Acidification factors for Argentinean western arid region. Life cycle management international conference. Barcelona, 5 al 7 de septiembre de 2005.

[7] Civit, B., Arena, A.P. Terrestrial Acidification: is it a relevant impact category for ACV studies in the western arid region of Argentina?. Second International Conference: Quantified Eco-Efficiency for Sustainability. The Netherlands, 28-30 de junio de 2006.

[8] Civit, B., Arena, AP Towards the identification and calculation of characterization factors for land use in western Argentina. Expert Workshop: definition of best indicators for land use impacts in Life Cycle Assessment". University of Surrey, Guildford, 12-13 Jun 2006.

[9] Pulifito E, Guevara M y Puliafito C. Characterization of urban air quality using GIS as a management system. Environmental Pollution, 122 (2003) 105–117, Elsevier, 2003

[10] Bailey D and Schwede D "User's Guide for the Industrial Source Complex (ISC3) Dispersion Model", Vol I and II, EPA-454/B-95-003a, EPA-454/B-95-003b, US – EPA, Research Triangle Park, North Carolina 27711, 1995

[11] Gaviola S. y Lipinski V Diagnóstico rápido de nitrato en ajo cv. Fuego INTA con riego por goteo. Ciencia del Suelo, Vol 20 N°1. pág. 43-49, 2002

[12] González, M Condiciones de suelos y requerimientos nutricionales en vid. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaris, 1999.

[13] Gaviola S., Lipinski VM, Nijensohn L Respuesta de la cebolla para deshidratar a la fertilización. Ciencia del Suelo, Vol 16, N° 2. pág. 119-121, 1998.

[14] Gaviola de Heras, S, Filippini, M.F. y Lipinski V. Ritmo de Crecimiento y Absorción de Nutrimentos en Ajo(Allium sativum L.). Efecto de la Fertilización sobre Componentes del Rendimiento en los tipos Blancos y Colorados. I y II CURSO TALLER SOBRE PRODUCCIÓN, COMERCIALIZACIÓN E INDUSTRIALIZACIÓN DE AJO. pags:105-112, 1991.

[15] Gaviola S. y Lipinski V.M. Ajo y Cebolla. Capítulo 23. Pág. 455-467. En: H.E. Echeverría y F.O. Garcia (eds.). Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Editorial INTA, Buenos Aires, Argentina. ISBN Nª: 987-521-192, 2005.

[16] Portillo, J.; Zalazar, L.; Aloy, G. & Puga, H. Determinación de la ubicación y superficie cultivada con ajo a partir de la interpretación de imágenes satelitales. Programa Ecoatlas - Instituto de Desarrollo Rural. Mendoza, Argentina, 2005.

[17] Puliafito, SE "Proceso de urbanización y emisiones de gases de efecto invernadero". En Rivera y Núñez Mc Leod (editores) Desarrollo e Investigaciones Científico – Tecnológicas en Ingenierías. Pág. (2005)

[18] Civit, B; Arena, AP y Puliafito, E. "Estudio de deposiciones de nitrogeno en suelos para la evaluación de la eutrofización terrestre en la región oeste árida argentina. Caso de estudio", Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. 2006. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184

ABSTRACT

The characterization factors used in Life Cycle Imapact Assessment quantify the impact caused by emissions released to the environment or caused by resources consumption. The emissions of nitrogen compounds, emited from fixed and movile sources, deposit on the ground near the source or hundreds kilometers from it depending on the substance properties and the climatic conditions of the site where the emission takes place. This work exposes the obtained results from modelling nitrogen depositions on soils, and their comparison with threshold values of nitrogen in both representative crops of the region: vine (Allium sativum) and garlic (vinifera Vitis); this is the previous step to the determination of characterisation factors for Terrestrial Eutrofización impact category in the western arid region of Argentina.region.

Key Words: Life cycle impact assessment - Nitrogen deposition – threshold values - terrestrial eutrophization.

Evaluación ambiental del uso de energía solar para la deshidratación de tomates en la ciudad de Mendoza.

A.P. Arena., L. Flores, M.C. Gardey Merino, & A., Herrerías.
aparena@frm.utn.edu.ar , lorena_flores_asin@yahoo.com.ar, mcgardey@frm.utn.edu.ar, aherrererias@frm.utn.edu.ar.
Grupo CLIOPE, Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional.

RESUMEN: En este trabajo se utiliza la metodología del ACV (Análisis de Ciclo de Vida) para analizar el impacto ambiental asociado al proceso de secado solar de tomate. Para valorizar los resultados, se los compara con los correspondientes a ensayos de laboratorio en un horno eléctrico Ambos procesos difieren en dos aspectos, los materiales utilizados para la construcción de los dispositivos empleados, y la fuente de energía. Se analizará el impacto ambiental asociado a la producción de 200 gramos de tomate seco (con pérdida del 90 % de humedad), obtenido mediante ambos procesos de secado. Los resultados muestran notables ventajas ambientales para el secador solar, en todas las categorías ambientales analizadas.

Palabras clave: secado solar de tomates –consumo de energía-impacto ambiental-ACV

1 INTRODUCCIÓN

Existe prácticamente certeza sobre la influencia de las actividades humanas en el calentamiento global, debido a la emisión de gases de efecto invernadero liberados principalmente durante los procesos de combustión. Las consecuencias de este calentamiento son difíciles de establecer, pero pueden ser críticas para la humanidad. El uso global de energía se ha incrementado casi un 70 % desde 1971, y las previsiones indican que podría aumentar un 2 % anual en los próximos 15 años. Si no se produce una mejora considerable en la eficiencia energética y un cambio de fuentes energéticas substituyendo los combustibles fósiles por fuentes renovables, el aumento de las emisiones de los GHG (Gases de efecto Invernadero) puede poner en serio riesgo las condiciones de habitabilidad de nuestro planeta, Ref. [1].

Entre las distintas tecnologías que han aparecido para el aprovechamiento de las fuentes renovables está la de los secadores solares, utilizados para la deshidratación de frutas y verduras. La deshidratación con energía solar constituye una de las formas más económicas de secar ya que utiliza una fuente abundante en nuestra región, y requiere de dispositivos que poseen costos contenidos. Este tipo de secado ha sido utilizado por el hombre desde tiempos muy remotos siendo la práctica más común el exponer el producto directamente al sol. Si bien esta técnica se sigue desarrollando en la actualidad, tiene numerosas desventajas: tiene altos riesgos de contaminación por polvo, pájaros, roedores y otros animales e insectos, puede mojarse por lluvias, etc. con la desventaja adicional que el secado directo cambia los colores naturales de los productos

alimenticios sin procesar, haciéndolos indeseables pérdidas excesivas de carotenoides debido a su vulnerabilidad a la luz ultra violeta y visible y altas temperaturas. El uso de un dispositivo solar evita estos inconvenientes, Ref. [2]. La deshidratación de frutas y hortalizas es realizada convencionalmente mediante hornos que requieren de fuentes energéticas no renovables, procesos que traen aparejados impactos ambientales de relevancia, en particular la contribución al efecto invernadero, aunque otras categorías de impacto ambiental están también involucradas, tales como la acidificación, la toxicidad, el consumo de recursos no renovables, etc. Ref. [3].

2 CASO DE ESTUDIO

Se analizará el impacto ambiental asociado a la producción de 200 gramos de tomate seco (con pérdida del 90 % de humedad), obtenido mediante secado solar y secado eléctrico.

2.1 *Secado solar*

El grupo CLIOPE ha investigado y desarrollado prototipos de secaderos a distinta escala y materiales, para ser aplicados y probados en terreno, en particular secaderos tipo gabinete y tipo túnel, observados en la Fig. 1 y Fig. 2 respectivamente.
El secador solar utilizado en esta prueba es del tipo gabinete. Es un tipo de secador directo, sin colector solar para calentar el aire, dicha función se lleva a acabo en la cámara de secado, en forma simultánea con el proceso de deshidratación. Para estos efectos la cámara tiene algunas paredes transparentes, por las cuales ingresa la radiación solar calentando directamente el producto. La transferencia de calor es esencialmente radiativa. En este caso es el producto el que absorbe calor directamente por radiación y se usa el aire principalmente para remover humedad. El secado se produce en tandas, es de pequeña capacidad (aproximadamente de 2kg de producto fresco) y el tipo de secador se considera rústico.
En la Tabla 1 se muestra el peso de cada uno de los materiales utilizados para la construcción del secador solar.
El proceso de secado fue realizado durante el mes de febrero en la ciudad de Mendoza durante 28 horas de exposición al sol, los tomates perdieron casi el 90% de su peso. Inicialmente se colocaron 1900g de tomate y se obtuvieron 205g de tomate deshidratado, para algunos consumidores. Además, resulta en la diferencia entre el peso inicial y el final es la cantidad de agua perdida durante el proceso de deshidratación, lo que corresponde aproximadamente a una pérdida del 90% en peso de humedad.
Como hipótesis de cálculo, se asume que se pueden repetir estos ensayos dos veces por semana, y que en un mes se pueden realizar 7 ensayos (1400 gramos de tomate seco por mes). Se suponen dos meses útiles por año y que el secador tiene una duración de 5 años. En este período, el secador podría producir 14.000 g de tomate seco.

2.2 *Secado eléctrico*

Para el secado eléctrico se utilizó un horno de secado eléctrico Boker, se colocaron para deshidratar 2120 g de tomates a una temperatura de 55°C. Finalmente se obtuvieron 152g de tomates secos. La diferencia entre el peso inicial y el final es la cantidad de agua perdida durante el proceso de deshidratación, lo que corresponde a una pérdida aproximada del 93% de humedad. Al inicio del proceso se colocó un medidor de energía, similar a los medidores domiciliarios, para la determinación del consumo de energía.

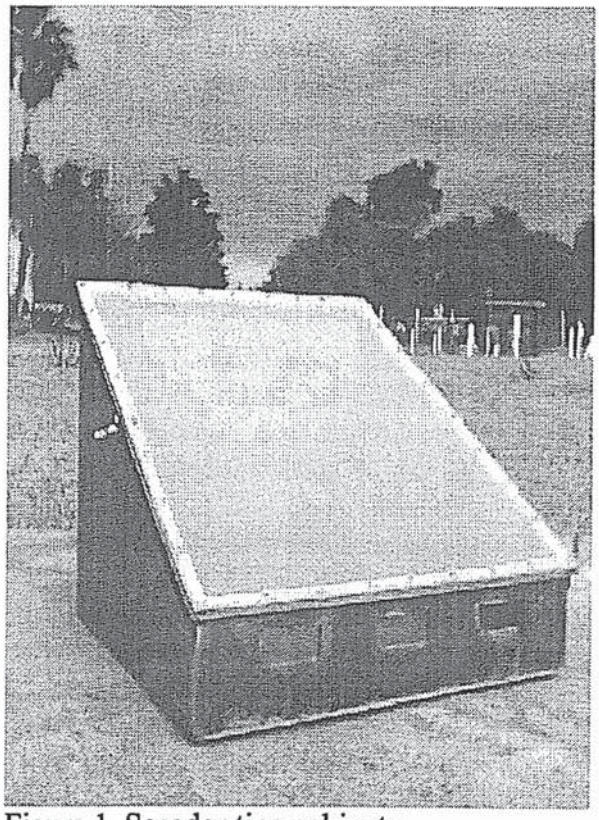


Figura 1. Secador tipo gabinete.

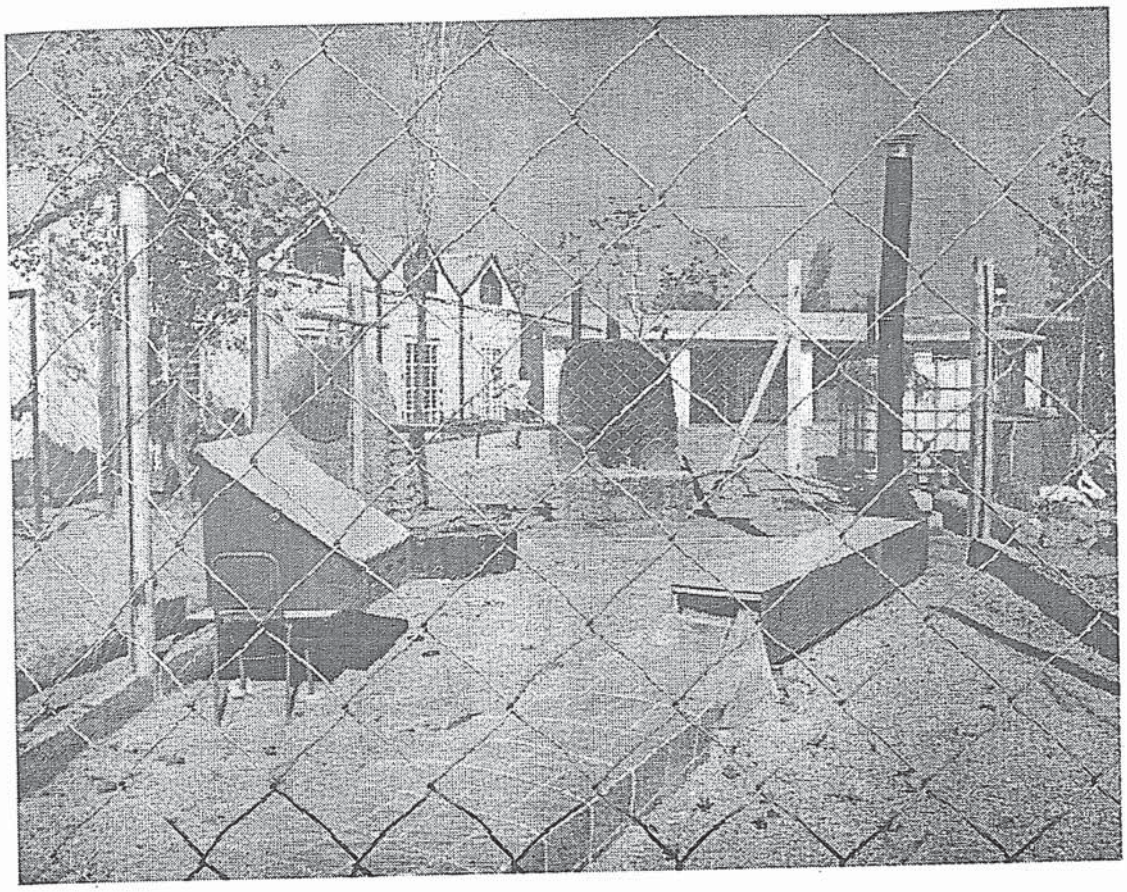


Figura 2. Secador tipo túnel.

Tabla 1. Peso de los materiales utilizados.

Material	Peso en [kg]/ por		Cantidad utilizada en el secador	Peso utilizado en el secador [kg]
Polietileno negro	0,06	kg/m^2	0,49 m^2	0,03
Burlete de goma espuma	0,03	kg/m	3,13 m	0,10
Red metálica	0,30	kg/m^2	0,06 m^2	0,02
Listón de álamo cepillado	0,25	kg/m	10,96 m	2,73
MDF	7,05	kg/m^2	1,74 m^2	12,24
RED plástica bandeja	0,24	kg/m^2	0,40 m^2	0,10
Cierre de valija metálico	0,03	kg/unidad	2 unidades	0,06
Policarbonato alveolar de 6 mm	0,80	kg/m^2	0,64 m^2	0,51

3 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN AMBIENTAL

Para realizar la evaluación ambiental del proceso de secado de tomates, se tienen en consideración los materiales utilizados para la construcción del dispositivo y la fuente de energía. En este estudio se realiza una comparación con el secado realizado en un horno eléctrico de laboratorio que permitió la medición del consumo de energía requerido para el proceso. El impacto ambiental de las tecnologías analizadas se lleva a cabo mediante el Análisis del Ciclo de Vida (ACV), de acuerdo a la metodología propuesta por la normativa ISO 14040, que establece cuatro fases: objetivos y alcances del estudio, análisis de inventario, análisis de impacto e interpretación Ref. [4].

El ciclo de vida de un producto considera toda la historia del producto, desde su origen como materia prima hasta su final como residuo. Se tienen en cuenta todas las fases intermedias como transporte y preparación de materias primas, manufactura, transporte a mercados, distribución, uso, etc. En un ACV completo se atribuyen a los productos todos los efectos ambientales derivados del consumo de materias primas y de energías necesarias para su manufactura, las emisiones y residuos generados en el proceso de producción así como los efectos ambientales procedentes del fin de vida del producto cuando este se consume o no se puede utilizar. Las categorías generales de impactos medioambientales que se consideran son el uso de recursos, la salud humana y las consecuencias ecológicas.

3.1 *Objetivos y alcances del estudio*

Aquí se establece la unidad funcional, que describe la función principal del sistema analizado. Como unidad funcional se analizará el impacto ambiental asociado a la producción de 200 gramos de tomate seco (con pérdida del 90 % de humedad), obtenido con secado solar y con secado eléctrico.

3.2 *Análisis del inventario*

Esta fase consiste en la obtención de datos y los procedimientos de cálculo para identificar y cuantificar todos los efectos medioambientales adversos asociados a la unidad funcional, a este efecto se lo conoce como "carga ambiental", y se define como la salida o entrada de materia o energía de un sistema causando un efecto ambiental negativo. El inventario o balance de carga ambiental de un proceso o producto se realiza de forma similar al balance de materia. En cuanto a la fabricación de los dispositivos de secado, se hizo la siguiente hipótesis. Dado que el secado solar se puede realizar únicamente con disponibilidad solar abundante, y tratándose el producto a secar de un alimento perecedero, que no siempre puede esperar las condiciones adecuadas, se consideró que la fabricación del secador convencional debe siempre realizarse, y que en la alternativa solar debe además fabricarse el secador solar. La alternativa solar tendrá entonces como carga ambiental adicional respecto de la tradicional, la fabricación del secador solar, mientras que la alternativa tradicional tendrá como carga ambiental adicional, el consumo de energía eléctrica requerido para el secado.

3.3 *Análisis de impacto*

La estructura de esta fase está compuesta por distintas etapas. La primera es la selección de las categorías de impacto a incluir en el estudio, que en este trabajo son: el Potencial de Calentamiento Global (GWP), el potencial de adelgazamiento de la capa de ozono (OD); el potencial de Acidificación (AC); el potencial de Eutrofización (EU); el potencial de formación de smog (OCP); Toxicidad Humana (HT) al aire, agua y suelo, Ecotoxicidad en medio acuoso crónica (ETAC), Ecotoxicidad en medio acuoso aguda (ETAA) y Ecotoxicidad crónica suelos (ETS). Luego se asignan los datos provenientes del inventario a cada categoría de impacto según el tipo de efecto ambiental esperado, procedimiento conocido como clasificación. A continuación se realiza la caracterización, con el objetivo de modelar mediante los factores de caracterización, los datos del inventario para cada una de las categorías de impacto. En este trabajo se ha utilizado para determinar los factores de caracterización la metodología propuesta por Wenzel y colaboradores, denominada EDIP 96 Ref. [5]. Los resultados de este procedimiento para ambas alternativas, se muestran en la tabla 2. Los resultados de la caracterización están en distintas unidades, lo que dificulta la comprensión de los mismos, entonces es necesario realizar la normalización donde se establece una relación entre el valor asociado a cada categoría de impacto y un valor de referencia ya sea a escala geográfica y/o temporal. En la tabla 3 se muestran los resultados de la normalización, refiriéndolos en este caso a la cantidad del mismo impacto producido por una persona (la unidad resultante es Persona equivalente, para cada categoría ambiental) para el secado eléctrico y el solar.

Las etapas descriptas anteriormente se han llevado a cabo mediante el uso del Simulador SimaPro (PRé Consultans, 1998), debido a la abundante información sobre materiales, combustibles, procesos y sistemas de transportes presentes en sus bases de datos.

4 RESULTADOS OBTENIDOS DEL ACV

En la Tabla 2 se resumen los resultados del ACV, utilizando la metodología de EDIP 96, donde se observan los valores de los indicadores para cada una de las categorías de impacto seleccionadas, en el caso del secado eléctrico y el secado solar.

En la Fig. 3 se observa una comparación en porcentaje de los resultados del ACV de la Tabla 2 entre el secado solar y el secado eléctrico. La mayor diferencia se observa para la categoría de calentamiento global (GWP). En todas las categorías de impacto correspondientes al secado solar los porcentajes representan impactos ambientales menores al 7% respecto del secado eléctrico.

En la Tabla 3, donde se plasman los resultados de la normalización refiriéndolos a la cantidad del mismo impacto producido por una persona, se observa para el secado eléctrico que las categorías de mayor impacto son, con valores muy cercanos entre sí, el calentamiento global, el potencial de acidificación, el de eutrofización y el de formación de smog. Cuando la deshidratación de tomates se realiza en un secador solar la categoría ambiental que presenta el mayor valor de impacto es la formación de smog. Sin embargo este valor es aproximadamente 15 veces menor que el producido por el secado eléctrico. También se observa en el diagrama de barras de la Fig. 4 que los valores de las categorías de impacto son mayores en el secado eléctrico en comparación con el secado solar.

Tabla 2. Resultados de ACV

Categorías de impacto	Unidad	Secado eléctrico	Secado solar
Calentamiento global	g CO2	21800	-356
Adelgazamiento de la capa de ozono	g CFC11	0,00268	0,000109
Acidificación	g SO2	36	0,957
Eutrofización	g NO3	55,9	0,666
Formación de smog	g etano	0,671	0,0448
Ecotoxicidad medio acuoso crónica	g/m3	1600	77,3
Ecotoxicidad medio acuoso aguda	g/m3	159	7,59
Ecotoxicidad crónica suelos	g/m3	33,7	1,12
Toxicidad humana aire	g/m3	6960000	111000
Toxicidad humana agua	g/m3	9,58	0,616
Toxicidad humana suelo	g/m3	1,11	0,0694
Recursos	kg	0,000304	0,00000319

Tabla 3. Cantidad del mismo impacto producido por una persona

Categoría de impacto	Sigla	Secado eléctrico	Secado solar
Calentamiento global	GWP	2,51	-0,0409
Adelgazamiento de la capa de ozono	OD	0,0133	0,000537
Acidificación	AP	0,999	0,0266
Eutrofización	EP	0,916	0,0109
Formación de smog	OCP	1,03	0,069
Ecotoxicidad medio acuoso crónica	ETAC	0,0334	0,00161
Ecotoxicidad medio acuoso aguda	ETAA	0,0033	0,000158
Ecotoxicidad crónica suelos	ETS	0,0007	0,0000233
Toxicidad humana aire	HTAir	0,000759	0,0000121
Toxicidad humana agua	HTW	0,000162	0,0000104
Toxicidad humana suelo	HTS	0,0036	0,000224

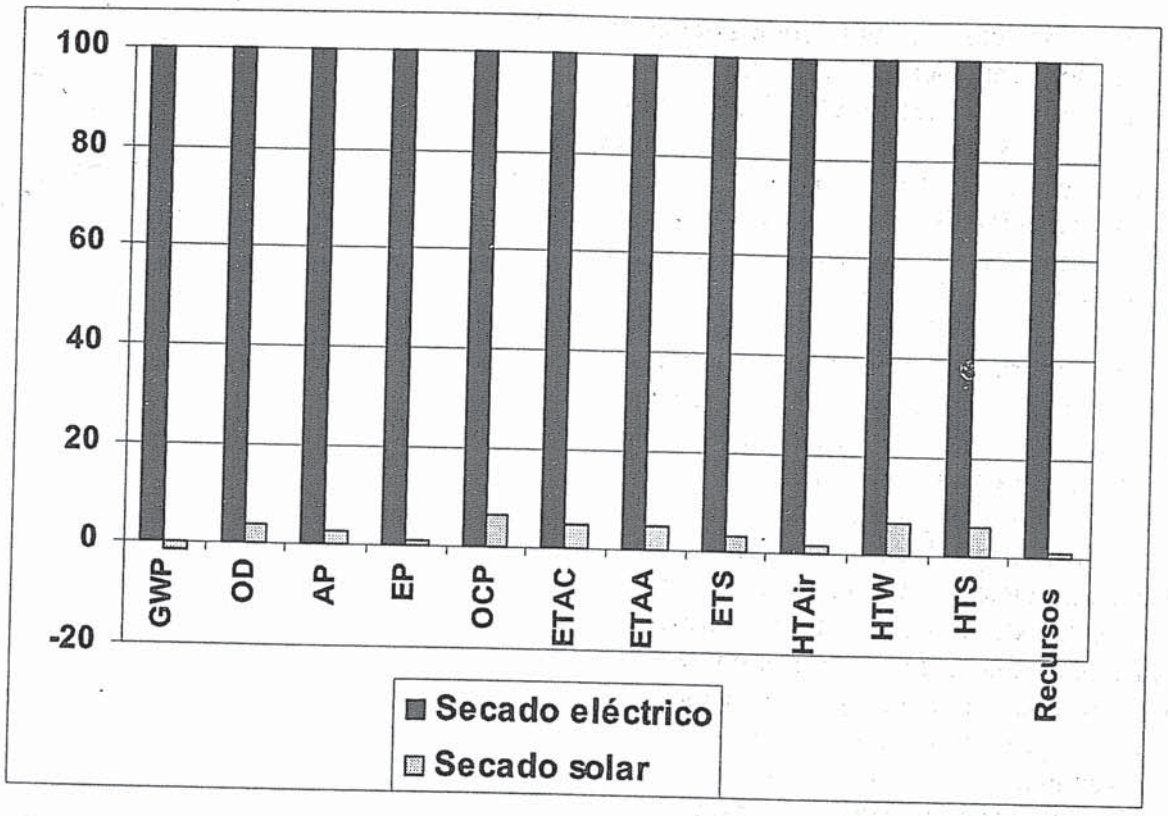


Figura 3. Comparación entre impactos ambientales del proceso de secado eléctrico vs. el secado solar

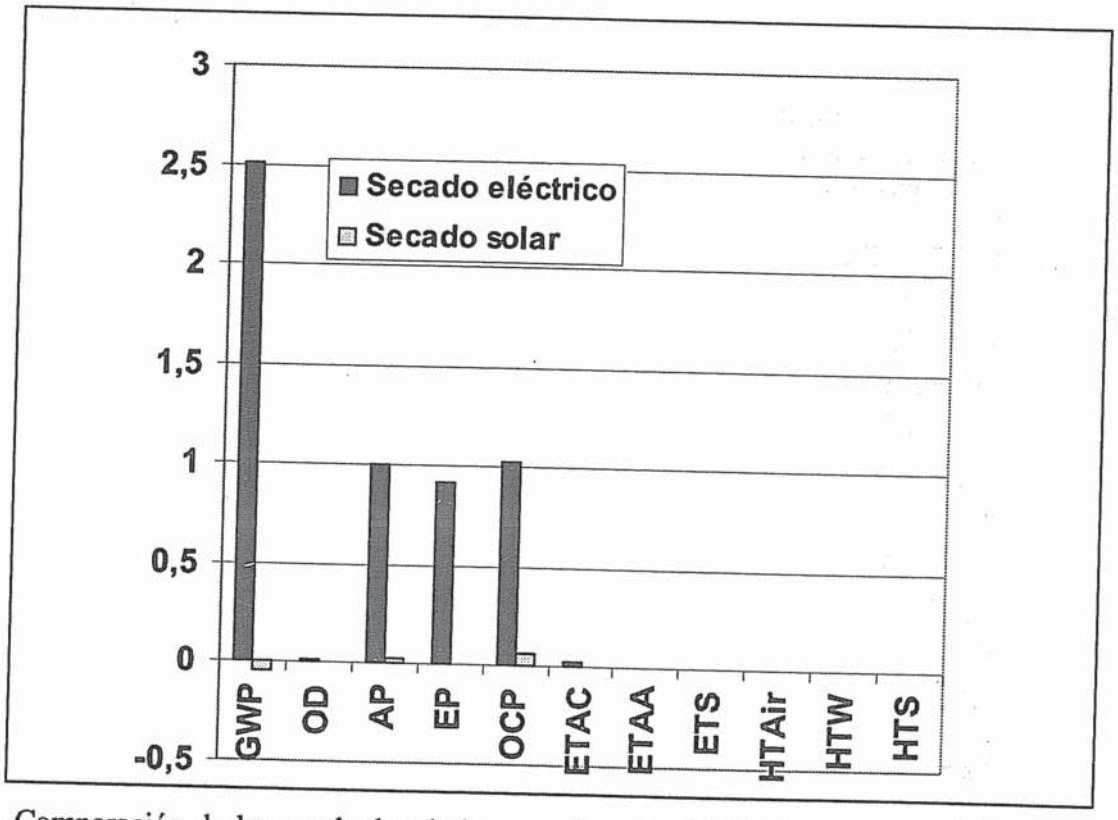


Figura 4. Comparación de los resultados de la normalización (Tabla 3) entre el secado eléctrico y el secado solar

5 CONCLUSIONES

Para el secado eléctrico las categorías de mayor impacto son el calentamiento global, el potencial de acidificación, el de eutrofización y el de formación de smog. En cuanto al secado solar la categoría ambiental que presenta el mayor impacto es la formación de smog. Además los impactos ambientales son mayores para todas las categorías de impacto analizadas en el secado eléctrico en comparación con el secado solar. Se observa la notable ventaja ambiental del secador solar comparado con la alternativa eléctrica, aún sin considerar los costos ambientales asociados a la fabricación del secador eléctrico. En próximos estudios se avanzará en la resolución de algunos aspectos metodológicos que requieren mayor estudio, tales como diferencias cualitativas en los productos (que a priori presenta ventajas para el producto solar), energía consumida en hornos industriales de secado de tomate, cantidad de días efectivamente utilizables con secadores solares, teniendo en cuenta las precipitaciones promedio, la heliofanía, y la variación de la radiación solar en distintos momentos.

REFERENCIAS

[1] E. N. Correa, A. Herrerías, A. Albornoz, G. Villarroel & A. P. Arena (2004), Comparación económico-ambiental del uso de energía solar respecto al gas natural para agua caliente sanitaria en la ciudad de Mendoza, Avances en Energías Renovables y Ambiente, Comisión de Publicaciones de ASADES, INENCO, Salta, Vol. 8.

[2] M. Pontin, A. Lema, R. Ritta, A. Sanmartino & M. Ghirardotto, Secadero solar para frutas: estudio de caso, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Comisión de Publicaciones de ASADES, INENCO, Salta, Vol. 9, 2005.

[3] A. P Arena, J. R Canizo & B. M. Sanchez, Perfil ambiental de la generación termoeléctrica en la Argentina en el cuatrienio 1997-2000, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Comisión de Publicaciones de ASADES, INENCO, Salta, Vol. 6, N° 2, 2002.

[4] Metodología del Análisis de Ciclo de Vida, http://www.tesisenxarxa.net/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-0420104-100039//04CAPITOL3.pdf.

[5] Wenzel et al, EDIP-96 method (Environmental Design of Industrial Products), 1997.

ABSTRACT

In this paper, the life cycle analysis is applied for the assessment of the environmental impact of tomatoes drier process at the two alternative processes: solar drier an electric drier. These processes are different in two features, materials construction of drier equipment and energy sources. The aim is to assess the environmental impact associated with the 200g of tomatoes production, produced by both drier processes. It's noted the notable environmental advantage of solar drier compared with electric alternative, yet without consideration of environmental costs associated with drier electric manufacture.

Key Words: tomatoes solar dryer-energy consumption-environmental impact-LCA.

Trayectorias de consumo energético y de emisiones de carbono

S. E. Puliafito
epùliafito@frm.utn.edu.ar
Grupo GEAA, Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional / CONICET

H. Cremades
hebe.cremades@frm.utn.edu.ar
Grupo GEAA, Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional

RESUMEN: Desde comienzos del último siglo, el mundo está pasando por una importante transición demográfica que probablemente impactará en el crecimiento económico. Demógrafos e investigadores sociales intentan comprender las causas de tal transición, así como también sus vastas implicaciones. Dichos conocimientos ayudarán a predecir otras tendencias importantes de la demanda de energía primaria y la emisión de carbono a la atmósfera, que podrían conllevar a un significante cambio del clima. Una de las preguntas más acuciantes de este momento se refiere a determinar el futuro consumo energético mundial y su implicancia en las políticas de cambio global climático. Para responder a este interrogante, este artículo propone un conjunto de ecuaciones diferenciales acopladas para describir los cambios de población, el producto bruto interno, el consumo de energía primaria y las emisiones de carbono, modelados como especies en competencia como en las relaciones Lokta-Volterra presa-predador. El modelo descrito se aplica para estudiar las trayectorias históricas del consumo de energía y crecimiento económico para distintos tipos de desarrollos y su impacto en las emisiones de carbono. Los resultados estimados para la evolución temporal de población mundial, producto bruto interno, consumo de energía primaria y emisiones de carbono son calculados para los años 1850-2150. Los escenarios obtenidos están en buen acuerdo con los datos y proyecciones mundiales para los próximos 100 años.

Palabras clave: Dinámica de población – crecimiento económico – consumo de energía primaria – modelo de emisión de carbono – trayectorias históricas de consumo.

1 INTRODUCCIÓN

Los parámetros demográficos han cambiado drásticamente en el último siglo: las mejoras sociales y el cuidado de la salud han disminuido la mortalidad infantil e incrementada la longevidad. Como consecuencia, la población mundial ha aumentado constantemente desde 1800. Sin embargo, desde la década del '70 la tasa de crecimiento ha disminuido en forma constante y a un alto ritmo, demostrando una evidente transición demográfica. Diferentes países y regiones presentan diferentes niveles de dicha transición.

La transición demográfica muy probablemente tendrá un impacto directo en el crecimiento económico, y por ende, el desarrollo de modelos íntegros será cada vez más relevante. Asimismo, estos cambios también impactarán en el consumo de energía primaria y en las emisiones de carbono, un

aspecto muy delicado al tratar sobre cambio climático global.

El crecimiento poblacional siempre ha jugado un papel importante en la evolución del crecimiento económico. Mientras algunos ven a la población como impedimento al crecimiento económico, otros la ven como el mayor contribuyente. Por un lado, un crecimiento poblacional elevado puede llevar a una economía de desarrollo más lento, ya que se necesita mayor inversión para mantener el mismo resultado per cápita [1]. La solución a esta "contrariedad", propuesta por la literatura neoclásica de crecimiento económico, es asumir que la economía crece a través de un progreso técnico exógeno (ver, por ej., [2], [3] y [4]).

Por otro lado, el crecimiento poblacional tiene dos efectos: aumenta el número de consumidores y el número de trabajadores destinados a la actividad productiva y a la investigación, así como también la escala de la economía. Así, los "modelos de crecimiento endógeno" (liderados por Paul Romer y Robert Lucas a principios de los '80), eran capaces de predecir el crecimiento del producto bruto interno (PBI) basándose, no en el progreso técnico exógeno, sino en la existencia de inversión en investigación y desarrollo u otros factores externos que generan crecimiento por sí mismos [5], [6], [7]. Por ende, una mayor población significa una mayor probabilidad de obtener dicho efecto.

El debate sobre las consecuencias del crecimiento poblacional en el PBI se reduce en esencia a los opuestos modelos de crecimiento, exógeno y endógeno; o en otras palabras, a productos decrecientes en contraste con la creación de tecnología para superarlos.

En este trabajo, la dinámica poblacional y el crecimiento económico son tratados como un sistema dinámico descrito por un conjunto de ecuaciones diferenciales ordinarias, en la forma general de especies en competencia. El modelo, basado en las relaciones de Lotka-Volterra [8] y [9]; es del tipo presa-predador y es presentado en la Sección 2. Adicionalmente se intenta abordar en este artículo dos temas centrales: por un lado establecer una base teórica sobre las posibles trayectorias de consumo energético y de emisiones de carbono; y por el otro el impacto de estas emisiones sobre las concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono y su realimentación sobre el mismo desarrollo económico mundial.

Para responder al primer punto se han realizado un análisis histórico de las principales variables de estado del problema, desagregados por grupos de países. El segundo aspecto se ha resuelto incorporando un modelo conceptual de flujos de carbono a fin de determinar los niveles de dióxido de carbono en el aire a partir de las emisiones provenientes de la actividad natural y antrópica.

Este trabajo está organizado en 4 secciones. En la Sección 2, se presenta el modelo de población y crecimiento económico desarrollado por Puliafito [10] y [11]; y se muestra brevemente el modelo de dióxido de carbono atmosférico. En la sección 3 se presentan los resultados de la simulación y se los compara con datos mundiales y desarrollados para un grupo de países representativos. Finalmente se discuten los resultados obtenidos y se concluye el trabajo.

2 DESCRIPCIÓN DEL MODELO EMPLEADO

2.1 *Dinámica poblacional y de PBI*

El modelo desarrollado por Puliafito [10] y [11] toma como punto de partida las relaciones de Lokta-Volterra [8], [9]. Este modelo fue desarrollado con mayor amplitud en [10], por lo que aquí sólo se hará una breve referencia mostrando algunas pequeñas variaciones. Las ecuaciones utilizadas son también conocidas por el nombre de presa-predador, y explican la dinámica de dos (o más) especies en interacción a través de dos (o más) ecuaciones diferenciales ordinarias acopladas. Algunos autores incorporan explícitamente una función de crecimiento logístico para una de las especies, mientras otros, especialmente en el ámbito de la ecología, especifican una respuesta funcional f para describir la interacción entre las dos especies, incluyendo el concepto de capacidad de carga del medio ambiente, [10]:

$$\begin{cases} \dfrac{dp}{dt} = (\alpha_1 + \alpha_3\ f)p + \alpha_2\, g\, p \\ \dfrac{dg}{dt} = \beta_1\, g + \beta_2\, p\, g \end{cases} \qquad (1)$$

Donde p es la población de una especie (por ej., mundial), g la población de la segunda especie (en este caso PBI mundial), mientras que dp/dt y dg/dt son sus respectivos cambios anuales. Los coeficientes α_1 y β_1 representan las tasas de crecimiento de población y PBI; α_2 y β_2 son el mecanismo de control principal en las relaciones de Lokta-Volterra. La respuesta funcional f, se usa para capturar la influencia de la variación del sustrato o la

capacidad de carga en las tasas de crecimiento de las especies consideradas. La experiencia muestra que los cambios más positivos en la cultura y la tecnología surgen en escenarios con una tasa de producto bruto per cápita que aumenta (g/p). Si se utiliza $f = g/p$ el modelo [10] queda expresado como:

$$\begin{cases} \frac{dp}{dt} = (\alpha_1 + \alpha_3\, g/p)p + \alpha_2\, g\, p = \alpha_1\, p + \alpha_3\, g + \alpha_2\, g\, p \\ \frac{dg}{dt} = \beta_1\, g + \beta_2\, p\, g \end{cases} \quad (2)$$

Si los coeficientes α_1 y α_3 son positivos producirán una tasa de crecimiento positiva para p; si α_2 es negativo, producirá una disminución de la tasa de crecimiento, especialmente para valores altos de g. La combinación de ambos coeficientes permite una gran flexibilidad en la dinámica de las variables.

2.2 *Consumo de energía y emisiones de carbono*

Diversos modelos del Panel Internacional de Cambio Climático (IPCC) [12] emplean población y producto económico para estimar el consumo de energía y las emisiones de carbono a la atmósfera. En nuestro modelo [10] y [11] se estiman los cambios anuales de consumo de energía primaria e y las emisiones totales de carbono c asumiendo un comportamiento similar a los cambios de PBI y población. Como de/dt y dc/dt están fuertemente acopladas a dp/dt y dg/dt, se propone un sistema de ecuaciones diferenciales similar a (1) para estimar los cambios anuales en ambas variables:

$$\begin{cases} \frac{de}{dt} = (\varepsilon_1 + \varepsilon_3 \frac{g}{p})\, e + \varepsilon_2\, g\, e \\ \frac{dc}{dt} = (\sigma_1 + \sigma_3 \frac{g}{p})\, c + \sigma_2\, g\, c \end{cases}, \quad (3)$$

donde ε_1 es la tasa de crecimiento natural del consumo de energía por crecimiento vegetativo, ε_3 vincula el consumo de energía a una expansión económica, ε_2 es la disminución del consumo de energía debido a inversión en nuevas tecnologías. Consideraciones similares pueden tenerse en cuenta para cambios en las emisiones de carbono, o sea σ_1 y σ_3 son coeficientes de incremento de emisiones de carbono para una economía en crecimiento; σ_2 representa el control o reducción de las emisiones de carbono a través del aumento de conciencia respecto al medio ambiente en la población y nuevas tecnologías.

Los modelos usados por el IPCC [12] son modelos de tipo bottom-up, donde las variables económicas y poblacionales se usan en forma independiente, no interrelacionadas dinámicamente como en este modelo, sino extrapolando las series temporales de cada variable significativa en forma polinómica, para cada país y tipo de energía. Las variaciones futuras se evalúan luego de acuerdo a la elaboración de escenarios o "historias de vida", por ejemplo crecimiento económico alto y crecimiento poblacional bajo, etc. Entonces el planteo de nuestro modelo es esencialmente diferente, pues asocia las variables significativas bajo la perspectiva de un modelo dinámico de fondo, basado en las ecuaciones de especies en competencia.

2.3 *Modelo de concentraciones ambientales de dióxido de carbono*

Una vez obtenido un modelo de emisiones se plantea la pregunta sobre la influencia que tienen estas emisiones en los niveles de dióxido de carbono atmosférico. Para ello se ha desarrollado un simple modelo de balances de flujos de carbono entre la atmósfera, el suelo, la flora y el océano (Fig 1). Este modelo se ha desarrollado como un conjunto de ecuaciones diferenciales de primer orden:

$$\begin{aligned}
\frac{dN_a}{dt} &= L_{ha}\, c + L_{fa}\, N_f + L_{ca} N_w + L_{oa} N_o - \\
&\quad -(L_{af} - L_{ac} - L_{ao}) N_a \\
\frac{dN_f}{dt} &= L_{af}\, N_a + L_{hf}\, c - L_{fa} N_a \\
\frac{dN_w}{dt} &= L_{ac}\, N_a + L_{hc}\, c - L_{ca} N_w + R_{sc} - R_{cd} \\
\frac{dN_b}{dt} &= L_{fb}\, N_o + R_{wb} - (L_{bf} + L_{bi}) N_b \\
\frac{dN_i}{dt} &= L_{bi}\, N_o - R_{id} - L_{ip} N_i \\
\frac{dN_o}{dt} &= L_{ho}\, c + L_{ao} N_a + L_{bo} N_b + L_{po} N_p \\
&\quad -(L_{bf} + L_{oa} + L_{ob}) N_o \\
\frac{dN_p}{dt} &= L_{ip}\, N_i + L_{op} N_o - L_{po} N_p
\end{aligned} \quad (4)$$

Donde N indica nivel de almacenamiento (o stock) de carbono (en Gtn), L son tasas o flujos de intercambio anuales y R flujos constantes; los

subíndices indican *a*: atmósfera, *h*: emisiones humanas, *f*: flora, *w*: aguas continentales, *o*: motor físico del océano superior, *b*: motor biológico del océano superior, *p*: motor físico del océano profundo, *i*: motor biológico del océano inferior o profundo, *d*: sedimentos oceánico y *s*: suelo. De este modo *Na* significa contenido de carbono en la atmósfera, *Lao* indica flujo de intercambio de la atmósfera al océano superior, *Rid* es la tasa de sedimentación entre el océano inferior y los sedimentos oceánicos. Los datos básicos se tomaron de la literatura [13], [14].

3 SIMULACIONES

Ejemplos de cambios anuales mundiales de población, PBI, consumo de energía y emisiones de dióxido de carbono pueden encontrarse en [10] y [11]. Aquí nos concentramos en analizar las interrelaciones que manifiestan dichos factores, y la concentración de CO_2 atmosférico esperada en la próxima centuria, aplicando el modelo de caja descrito en la sección 2.3.

3.1 *Dióxido de carbono atmosférico*

Uno de los objetivos de esta modelación es analizar el impacto de las emisiones en el crecimiento del CO_2 atmosférico. Se espera que variaciones en las tasas de emisión de CO_2 impliquen cambios en la concentración de CO_2 atmosférico con un retardo de unas pocas décadas. Por otro lado, al modelar la concentración de CO_2 atmosférico, es posible predecir y estudiar los posibles escenarios de estabilización. En la Fig. 2 puede observarse las emisiones calculadas por el modelo, mientras que las Fig. 3 grafica las concentraciones de CO_2 calculadas a partir de los datos de la Fig. 2, en comparación con los datos históricos de concentración atmosférica de CO_2 y las predicciones del IPCC para distintos escenarios. Debe notarse que para obtener estos resultados se corrieron simultáneamente el juego de ecuaciones (2), (3) y (4).

3.2 *Trayectorias de desarrollo*

A fin de constatar el comportamiento del modelo en los distintos grupos de países, se ha graficado la evolución de los valores per cápita de emisiones de CO_2 en función de los de PBI (Fig. 4) y en función de la energía per cápita (Fig. 5). Se obtienen de este modo las aquí denominadas trayectorias de desarrollo, para el caso del mundo y sólo algunos países representativos entre los años 1980 y 2005. Para la mayoría de estos países queda claro que a medida que su PBI per cápita crece, también aumentan las emisiones per cápita, aunque con diferencias en la pendiente de sus curvas. Para algunos pocos países, como Sudáfrica, la relación entre los valores per cápita de emisiones y PBI no ha variado linealmente en forma significativa. Por último, un ínfimo número de países muestran una disminución de las emisiones per cápita a medida que su PBI per cápita sigue creciendo, tal es el caso de Alemania y otros países europeos. En estos países, esta tendencia constante o negativa puede deberse, en parte a una mejora y eficiencia tecnológica, tanto en el consumo de energía como de las emisiones de carbono, pero también manifiestan el tipo de economía, donde la producción de bienes se ha exportado, concentrándose en la administración de servicios y productos. En cambio países como China e India tiene una pendiente elevada de consumo de energía y emisiones, es decir necesitan mucha energía, consumida internamente, para aumentar su producto bruto. Por otra parte estos países tienen tecnologías de producción de energía basadas en el carbón mineral, por lo que son fuertes emisores de CO_2. La Argentina, en cambio se comporta bastante similar a la media mundial. En cuanto a los datos globales (rombos con relleno en Fig. 4 y Fig. 5), presenta una trayectoria de desarrollo casi plana, con emisiones per cápita aproximadamente constantes a pesar del crecimiento del PBI per cápita.

El modelo (línea sólida) representa el desarrollo histórico global desde 1850 al 2100. Es interesante señalar que algunos países se encuentran en un estado de desarrollo similar ala media mundial de hace cien años, mientras que los más desarrollados muestran las tendencias futuras de los valores medios mundiales. Esta traslación histórica nos muestra un camino o trayectoria de desarrollo, que puede utilizarse para corregir rápidamente las emisiones de carbono, a fin de que las grandes economías como China, India, etc, no deban necesariamente seguir el mismo trazado que las otras economías con un alto costo de emisión para producir el desarrollo necesario.

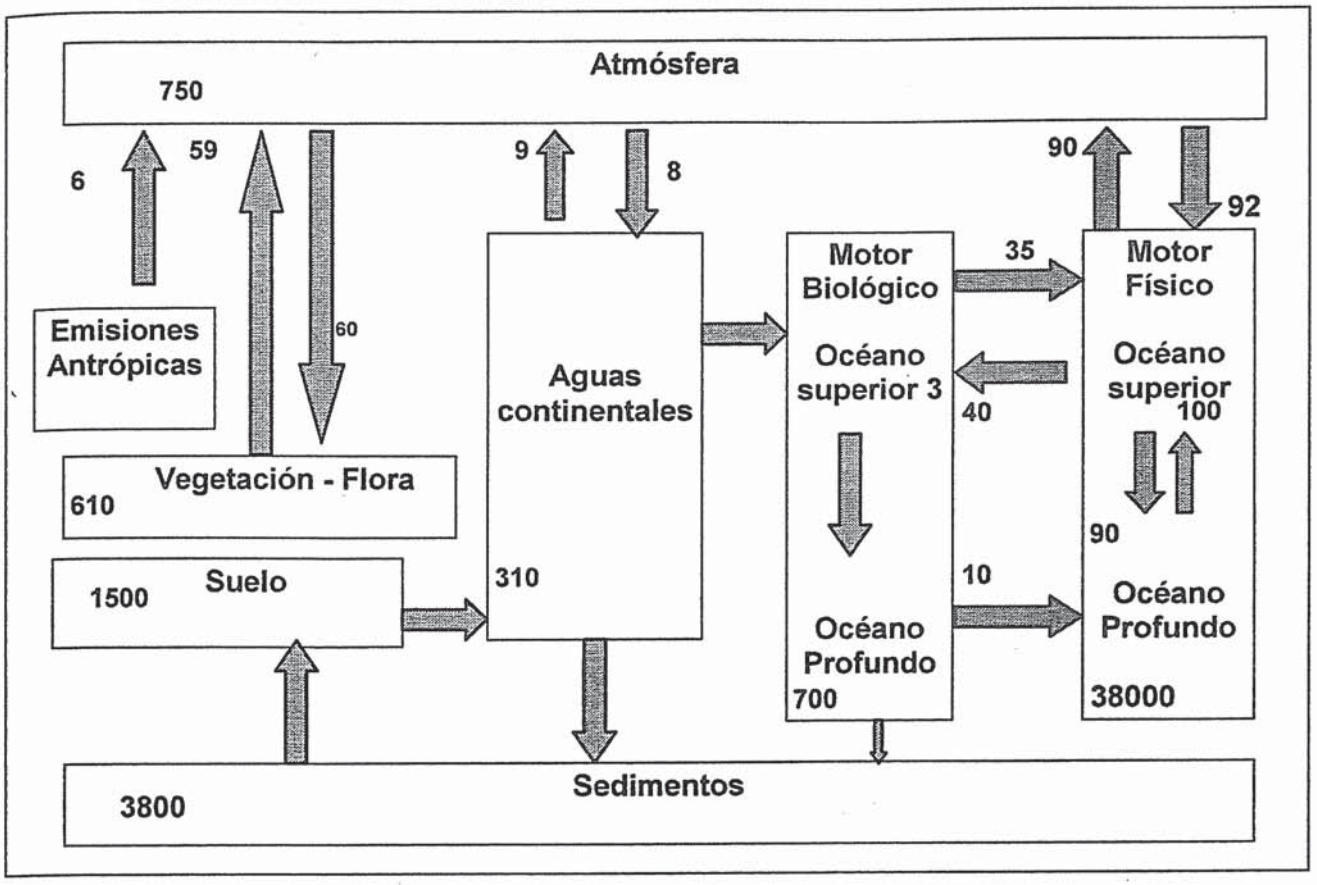


Figura 1. Modelo de flujos y almacenamiento de carbono. Los números en las cajas indican almacenamiento de carbono en GTn, los número junto a las flechas tasas en GTn/año [13], [14].

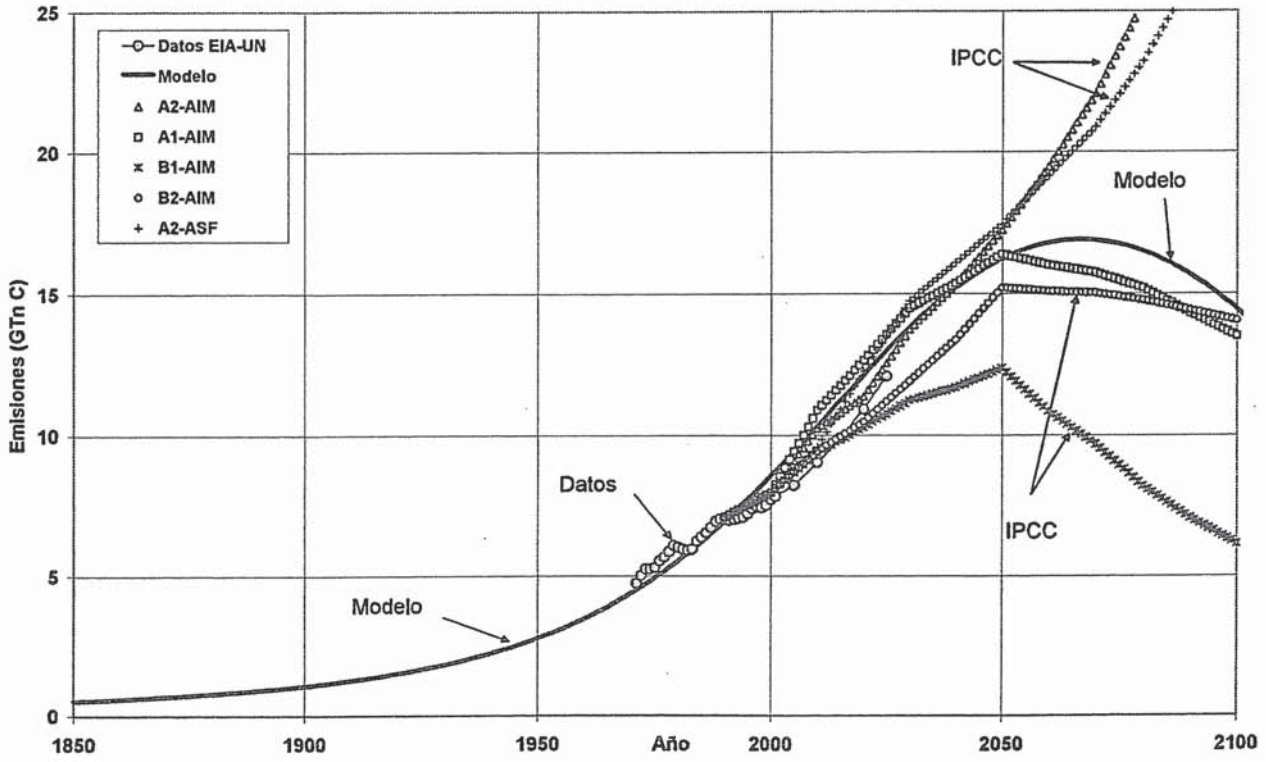


Figura 2. Evolución de las emisiones de dióxido de carbono atmosférico. Los datos reales están representados por círculos grises, las predicciones para 5 escenarios distintos del IPCC por líneas con otros símbolos, y los resultados del modelo aquí utilizado por la línea sólida.

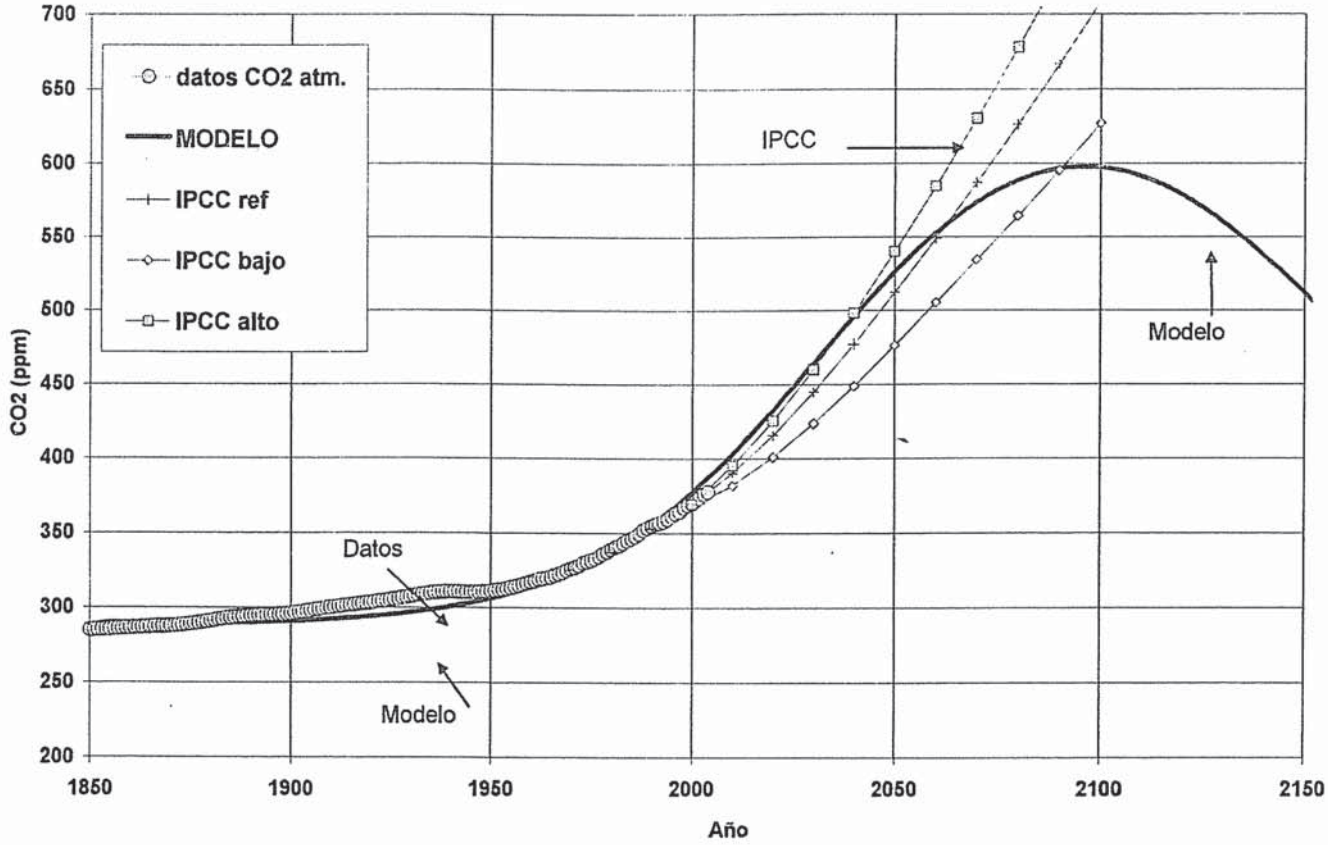


Figura 3. Evolución de la concentración de dióxido de carbono atmosférico. Los valores reales están representados por rombos, las predicciones para 3 escenarios distintos del IPCC por líneas con símbolos, y los resultados del modelo aquí utilizado por la línea sólida.

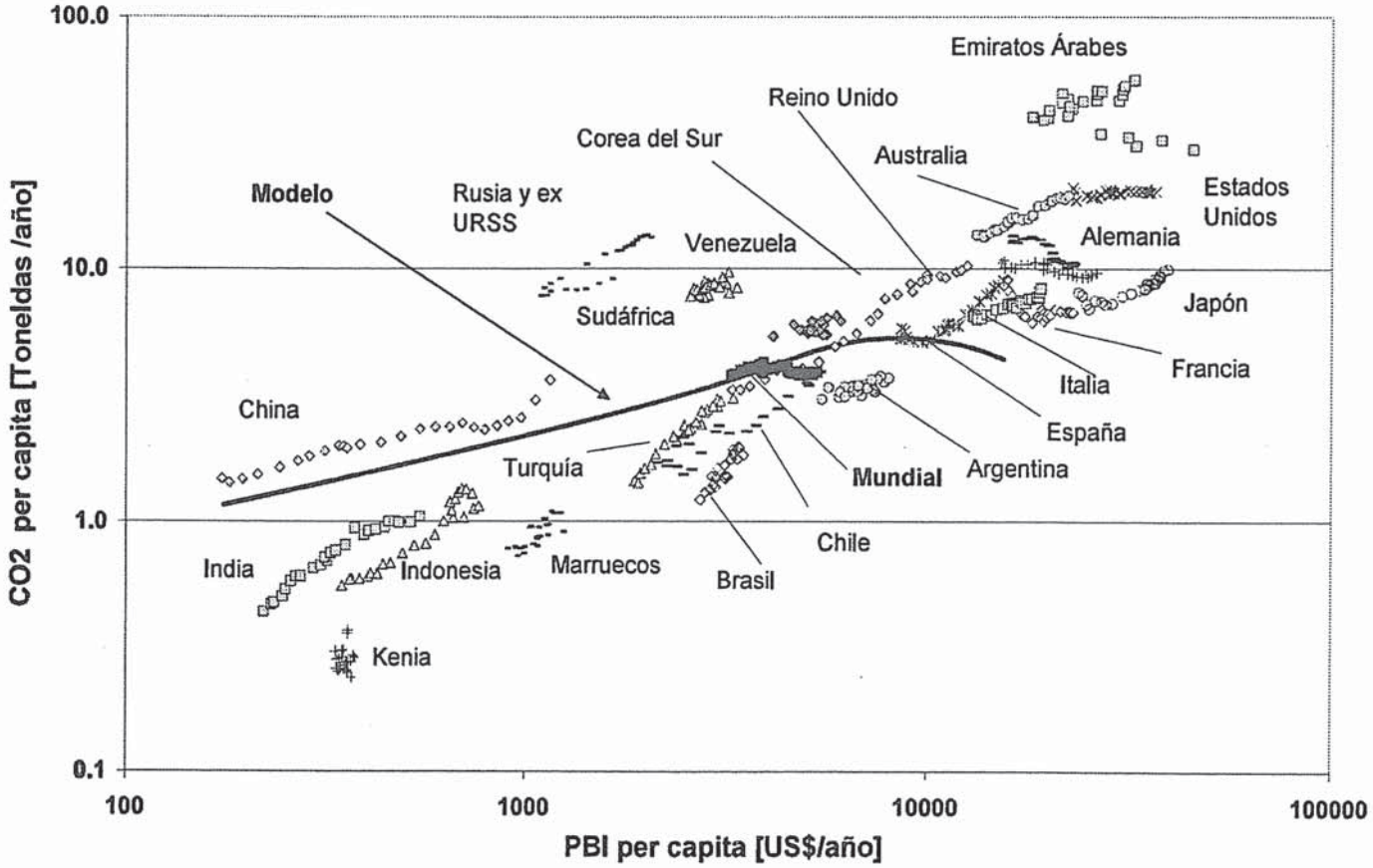


Figura 4. Emisiones de CO2 per cápita vs. PBI per cápita (ver también Fig. 5).

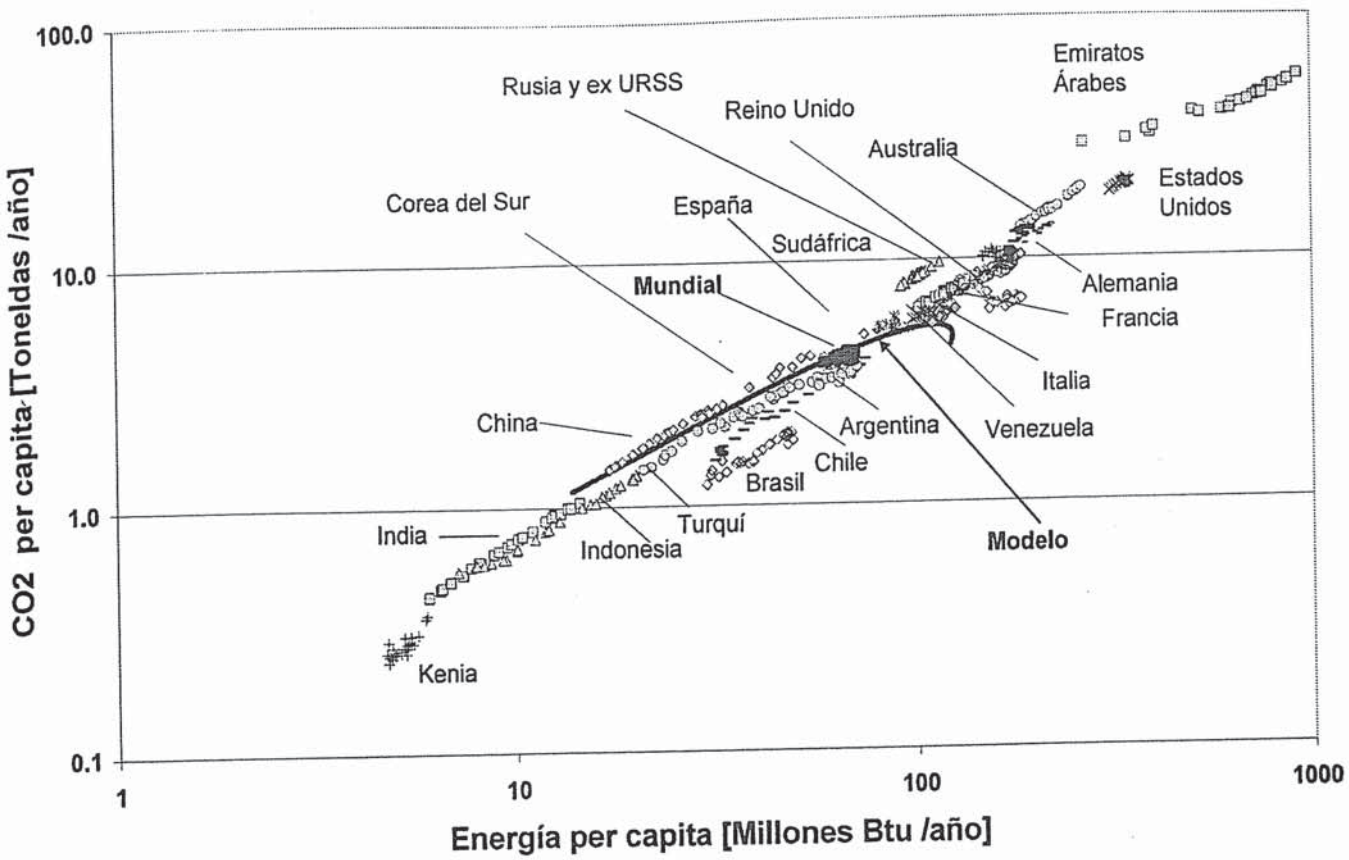


Figura 5. Emisiones de CO_2 per cápita vs. energía per cápita. Los cuadrados rellenos negros indican la serie correspondiente a la trayectoria de desarrollo del mundo, mientras que la línea sólida representa los resultados entregados por el modelo. Para comparación, se muestran además las trayectorias de algunos países representativos. Nótese la escala logarítmica en ambos ejes.

Cabe mencionar además, que al trazar la trayectoria del consumo de energía primaria per cápita en función del PBI per cápita, se evidencia un comportamiento similar al de la Fig. 4.

3.3 *Fuentes de datos históricos*

Los datos a ser ajustados por el modelo, tanto históricos como proyecciones, fueron adquiridos de bases de datos de diversas agencias internacionales, [15] a [18] tales como el United Nations Demographic Yearbook 2004, el US Census Bureau 2006, el World Bank, el International Monetary Fund, y el International Energy Outlook (EIA 2005) y el Internacional Panel for Climate Change (IPCC).

4 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El modelo presentado muestra que los valores calculados de población, PBI (mostrados en [10]), energía y emisiones globales representan adecuadamente el desarrollo histórico global. En este trabajo se ha añadido un modelo de concentraciones de dióxido de carbono atmosférico, basados en un modelo de balance de flujos globales entre la atmósfera y la biosfera. Este simple modelo se usa para determinar el impacto de las emisiones antrópicas en los valores de CO_2 atmosférico y como herramienta para evaluar los posibles escenarios de estabilización, es decir en que año y con valores máximos se estabilizarán las actuales crecientes valores de CO_2, de allí se podrá inferir el posible impacto en le cambio climático actual.

Finalmente se ha estudiado la aplicación del modelo sobre un conjunto de países representativos, a fin de determinar la coherencia del modelo con situaciones de desarrollos social-económicos diversos. Los primeros resultados mostrados en forma compacta en las Figs. 4 y 5, indican que el modelo es bastante robusto para predecir las trayectorias de desarrollo de cada país.

REFERENCIAS

[1] R. M. Solow. A Contribution to the Theory of Economic Growth, Quarterly Journal of Economics, *70*, pp. 65–94, 1956.

[2] F. Ramsey, F. A Mathematical Theory of Saving, Economic Journal, Vol. 38, December, pp. 543-559, 1928.

[3] D. Cass. Optimum Growth in an Aggregative Model of Capital Accumulation, Review of Economic Studies, 32, pp. 233-240, 1965.

[4] T. C. Koopmans. On the Concept of Optimal Economic Growth, in The Econometric Approach to Development Planning. Amsterdam: North-Holland; and Chicago: Rand McNally, 1965.

[5] P. Romer. Increasing Returns and Long-Run Growth, Journal of Political Economy, 94:5, pp. 1002-1037, 1986.

[6] R. Lucas. On the Mechanics of Economic Development, Journal of Monetary Economics, 22:1, pp. 3-42, 1988.

[7] P. Romer. The Origins of Endogenous Growth, The Journal of Economic Perspectives, 8:1, pp. 3-22, 1994.

[8] Lotka, A. J., 1925. Elements of physical biology. Baltimore: Williams & Wilkins Co.

[9] V. Volterra. Variazioni e fluttuazioni del numero d'individui in specie animali conviventi. Mem. R. Accad. Naz. dei Lincei. Ser. VI, vol. 2, 1926.

[10] E. Puliafito. Modelo de crecimiento poblacional y económico: determinación de las emisiones de carbono. S. Rivera, J. Nuñez (eds), EnIDI 2006, pp 7-14, 2006

[11] E. Puliafito, J.L. Puliafito, M. Conte Grand. Modeling population dynamics and economic growth as competing species: An application to CO_2 global emissions. Aceptado en Ecological Economics (2007).

[12] IPCC International Panel on Climate Change: Special Report on Emissions Scenarios. N. Nakicenovic and R. Swart (Eds.), Cambridge University Press, UK, 2000.

[13] Sabine, C. L. et al.: Current status and past trends of the global carbon cycle, pp. 17-44, in C. B. Field and M. R. Raupach (Eds.) The Global Carbon Cycle: Integrating Humans, Climate, and the Natural World. Island Press. 2004.

[14] Houghton, R.A. Balancing the Global Carbon Budget, Annual Rev. Earth Planet. Sci. 5:313–47, pp, 313-348, (2007).

[15] United Nations. World Population Prospects: The 2004 Revision: http://www.un.org/esa/population/unpop.htm.

[16] U.S. Census Bureau. Total Midyear Population for the World: 1950-2050, 2006 http:// www.census.gov/ipc/www/worldpop.html.

[17] IMF. International Monetary Fund: World Economic and Financial Survey, World Economic Outlook, The Global Demographic Transition, September 2004. http://www.imf.org/external/index.htm.

[18] EIA. Energy Information Administration: International Energy Outlook 2005, www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/index.html.

ABSTRACT

Since the beginning of the last century the world is experiencing an important demographic transition, which will probably impact on economic growth. Many demographers and social scientists are trying to understand the key drivers of such transition as well as its profound implications. A correct understanding will help to predict other important trends of the world primary energy demand and the carbon emission to the atmosphere, which may be leading to an important climate change. One of the most challenging issues is the determination of future world energy consumption and its consequences to global change policy. To answer this question, this paper proposes a set of coupled differential equations to describe the changes of population, gross domestic product, primary energy consumption and carbon emissions, modeled as competing-species as in Lokta-Volterra prey-predator relations. The predator–prey model is well known in the biological, ecological and environmental literature and has also been applied successfully in other fields. This model is applied to determine the historic trajectories' of world energy consumption and economic growth for several levels of developments associate to its impact on carbon emissions. The estimated results for the temporal evolution of world population, gross domestic product, primary energy consumption and carbon emissions are calculated from year 1850 to year 2150. The calculated scenarios are in good agreement with common world data and projections for the next 100 years.

Key Words: Population dynamics – economic growth – primary energy consumption – carbon emission model – prey-predator model

Educación a distancia: primeras experiencias en la enseñanza de grado de la Facultad de Ingeniería

D. Fernández & M. Guitart
dfdez@.uncu.edu.ar & monicaguitart@hotmail.com.ar
Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo

RESUMEN: En el presente trabajo se exponen los resultados de un estudio experimental, realizado en el año 2006, con alumnos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo. El objetivo fue desarrollar una propuesta educativa con modalidad a distancia para el curso de Estadística de la carrera de grado. En la etapa preliminar se trabajó en la capacitación de tutores, definición del perfil del destinatario, producción de medios y materiales, determinación del volumen de trabajo del estudiante y selección de los sujetos de la muestra. La experiencia se realizó con una muestra voluntaria de alumnos (36) que cursaron en la modalidad a distancia. Durante el desarrollo de la misma se midieron una serie de indicadores para el posterior análisis comparativo. Se observó que los estudiantes que cursaron en la modalidad a distancia, en general, lograron un desempeño igual o mejor que los de la modalidad presencial. Para probarlo, se realizó un análisis estadístico comparativo de las calificaciones históricas y las registradas durante la experiencia. También, se encontró una disminución significativa del volumen de trabajo en los alumnos del grupo experimental (modalidad a distancia). Actualmente se desarrolla la experiencia extendida a todos los alumnos de la asignatura (240).

Palabras clave: Educación a distancia – Enseñanza de grado – Ingeniería

1 INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se exponen los resultados de un estudio experimental realizado, con alumnos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo, en la provincia de Mendoza, República Argentina, durante el año 2006.

La experiencia se refiere a la implementación del Proyecto Aula Virtual de Estadística, Ref. [1], concebida como una dimensión del espacio en la que la educación a distancia no prescinde del docente, ni deja de lado la relación profesor-alumno y posiciona a la tecnología como el nexo que facilita la relación creativa entre educación y virtualidad. Su diseño se realizó teniendo en cuenta los criterios generales establecidos en el "Plan de acción para el desarrollo de la educación a distancia en las unidades académicas de la Universidad Nacional de Cuyo". En dicho plan, la modalidad a distancia es caracterizada como una modalidad educativa que propone formas específicas de mediación de la relación educativa entre los actores del proceso de enseñanza y de aprendizaje, con referencia a modelos pedagógicos específicos. Dicha mediatización debe realizarse utilizando una gran variedad de recursos (materiales de estudio, tecnologías de comunicación y estrategias de interacción), buscando incorporar los más idóneos y potentes desde el punto de vista metodológico y técnico y comprendiendo las restricciones de los soportes utilizados.

El espacio curricular en el que se implementó el proyecto se denomina Estadística Técnica, corresponde a las Ciencias Básicas, es común a todas las especialidades que se imparten en la casa de estudios, tiene una carga horaria de 60 horas y se dicta en el cuarto semestre de la carrera.

El objetivo general de la experiencia fue desarrollar una propuesta educativa con la modalidad a distancia, para el curso universitario de introducción a la Probabilidad y la Estadística, en carreras de Ingeniería. Se trabajó bajo la hipótesis de que, en la modalidad a distancia, es posible lograr resultados comparables (iguales o mejores), que los que se obtienen en la modalidad presencial. A tal fin, se trabajó con una muestra voluntaria de alumnos (36) que cursó la asignatura en la modalidad a distancia, mientras que el resto de los alumnos (162) lo hizo en la modalidad presencial.

2 PERFIL DEL DESTINATARIO DEL CURSO

Si bien se tenía amplia experiencia con los estudiantes de la unidad académica donde se implementó la experiencia, no se tenía información suficiente referida a algunos indicadores que podían influir de manera significativa en el desarrollo del proyecto y en sus resultados. Por ejemplo, ¿cuál es la predisposición de los estudiantes al momento de optar por el curso en la modalidad a distancia?, ¿qué proporción de alumnos ha tenido experiencias previas en la modalidad a distancia?, al momento de optar por dicha modalidad en la asignatura, ¿de qué manera influye la experiencia de haber tomado el curso de nivelación para el ingreso a la Facultad en la modalidad a distancia?, ¿cuáles son las habilidades de los estudiantes en el uso de las herramientas informáticas básicas para la modalidad a distancia?, ¿cuál es el porcentaje de alumnos que tienen computadora en sus domicilios y qué proporción de éstos dispone de conexión a internet?, si la conformación del grupo experimental se realizara por decisión voluntaria, ¿qué tan representativa sería la muestra?

A tal fin y como una actividad preliminar del proyecto, se diseño una encuesta para el desarrollo del que se denominó Proyecto Perfil, orientado a dar luz sobre tales interrogantes. Los resultados de la encuesta, realizada con los alumnos del ciclo anterior al que se implementó la experiencia describen el perfil del destinatario del curso del siguiente modo: Tiene una edad promedio entre 19 y 20 años y en su clase hay mayoría de hombres (81%). En promedio, cursa 4 materias, ha cursado 11 y ha aprobado 9. En la clase de Estadística encontrará que el 50% de sus compañeros lleva la carrera al día, poco menos del 1% cursa la asignatura anticipadamente por disponer de créditos para ello y casi el 20% de sus compañeros tiene un atraso de un año en su carrera. Dispone de computadora en el lugar donde vive (90%) y tiene conexión a internet (69%). Se autoevalúa con habilidades aceptables (entre bueno y excelente) en el uso de internet (90,3%), del correo electrónico (95,6%), del procesador de texto (95,6%) y de la planilla de cálculo (88,6%). Prácticamente, no tiene experiencia en la modalidad a distancia (90,4%) y si la tiene, la ha adquirido en el curso de nivelación para el ingreso a la Facultad. No obstante, muestra interés por la opción del curso en la modalidad a distancia (27%). Si el estudiante ha realizado el curso de ingreso a la Facultad en la modalidad a distancia, la disposición de optar por el curso de Estadística en la modalidad a distancia aumenta significativamente (de 27% a 54,6%). Debe pensar que llevar adelante la asignatura, en promedio, le demandará unas 10 horas semanales, y que para cursar todas las asignaturas del semestre, deberá dedicar un promedio de 53 horas semanales.

Dispone de material abundante que lo acompaña en la autogestión del aprendizaje y lo evalúa positivamente (entre el 70% y el 96%). Cuando se le ofrece la posibilidad de cursar en la modalidad a distancia señala como ventajas de la misma, fundamentalmente, la posibilidad de organizar el uso de su tiempo (78,3%), el ahorro que implica el no trasladarse a la universidad y consumir alimentos fuera del hogar (13,9%). Frente a la posibilidad de optar por el cursado en la modalidad a distancia, siente como gran desventaja la falta de contacto personal con el docente (78,3%). Teme que esta modalidad le haga retrasar sus estudios (13,9%) al considerar que necesita de alguien que lo "empuje" a llevar las tareas al día. En igual medida, le preocupa no tener la posibilidad de consultas personales con el docente (13,9%).

3 LOS SUJETOS DE LA MUESTRA

La experiencia se realizó con una muestra de 36 alumnos que cursaron en la modalidad a distancia (grupo experimental), en paralelo con 162 que lo hicieron en la modalidad presencial (grupo control). Para definir el tamaño de la muestra se tuvieron en cuenta los lineamientos generales establecidos en el

Plan de Acción para el Desarrollo de la Educación a Distancia en las Unidades Académicas de la Universidad Nacional de Cuyo, el recurso humano (relación docente/alumnos), la infraestructura y el equipamiento informático disponible.

Se pensó que la selección compulsiva de los sujetos para conformar la muestra produciría situaciones incómodas de resolver y que podían afectar negativamente, no sólo a la enseñanza, sino también al aprendizaje. También, se tenía conciencia de que una muestra voluntaria podría conducir a resultados sesgados. No obstante, priorizando la decisión de los alumnos, se optó por conformar una muestra voluntaria y estudiar la representatividad de la misma para probar la hipótesis de partida. Los primeros estudiantes convocados fueron los que, en la encuesta del Proyecto Perfil mencionado antes, optaron por el cursado de la asignatura en la modalidad a distancia. Con ellos, se implementó un Taller de Ambientación en el semestre anterior al dictado del curso que tuvo un propósito múltiple: afianzar la decisión de los convocados, capacitar a los alumnos en el uso de las herramientas del campus virtual y con ello aprovechar un tiempo extracurricular, validar algunas estrategias diseñadas para la modalidad a distancia e iniciar a los tutores en el uso de las herramientas del aula virtual.

Mientras tanto, se realizó un minucioso análisis de la representatividad de los preseleccionados. El análisis de los cambios producidos entre el momento de la conformación de la muestra y el inicio del cursado, reveló la necesidad de profundizar el estudio de las calificaciones con el fin de validar los resultados que se obtuvieran en la investigación. En pocas palabras, la ausencia de alumnos de bajo rendimiento en la muestra (con promedio inferior a cinco puntos), que en el grupo de los que cursaron la asignatura en la modalidad presencial representó el 22,5%, prevenía sobre la posibilidad de obtener resultados sesgados, si no se tenía en cuenta el efecto.

A tal fin, se realizó el análisis del promedio general de las calificaciones históricas y también el de las calificaciones obtenidas en cada espacio curricular. El resultado de este análisis se comparó con el obtenido a partir de las calificaciones observadas durante el proceso de la experiencia, a los efectos de probar si los resultados obtenidos en la modalidad a distancia eran comparables a los que se obtuvieran en la modalidad presencial, tal como se verá en los resultados que se presentan en el apartado 5.

4 DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA

Algunas actividades preliminares, desarrolladas antes de la implementación del cursado a distancia, ya han sido descriptas en los apartados anteriores, por ejemplo, el Proyecto Perfil y conformación de la muestra. Hubo otras actividades preliminares que tuvieron orientaciones distintas, a saber: revisión de antecedentes sobre el tema, conformación del equipo de trabajo, gestiones administrativas, académicas y técnicas, necesarias para la implementación de la modalidad a distancia en la unidad académica, reformulación de la programación de la asignatura, producción de materiales para el curso, construcción del aula virtual en la plataforma del Campus Virtual de la Universidad, definición de las variables a investigar, diseño de los instrumentos para la recolección de datos y capacitación de los tutores.

La implementación de la experiencia propiamente dicha se realizó entre los meses de agosto y noviembre del año 2006. Los alumnos de ambos grupos, a distancia y presencial, comenzaron el cursado simultáneamente. Los de la modalidad a distancia fueron agrupados en cuatro comisiones y cada una de ellas estuvo a cargo de un tutor. El cursado se desarrolló en quince semanas y se cumplió el cronograma semanal de actividades planificado. Además del encuentro de presentación del curso, en el que se dio la bienvenida y se impartieron las directivas generales, hubo tres encuentros presenciales en correspondencia con las tres evaluaciones integradoras que se tomaron durante el cursado. En ambas modalidades, las evaluaciones fueron presenciales, los alumnos de ambas modalidades rindieron los mismos exámenes, tanto en cantidad, como en contenidos y alcance, y se aplicó el mismo criterio de corrección. En el apartado siguiente se presentan los resultados comparativos de ambos grupos.

5 RESULTADOS DEL ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS CALIFICACIONES

En adelante, se utiliza la notación MaD para referirse a los estudiantes que cursaron la asignatura Estadística Técnica en la modalidad a distancia y la notación MP para los estudiantes que lo hicieron en la modalidad presencial. Debe tenerse presente que dicha asignatura es la única que se imparte en la modalidad a distancia, por lo tanto, en los apartados siguientes, el promedio MaD debe ser interpretado como el promedio de calificaciones de los alumnos

en el espacio curricular respectivo que cursaron Estadística Técnica en la MaD.

5.1 *Promedio general de las calificaciones históricas por espacio curricular*

La Tabla 1 resume el análisis comparativo de las calificaciones históricas de los estudiantes, desde el ingreso a la universidad hasta la fecha del proyecto.

Tabla 1. Promedio general de las calificaciones históricas por espacio curricular

Asignatura	Promedio MP	Promedio MaD	Diferencia de Medias	Diferencia Significativa	*p value*	*n* MP	*n* MaD
Física II	4,78	7,67	-2,89	-1,36	0,0493	100	15
Química Orgánica	6,19	7,75	-1,56	*	*	47	4
Física I	5,53	6,88	-1,35	-0,45	0,0499	226	42
Cálculo Numérico	5,76	7,06	-1,30	-0,09	0,0493	112	18
Análisis Matemático II	5,55	6,70	-1,15	-0,18	0,0495	139	27
Química General	4,62	5,63	-1,01	*	*	50	8
Química Gral. e Inorgánica	5,63	6,57	-0,94	-0,14	0,0480	152	30
Algebra	4,78	5,63	-0,85	-0,30	0,0471	266	54
Análisis Matemático I	4,56	5,37	-0,81	-0,13	0,0480	277	46
Geometría Analítica	7,78	8,54	-0,76	-0,04	0,0494	184	37
Introducción a la Ingeniería	8,68	9,41	-0,73	-0,39	0,0495	133	34
Dibujo	6,27	6,82	-0,55	*	*	59	11

Se observa que el promedio de calificaciones del grupo experimental (MaD) fue mayor que el del grupo control (MP) en todas las asignaturas. En tres asignaturas (*) la diferencia de los promedios no fue significativa. En el resto de ellas, el promedio de los alumnos del grupo experimental (MaD) resultó significativamente (p<0,05) superior al del grupo control (MP). La mayor diferencia se observó en las asignaturas Física II y Física I (1,36 y 0,45 puntos, respectivamente). En el resto de ellas la diferencia significativa fue siempre menor de 0,40 puntos.

5.2 *Calificaciones obtenidas durante el proceso de la experiencia*

Durante el desarrollo del curso se tomaron tres evaluaciones de diagnóstico y seguimiento, y tres evaluaciones integradoras, identificadas con la sigla EI en la Tabla 2; sólo estas últimas tuvieron el carácter de acreditables. Ver Tabla 2.

Tabla 2. Promedio de las calificaciones obtenidas durante el desarrollo de la experiencia

Evaluación Integradora	Promedio MP	Promedio MaD	Diferencia de Medias	Diferencia Significativa	*p value*	*n* MP	*n* MaD
EI-1	6,13	6,71	-0,58	-	-	157	34
EI-2	4,89	6,09	-1,20	-0,504	0,0499	144	32
EI-3	5,16	6,03	-0,87	-0,215	0,0494	130	32
Todas juntas	5,42	6,29	-0,87	-0,475	0,0497	431	98

Al comparar el rendimiento de los estudiantes mediante el promedio de las calificaciones, al igual que en el desempeño histórico, siempre se observó que el grupo experimental (MaD) tuvo un mejor desempeño que el grupo control (MP). En la primera evaluación, si bien la diferencia resultó a favor de los estudiantes de la modalidad a distancia, no fue significativa; en las dos restantes se logró una diferencia de medias estadísticamente significativa (p < 0,05) a favor de los alumnos de la misma modalidad. En la segunda evaluación la diferencia fue de medio punto (0,504) y resultó de casi medio punto (0,475) al agrupar todas las calificaciones. En la Fig. 1 se presentan los intervalos del 95% de confianza para las medias de las calificaciones de los estudiantes durante la experiencia, por evaluación integradora y por modalidad de cursado y en la Fig. 2 el gráfico de caja múltiple correspondiente.

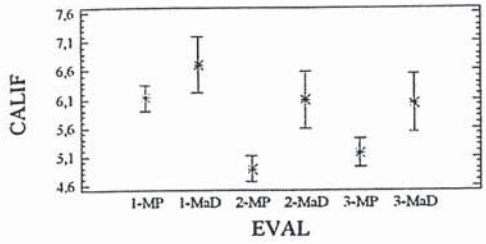


Figura 1. Media de calificaciones (LC; 95%) durante la experiencia, por evaluación y modalidad de cursado.

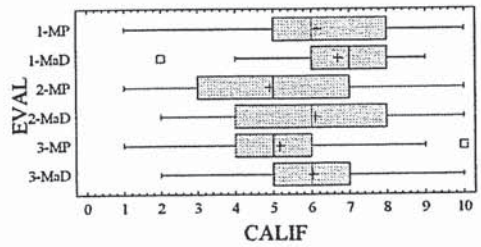


Figura 2. Calificaciones de los estudiantes durante la experiencia, por evaluación y modalidad de cursado.

5.3 *Situación alcanzada al finalizar el cursado*

En función de la calificación de desempeño, al finalizar el curso, el alumno puede alcanzar la promoción directa de la asignatura (Promocionados), alcanzar la regularidad de la misma y quedar en condiciones de rendir el examen final para aprobar la materia (Regulares), o bien, quedar en condición de libre (Libres), en cuyo caso debe recursar la materia. Los resultados, por modalidad de cursado, se presentan en la Tabla 3.

6 RESULTADOS DE LA MEDICIÓN DEL VOLUMEN DE TRABAJO DEL ESTUDIANTE

A los fines del presente trabajo, debe interpretarse como volumen de trabajo de los estudiantes, a la suma de las horas de cursado, de estudio y de trabajo independiente extraclase. La medición semanal de los tiempos tuvo los siguientes objetivos: a) estima r, en horas, el volumen de trabajo de los estudiantes en el semestre en el que se imparte la asignatura; b) comparar el volumen de trabajo medido (currículo implementado) con el volumen de trabajo previsto en el plan de estudios (currículo pretendido), por modalidad de cursado, antes y después de implementar la experiencia. Los resultados del análisis semanal se resumen en la Tabla 4 y se han representado en la Fig. 3.

Tabla 3. Situación alcanzada al finalizar la experiencia, por modalidad de cursado

	MP		MaD		Total	
Situación al finalizar el cursado	Cantidad	%	Cantidad	(%)	Cantidad	(%)
Libres	57	35,2%	7	19,4%	64	32,3%
Regulares	75	46,3%	16	44,4%	91	46,0%
Promocionados	30	18,5%	13	36,1%	43	21,7%
Totales	162	100%	36	100%	198	100%

Tabla 4. Volumen de trabajo semanal del estudiante, en horas. Años 2005 y 2006.

Asignatura: Estadística Técnica	Etapa		
	Diagnóstico Año 2005	Durante la experiencia	
		Año 2006	Año 2006
Modalidad de cursado	MP	MP	MaD
A) Promedio de horas de cursado semanal:	4,00 (1)	3,56 (2)	-
B) Promedio de horas de trabajo semanal independiente extraclase:	6,03	5,90	7,60
Volumen de trabajo = (A) + (B)	10,03	9,46	7,60

(1): No se midieron. El Plan de Estudios establece cuatro horas de cursado semanal. (2): Horas medidas con los alumnos que cursaron la asignatura en la modalidad presencial.

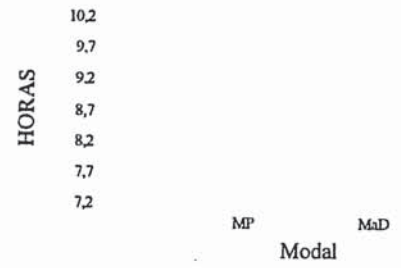


Figura 3. Promedio horas de trabajo semanal (LC; 95%), por modalidad de cursado. Año 2006

6.1 *Antes y después de la experiencia*

Para la modalidad presencial, Ref. [2], los resultados muestran que antes del rediseño del curso (año 2005) los alumnos dedicaron un promedio de 6,03 horas semanales de trabajo independiente extraclase, mientras que los tiempos observados una vez rediseñado el curso (año 2006) arrojaron, para los alumnos de la misma modalidad, un promedio de 5,90 horas por semana (ver Fig. 3). El análisis comparativo de las horas promedio revela que la diferencia de los tiempos medios no es significativa ($p < 0,05$) y se concluye que el rediseño del curso no modificó el volumen de trabajo del estudiante en la asignatura. Cuando se compara la dispersión de los tiempos semanales medidos con los estudiantes del ciclo 2005 (diagnóstico), con los del ciclo 2006 (durante el proceso de la experiencia), se observa que los tiempos de los estudiantes del ciclo 2005 estuvieron más dispersos que los tiempos de los estudiantes del ciclo 2006 (F=1,26659; p=0,0472).

6.2 *Durante la experiencia y por modalidad de cursado*

Cuando la comparación del volumen de trabajo se hace por modalidad de cursado entre los alumnos que cursaron la asignatura durante el proceso de la experiencia (ciclo 2006), el análisis de la diferencia de los tiempos medios ($\mu_{MP} - \mu_{MaD}$), revela que la diferencia entre las horas promedio, es de al menos 1,25 horas (p=0,0478). Cuando se compara la dispersión de los tiempos, se concluye que los de la modalidad presencial estuvieron menos dispersos que los de la modalidad a distancia (F=0,760; p=0,0027).

7 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LAS VARIABLES DIDÁCTICAS DEL CURSO

Cada una de las tres evaluaciones integradoras que se tomaron, fueron redactadas en el marco de una situación problemática a resolver, empleando el formato de pruebas objetivas y también el de desarrollo. Para el análisis de las respuestas de los alumnos se tuvieron en cuenta 58 variables didácticas, correspondientes a los distintos elementos y campos de aplicación que fueron identificados en las evaluaciones. Para cada variable se determinó el porcentaje de respuestas correctas por modalidad de cursado y se encontró que en 24 variables la diferencia del porcentaje de respuestas correctas fue significativa a favor de los alumnos de la modalidad a distancia; a modo de ejemplo, la mayor diferencia significativa se obtuvo para la variable N° 28: "Interpreta, en el contexto del problema, el valor obtenido" (p_{MP} = 42,31%; p_{MaD} = 72,73%; Dif. Sign. = –0,1609). Sólo en 4 de las variables estudiadas la diferencia significativa observada resultó a favor de los alumnos de la modalidad presencial; a modo de ejemplo, la mayor diferencia significativa a favor de estos alumnos se obtuvo para la variable N° 1: "Identifica medidas descriptivas de un texto y en un contexto" (p_{MP} = 73,08%; p_{MaD} = 60,61%; Dif. Sign. = +0,0369). En las 30 variables restantes, la diferencia observada no resultó significativa. Siempre se trabajó al nivel p<0,05.

8 CONCLUSIONES

Se ha desarrollado una propuesta de enseñanza y aprendizaje en la modalidad a distancia para el curso universitario de introducción a la Probabilidad y Estadística en carreras de Ingeniería. Los resultados muestran que, en la modalidad a distancia, es posible conseguir resultados comparables a los que se obtienen en la modalidad presencial, al menos para el espacio curricular en el que se implementó la experiencia y en las condiciones descriptas. El curso se desarrolló según lo planificado, no fue necesario recurrir a clases presenciales para apoyar la enseñanza, las autoridades de la institución académica evaluaron los resultados positivamente y los alumnos opinaron que la opción del cursado en la modalidad a distancia debe mantenerse en el futuro.
Si bien el análisis de las calificaciones históricas de los alumnos mostró que el promedio de las calificaciones de los alumnos de la modalidad a distancia en otras asignaturas resultó igual o superior al promedio de quienes cursaron Estadística Técnica en la modalidad presencial, cuando se realizó el

mismo análisis con las calificaciones obtenidas durante el proceso y al finalizar la experiencia del cursado en la modalidad a distancia en la asignatura que se implementó la experiencia, también, el promedio de calificaciones de los alumnos de dicha modalidad resultó igual o superior al promedio de quienes cursaron en la modalidad presencial y la diferencia lograda resultó mayor que la diferencia promedio obtenida en el resto de las asignaturas.
Si se compara el resultado a través de la situación alcanzada al finalizar el cursado, en la modalidad a distancia, también, se observó un mejor desempeño, pues se duplicó el porcentaje de promociones directas y se redujo casi a la mitad el porcentaje de alumnos libres.
El análisis del volumen de trabajo de los estudiantes permitió valorar cuantitativamente un aspecto que no tiene que ver con el nivel cognitivo del aprendizaje, pero que sí lo tiene con la optimización de los tiempos dedicados al mismo. Al comparar el volumen de trabajo de los estudiantes que cursaron en la modalidad presencial, antes y después del rediseño del curso, se advierte que no se modificó el volumen de trabajo. Pero si la comparación se hace por modalidad de cursado, una vez rediseñado el curso, los resultados mostraron una disminución significativa del volumen de trabajo de los estudiantes, a favor de la modalidad a distancia. En resumen, el rediseño del curso no incrementó el volumen de trabajo para la modalidad presencial y lo disminuyó para la modalidad a distancia, con lo cual se infiere que esta última pudo haber contribuido a la optimización de los tiempos de aprendizaje.
Al comparar el significado personal que los estudiantes de ambas modalidades atribuyen a los diferentes objetos del curso, se encontró que, efectivamente, la instrucción supone una mejora del mismo, no sólo por el aumento de la cantidad de estudiantes que utilizan correctamente los distintos elementos de significado incluidos en las tareas, sino también por el aumento del número total de elementos relacionados con las variables que ponen de manifiesto en sus respuestas. En el caso más general, no lo empeora. Sin embargo, estos aumentos no se producen de forma lineal; se observó que la mejora producida tras la enseñanza, es mayor en determinados elementos del significado.
Estos, son algunos elementos que permiten sostener que la propuesta ha cumplido su objetivo.

9 ACCIONES EN DESARROLLO

Actualmente se desarrolla el ajuste de una propuesta extendida a todos los alumnos del curso (240), buscando el punto de equilibrio entre la virtualidad y la presencialidad, optimizando el uso del campus virtual como herramienta pedagógica e incluyendo algunos encuentros presenciales que acompañan la actividad a distancia. Cada encuentro tiene un objetivo específico y en conjunto permiten desarrollar algunas estrategias difíciles de implementar en la modalidad a distancia con una relación docente/alumnos que no sea la óptima.
En el ciclo 2008 se prevé incorporar el uso del aula virtual de la asignatura para ofrecer trayectos alternativos de formación más libres en tiempo y espacio. Uno de estos trayectos consiste en ofrecer la posibilidad de optar por el cursado intensivo, entendido como una metodología de enseñanza y aprendizaje con ritmo de desarrollo centrado en la actividad del estudiante. Actualmente se trabaja en la programación y en la gestión académica y administrativa del mismo.

REFERENCIAS

[1] Universidad Nacional de Cuyo. Proyecto AVE: Aula Virtual de Estadística. Consultado el 28 de mayo de 2007 en el sitio web: http://www.uncu.edu.ar/contenido/skins/unc/download/cat_invest_05_07.zip/Ingenieria/B096.htm, 2007.

[2] D. Fernández & M. Guitart. Volumen de trabajo de los estudiantes y currículo: dos aspectos a tener en cuenta para el diseño del aula virtual. En: Experiencias docentes en ingeniería. Desde el ingreso a la Práctica Profesional Supervisada. Ed. S. Rivera. & J. Nuñez Mc Leod. Vol. I, pp. 277-284, 2006.

ABSTRACT

In the present work, the results of an experimental study made in 2006 are exponed, with students of the Faculty of Engineering of the UNCuyo. The objective was to develop an educative proposal with distance modality for the course of Statistic in Engineering careers. In a preliminary stage, its worked in the qualification of tutors, definition of the profile of the receiver of the course, media production and materials, determination of the volume of work of the student and in the preselection of the individuals of the sample. The experience was made with a voluntary sample of

students (36) who attended in the distance modality. During the development indicators was mensurate, in order to make a comparative analysis with the students who, parallelly, attended the subjet in the presential modality. The results showed that the students who attended in the distance modality, in general, obtained equal or better results than those of the presential modality. In order to prove it, a comparative statistical analysis between the historical qualifications and the registered ones was made during the process of the experience. A significant diminution of the volume of work in the students of the experimental group also was found. Nowadays, it is advanced in the study to implement the proposal with all the students of the subjet (240).

Key Words: Distance modality – Education in degree careers – Engineering

Análisis comparativo de variables didácticas en el curso de Probabilidad y Estadística en las modalidades presencial y a distancia

D.S. Fernández & M.B. Guitart
dfdez@uncu.edu.ar & mguitart@uncu.edu.ar
Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo

RESUMEN: El estudio de las variables didácticas involucradas en los cursos de grado permiten realizar un análisis profundo de las estrategias implementadas por los alumnos para la resolución de problemas. En nuestro estudio las variables didácticas facilitan la comparación del rendimiento de los alumnos del curso de Probabilidad y Estadística en las modalidades presencial y a distancia, permitiendo observar algunas fortalezas y debilidades de cada modalidad a fin de proponer trayectos alternativos para optimizar el proceso de enseñanza y aprendizaje. Al trabajar las fortalezas y debilidades observadas en la modalidad a distancia, más la experiencia en la modalidad presencial con que cuentan los docentes y la institución, es posible pensar en un curso de Probabilidad y Estadística en carreras de Ingeniería, con un modelo de enseñanza y gestión, integrando las ventajas de la educación a distancia, con el apoyo de los probados beneficios de la formación presencial.

Palabras clave: Variables didácticas – Probabilidad – Estadística – Educación Presencial – Educación a distancia

1 INTRODUCCIÓN

1.1 *Breve reflexión sobre el aprendizaje y la enseñanza de la Probabilidad y la Estadística*

Uno de los principales problemas que conlleva la enseñanza y el aprendizaje de la Probabilidad y la Estadística a nivel universitario es la transición del análisis de datos a la inferencia (*Ref.* [1]), ya que el escaso tiempo disponible no siempre permite la maduración de ciertos conceptos y el trabajo con estrategias que promuevan y desarrollen el pensamiento probabilístico y estadístico, a fin de ser usuarios eficientes de la metodología y no simples "calculadores".
Una propuesta de actividades que promueva la reflexión, la puesta en escena de los datos (reales o no), el análisis de los datos de manera exploratoria dentro del contexto en el que están inmersos y la opinión crítica y fundada, colabora para que los contenidos se den de manera significativa y productiva para la vida universitaria y profesional.
Los objetos matemáticos (por ejemplo, medidas de tendencia central, distribución normal, intervalos de confianza, etcétera) emergen de las actividades necesarias para la resolución de este tipo de problemas a través de herramientas semióticas y técnicas que se diferencian según los elementos que están involucradas en ellas.

1.2 *Las variables didácticas*

Las unidades didácticas propuestas para el desarrollo de la asignatura deben presentar una fuerte coherencia e integración para favorecer la enseñanza y el aprendizaje de los conceptos esenciales.

En general, las propuestas didácticas se basan en un trabajo previo del material que permite una mediación pedagógica para el seguimiento de los alumnos. Por otro lado, guían el estudio de los alumnos a fin de generar estrategias que permitan desarrollar ciertas capacidades necesarias para su carrera profesional.
Para decidir cuáles son las capacidades esperadas se identifican ciertos núcleos de aprendizaje y otros aprendizajes afines, tanto previos como posteriores.
La idea integral y la interrelación interna y externa de los conceptos sirve de base para la elaboración de las variables didácticas que organizan y estimulan el aprendizaje.
Las variables didácticas son utilizadas para impulsar el progreso de los alumnos, desde los aprendizajes previos hasta el aprendizaje esperado a través del análisis de las formas en que los alumnos realizan las tareas, mediante técnicas o procedimientos, además, se estudia el nivel de complejidad de cada tarea y las dimensiones que permiten variar las condiciones de realización de una tarea para graduar su complejidad.
El planteo de variables didácticas nos permiten definir claramente los objetivos del curso y enmarcar la evaluación en un contexto de coherencia y eficiencia respecto a los contenidos, el seguimiento, la mediación y la promoción de los alumnos.
Las variables didácticas se trabajan en tres dimensiones: epistémica, instruccional y cognitiva.
La dimensión epistémica, como la identificación de los tipos de tareas, sistemas de prácticas y objetos emergentes implicados en el uso de los nuevos medios instruccionales.
La dimensión instruccional, que comprende la descripción de posibles funciones docentes y discentes, los patrones de interacción, las estrategias para afrontar los conflictos semióticos potenciales, así como la trayectoria mediada, esto es, la distribución en el tiempo de las distintas opciones de las actividades de resolución y de otros recursos complementarios.
La dimensión cognitiva, esto es la caracterización de los significados personales construidos por los estudiantes respecto de los objetos y procesos matemáticos pretendidos.

1.3 *Elementos involucrados en las variables didácticas*

Los cinco tipos de elementos con los que se analizan las variables didácticas, de este trabajo, son:
Elementos extensivos: Las situaciones y campos de problemas de donde emerge el objeto.
Elementos actuativos: Procedimientos y estrategias para resolver los problemas.
Elementos ostensivos: Los recursos lingüísticos y gráficos para representar u operar con los problemas y objetos involucrados.
Elementos intensivos: Propiedades características y relaciones con otras entidades: definiciones, teoremas, y proposiciones.
Elementos validativos: Argumentos que sirven para justificar o validar las soluciones.

2 ANÁLISIS

2.1 *Variables didácticas analizadas*

Las variables didácticas específicas de este trabajo realizado durante el curso de Probabilidad y Estadística en las carreras de Ingeniería en Petróleos, Civil e Industrial de la Universidad Nacional de Cuyo durante el ciclo lectivo 2006, se detallan a continuación en la Tabla 1:

Tabla 1. Análisis de Variables Didácticas

1	Identifica medidas descriptivas de un texto y en un contexto
2	Calcula medidas descriptivas a partir de su relación con otras de ellas
3	Estima valores de medidas descriptivas a partir de su relación con otras de ellas
4	Interpreta características descriptivas en el contexto del caso tratado.
5	Identifica elementos en una tabla de distribución de frecuencias
6	Analiza características descriptivas de un conjunto de datos a partir del análisis de la distribución de frecuencias y sus representaciones gráficas
7	Identifica características del patrón de comportamiento a partir del análisis de gráficas
8	Analiza el patrón de comportamiento en base a las medidas descriptivas
9	Estima medidas descriptivas a partir de las gráficas adecuadas
10	Identifica características descriptivas a partir del análisis y/o la comparación de gráficos de caja y extensiones
11	Identifica características de la puntuación Z en función de las características descriptivas disponibles
12	Identifica características descriptivas a partir de una

puntuación Z
13 Interpreta el coeficiente de correlación de un conjunto de datos
14 Interpreta el coeficiente de determinación de un conjunto de datos
15 Interpreta la covarianza de un conjunto de datos
16 Analiza los cambios que tendrían las características descriptivas si se agregara un determinado dato
17 Analiza la relación entre variables a partir de un texto y en un contexto dado sobre regresión y correlación
18 Analiza la relación entre variables a partir de información (gráfica y simbólica) sobre regresión y correlación
19 Interpreta el coeficiente de determinación de un conjunto de datos
20 Identifica eventos de un texto y en un contexto
21 Identifica probabilidades simples y probabilidades condicionadas de un texto y en un contexto
22 Calcula probabilidades aplicando las reglas de probabilidad
23 Identifica eventos dados en una tabla de frecuencias
24 Identifica probabilidades simples y probabilidades a partir de una tabla de frecuencias
25 Calcula probabilidades a partir de las frecuencias observadas para distintos eventos
26 Asigna probabilidades a una serie de eventos dados
27 Plantea el problema en términos de probabilidades
28 Interpreta, en el contexto del problema, el valor obtenido
29 Calcula probabilidades a partir de modelos de probabilidad de distribuciones discretas
30 Identifica variables aleatorias dentro del contexto de una situación problemática
31 Identifica distribuciones discretas como modelos de probabilidad
32 Identifica parámetros de distribuciones discretas cuando no se presentan explícitamente
33 Identifica las características para realizar aproximaciones entre distribuciones de probabilidad
34 Utiliza aproximaciones entre distribuciones discretas de probabilidad para facilitar el cálculo
35 Calcula probabilidades a partir de modelos de probabilidad de distribuciones continuas
36 Identifica parámetros de distribuciones continuas que no se presentan explícitamente
37 Calcula percentiles a partir de modelos de probabilidad de distribuciones continuas
38 Reconoce la expresión simbólica para el cálculo de la esperanza y de la varianza
39 Reconoce la expresión para el cálculo de la varianza expresada con palabras
40 Calcula la media de una variable discreta según un modelo de probabilidad
41 Identifica información a partir de percentiles
42 Identifica probabilidades a partir de información dada en un contexto
43 Identifica la distribución de probabilidad que caracteriza a la variable en estudio
44 Plantea la solución del problema en términos de probabilidades
45 Identifica las condiciones para calcular un intervalo de confianza para comparar parámetros
46 Identifica el estadístico a utilizar para el cálculo de intervalos de confianza
47 Reconoce relaciones entre variables y concluye estadísticamente al analizar un intervalo de confianza
48 Relaciona los elementos que intervienen en el análisis de intervalos de confianza (nivel confianza-tamaño muestra-error)
49 Calcula tamaños de muestra para estimar distintos parámetros
50 Plantea coherentemente las hipótesis a contrastar, a partir de un texto y en un contexto
51 Identifica el estadístico a utilizar para el contraste de hipótesis
52 Toma decisiones a partir del contraste de hipótesis
53 Identifica en el contexto del problema la necesidad del cálculo del valor de beta
54 Calcula el valor de beta a partir de datos dados en un texto y en un contexto
55 Calcula el valor p a partir de datos dados en un texto y en un contexto
56 Compara el nivel de significancia y el valor p para la toma de decisiones
57 Identifica relaciones entre los elementos que intervienen en el contraste de hipótesis
58 Deduce la probabilidad de cometer error en función de la decisión tomada o de la información disponible

2.2 *Las evaluaciones*

En las distintas evaluaciones tomadas a los alumnos, todas de tipo integrador, se plantearon situaciones problemáticas de opción múltiple y de desarrollo, donde se analizaron cincuenta y ocho variables didácticas, correspondientes a los distintos elementos y campos de estudio.

A continuación se presentan las variables didácticas evaluadas (indicadas por el número que las representa) con la cantidad de alumnos evaluados en cada una de ellas, el porcentaje de respuestas correctas en ambas modalidades y la clasificación de los elementos y dimensiones involucradas.

Las variables didácticas estudiadas corresponden a los elementos ostensivos (O), intensivos (I) y validativos (V), según la siguiente distribución:

Tabla 2. Análisis de Variables Didácticas

VD	nP	nD	Modalidad Presencial	Modalidad a Distancia	Elementos involucrados
1	468	99	73,08%	60,61%	O – I – V*
2	278	57	73,02%	66,67%	I

3	434	90	79,26%	67,78%	O – I – V*
4	156	33	85,26%	93,94%	O – I – V*
5	156	33	98,08%	96,97%	O – I
6	301	64	64,12%	59,38%	O – I – V
7	156	33	72,44%	90,91%	O – I
8	145	31	73,10%	74,19%	O – I – V*
9	156	33	84,62%	93,94%	O – V
10	579	121	67,88%	58,68%	O – I
11	122	24	89,34%	91,67%	I – V
12	156	33	71,79%	54,55%	I – V
13	156	33	83,33%	90,91%	O – V*
14	278	57	48,92%	57,89%	O – V*
15	156	33	66,67%	81,82%	O – V*
16	156	33	79,49%	84,85%	O – I – V*
17	122	24	87,70%	75,00%	O – I – V*
18	122	24	77,87%	87,50%	O – I – V*
19	122	24	40,98%	37,50%	O – V*
20	156	33	66,03%	75,76%	O – V*
21	156	33	66,03%	75,76%	O – I – V*
22	312	66	59,62%	80,30%	I
23	156	33	85,26%	100,00%	O – I
24	156	33	85,26%	100,00%	O – I
25	156	33	85,26%	100,00%	I
26	156	33	54,49%	75,76%	O – I
27	156	33	58,97%	78,79%	O – I – V*
28	156	33	42,31%	72,73%	O – V
29	580	124	53,62%	61,29%	O – I – V*
30	992	210	37,50%	41,43%	O – I
31	725	155	39,45%	47,74%	O – I
32	725	155	38,90%	46,45%	O – I
33	435	93	41,61%	49,46%	O – I
34	435	93	44,37%	58,06%	O – I – V*
35	918	195	44,99%	47,18%	O – I – V*
36	193	40	70,98%	67,50%	O – I
37	338	71	60,65%	63,38%	O – I – V*
38	145	31	71,03%	74,19%	O – I
39	145	31	73,10%	80,65%	O – I
40	145	31	71,72%	83,87%	O – I – V*
41	145	31	63,45%	80,65%	O – I
42	145	31	63,45%	80,65%	O – I
43	145	31	62,07%	74,19%	O – I
44	145	31	61,38%	74,19%	O – V
45	122	24	69,67%	70,83%	O – I
46	122	24	81,15%	95,83%	O – I
47	366	72	58,20%	70,83%	O – I – V
48	122	24	58,20%	50,00%	O – I – V
49	122	24	44,26%	66,67%	O – I – V
50	122	24	62,30%	83,33%	O – I – V*
51	244	48	43,85%	68,75%	O – I
52	244	48	42,21%	56,25%	O – I – V
53	244	48	41,39%	41,67%	O – I
54	244	48	38,52%	35,42%	O – V
55	244	48	45,08%	47,92%	O – V
56	122	24	69,67%	79,17%	O – V
57	122	24	73,77%	87,50%	O – I
58	122	24	78,69%	95,83%	O – I – V*

Nota:
El asterisco indica que no necesariamente se refleja el elemento en la respuesta dada por el alumno, por ejemplo, V*, indica que la validación, es decir, la argumentación necesaria para justificar, no siempre está presente de manera explícita.
No se especifican los elementos extensivos y actuativos porque están presente, de distinta manera, en todas las variables.

3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Se han realizado pruebas de hipótesis para la diferencia de proporciones de respuestas correctas en ambas modalidades, en primera instancia, planteando como hipótesis nula, $p_P - p_D = 0$ versus la hipótesis alternativa, $p_P - p_D > 0$ o $p_P - p_D < 0$, según corresponda a la diferencia observada en la experimentación. Se indica con p_P la proporción de respuestas correctas de los alumnos que realizaron el curso en la modalidad presencial y con p_D la proporción de respuestas correctas de los alumnos que realizaron el curso en la modalidad a distancia.
Estos análisis se ven sintetizados en las siguientes conclusiones:

A un nivel de significancia de 0,05, se presentaron:

- Treinta variables didácticas en las que no se observan diferencias significativas entre las proporciones de respuestas correctas entre los alumnos de la Modalidad Presencial y la Modalidad a Distancia, lo cual representa, aproximadamente, el 52% de las variables evaluadas.
  Estas variables son las número 2, 5, 6, 8, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 20, 30, 33, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 43, 44, 45, 48, 53, 54, 55 y 56.
- Veinticuatro variables didácticas en las que se observó, de manera significativa, una mayor proporción de respuestas correctas entre los alumnos de la Modalidad a Distancia, lo cual representa, aproximadamente, el 41% de las variables evaluadas.
  Estas variables son las número 4, 7, 9, 15, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 31, 32, 34, 41, 42, 46, 47, 49, 50, 51, 52, 57 y 58.
- Cuatro variables didácticas en la que se observó, de manera significativa, una mayor proporción de respuestas correctas entre los alumnos de la Modalidad Presencial, lo cual representa, aproximadamente, el 7% de las variables evaluadas.
  Estas variables son las número 1, 3, 10 y 12.

Este estudio nos permite observar que:

- Los casos en los que no se observaron diferencias significativas entre los alumnos de ambas modalidades están relacionadas con el cálculo, el fundamento teórico, como identificación de modelos y reconocimiento de las condiciones para aplicar una determinada fórmula y la resolución de problemas por caminos más tradicionales.
- Los casos en los que los alumnos de la modalidad a distancia obtuvieron mejor rendimiento que los de la modalidad presencial tienen el acento puesto en la interpretación de los enunciados y la identificación de datos relevantes dentro de un texto y un contexto.
- Los casos en los que los alumnos de la modalidad presencial obtuvieron mejor rendimiento que los de la modalidad a distancia corresponden, en todos los casos, a un mismo tema: Estadística Descriptiva y Análisis de Datos, los cuales requieren más habilidad en el cálculo que otros temas de la asignatura.

Además, se han realizado pruebas de hipótesis para la diferencia de proporciones de respuestas correctas en ambas modalidades, para el análisis del tipo de elementos (ostensivos, intensivos y validativos) que se ven reflejados en estas variables.

Los resultados obtenidos en el análisis de los datos se muestran en la Tabla 3:

Tabla 3. Proporciones según modalidad y elementos

	p_P	p_D
Ostensivos	0,5712	0,6306
Intensivos	0,5841	0,6377
Validativos	0,6041	0,6517

Este análisis se ve sintetizado en las siguientes conclusiones:
En todos los casos se ve una diferencia significativa a favor de los alumnos que cursaron en la modalidad a distancia. Esto indica que los alumnos del aula virtual han obtenido mejores resultados que los alumnos presenciales, observando mayores diferencias en las variables didácticas que contienen elementos ostensivos e intensivos (valores p de $1{,}35\text{x}10^{-9}$ y $9{,}09\text{x}10^{-8}$, respectivamente), mientras que las variables que incluían elementos validativos también resultaron presentarse en mayor proporción en los alumnos virtuales (con valor p de $1{,}18\text{x}10^{-4}$) que aunque sea significativa es menor que en los casos anteriores.

4 COMENTARIOS FINALES

Los resultados de la experiencia desarrollada en el Aula Virtual de Estadística mostraron que los alumnos que cursaron en la modalidad a distancia, en general, obtuvieron resultados iguales o mejores que los que lo hicieron en la modalidad presencial.
Al trabajar las fortalezas y debilidades observadas en la modalidad a distancia, más la experiencia en la modalidad presencial con que cuentan los docentes y la institución, se propone, para el curso de Probabilidad y Estadística en carreras de Ingeniería, un modelo de enseñanza y gestión, integrando las ventajas de la educación a distancia, con el apoyo de los probados beneficios de la formación presencial.
Surge así, la idea de trabajar mediante redes y sistemas digitales, además de sesiones presenciales con las que se apoya el trabajo virtual, destacando la relevancia que adquiere el diseño y desarrollo de un material didáctico dinámico, que permita la versatilidad propia del modelo.
La implementación de una metodología integrada supone el compromiso institucional de asegurar una organización académica de seguimiento, gestión y evaluación del proceso en las instancias que se realicen a distancia, como la infraestructura y manteni-

miento de los insumos requeridos para las instancias presenciales. Asimismo, supone un fuerte compromiso docente basado en una disposición y actitud distintas a las tradicionales, fundamentalmente, en la articulación entre los tramos virtuales y presenciales, en su coherencia e integración, en el seguimiento y tutelado adecuados para esta metodología, en la precisión de la planificación de actividades.

Esta metodología ofrece a los alumnos la disponibilidad de trayectos de formación alternativos, más libres en tiempo y espacio; el refuerzo y análisis mediado con la presencia de un docente; la autoevaluación en distintos tiempos y espacios; la formación de equipos de trabajo para cooperar en el aprendizaje; entre otras ventajas.

Para la institución, la configuración bimodal brinda la posibilidad de que se profundice la experiencia adquirida en la modalidad a distancia, y con ello, se afiance la modalidad propuesta como modelo de enseñanza-aprendizaje en carreras de Ingeniería. El antecedente resulta útil, a la hora de considerar la modalidad a distancia, presencial o integrada en futuras revisiones del diseño curricular, permitiendo, además, comenzar con un análisis más profundo sobre las posibilidades de las distintas modalidades aplicadas a diferentes asignaturas.

REFERENCIAS

[1] D. Moore, Statistics among the liberal arts, Artificial Intelligence, Journal of the American Statistical Association, 93, 1253-1259, 1998.

ABSTRACT

The study of the involved didactic variables in the degree courses allows to make a deep analysis of the strategies implemented by the students for the resolution of problems. In our study the didactic variables facilitate the comparison the yield of the students of the course of Probability and Statistic in presential and distance modalities, allowing to observe some strengths and weaknesses of each modality in order to propose alternative paths to optimize the process of teaching and learning. When working the strengths and weaknesses observed in the distance modality, plus the experience in the presential modality whereupon count educational and the institution, is possible to think about a course of Probability and Statistic in careers of Engineering, with a model of education and management, integrating the advantages of the distance education, with the support of the proven benefits of the presential formation.

Key Words: Didactic variables – Probability – Statistic – Presential Education – Distance Education

Enseñanza de la ingeniería: vínculo del estudiante con su futura profesión

À.B. Guajardo & S.B. Prósperi
adriguajardo@yahoo.com.ar & susipro@yahoo.com
Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria, Universidad Nacional de Cuyo

M.G. Molina, S.M. Alcantú, R. Maggioni, P. Castro, P. Gazal
mmolina@fcai.uncu.edu.ar, salcantu@fcai.uncu.edu.ar, rmaggion@fcai.uncu.edu.ar &
Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria, Universidad Nacional de Cuyo

RESUMEN: Los antecedentes que se desprenden de los procesos de acreditación de las distintas carreras de ingeniería en el país mostraron un importante desgranamiento en las etapas iniciales de las mismas y la necesidad de un mejoramiento en la enseñanza de esta disciplina. En la medida en que son asimilados los contenidos de una profesión se deben ir desarrollando los intereses hacia la misma. Este proyecto pretende promover acciones de los docentes y alumnos para lograr que alumnos de los últimos año de las carreras de Ingeniería próximos a egresar realicen proyectos que los acerquen a la realidad laboral y que a su vez transmitan a través de estas actividades a los alumnos de los primeros años conocimiento sobre las tareas propias de un ingeniero. Asimismo se aspira la vinculación de los egresados con los estudiantes a través de charlas relacionadas con las tareas profesionales que estos realizan en las distintas empresas o instituciones. Los beneficiarios directos del proyecto son los alumnos involucrados, promoviendo tareas de diseño e investigación y un acercamiento a la profesión. Se espera disminuir el desgranamiento en los primeros años y mejorar la calidad en la enseñanza de la ingeniería.

Palabras clave: Ingeniería - Educación - Objetivo Profesional - Proyectos

1 FORMULACIÓN Y FUNDAMENTACIÓN

El vínculo del estudiante a su futura profesión, se convierten en un factor determinante en el desarrollo de las capacidades necesarias para alcanzar las metas y en consecuencia del éxito académico y profesional.

La falta de éxito en la enseñanza superior no se debe mayormente a que los estudiantes que ingresan no posean capacidades adecuadas para la carrera elegida, aunque puede que tengan dificultades con el desarrollo de sus capacidades en áreas específicas, sino a la falta de orientación y motivación profesional.

Se hace necesario conocer la situación que presentan los estudiantes de las carreras de ingeniería sobre el conocimiento de la profesión, lo que permitirá trabajar en función de promover este saber en cuanto a las tareas ingenieriles, tendiendo a mejorar el rendimiento académico en los estudiantes, así como posibilidades de éxito en su futura vida profesional.

El perfil del ingeniero Químico y el de Industrias de la Alimentación incluye tareas de planificación, diseño, proyección, cálculo y control por lo que es muy importante que se desarrollen estas aptitudes en las distintas asignaturas de la carrera.
En el caso de las ingenierías muchas veces sucede que los estudiantes eligen la carrera sin pleno conocimiento de las características curriculares de la especialidad. Es por ello que, sobre todo en los primeros años de cursado, que se hace imprescindible trabajar fuertemente para motivar al estudiante por sus estudios, ya que, por las características curriculares de la carrera, la mayor parte de las asignaturas que se imparten para 1ro y 2do año son de formación general y básica, con las cuales el estudiante no se identifica fácilmente con su futura profesión por la naturaleza de sus contenidos y también por su complejidad.
Es por esto que se considera necesario, como complemento de estas disciplinas y asignaturas, que se deben organizar actividades de orientación hacia la profesión desde la propia carrera que tiendan a contribuir a mejorar la disposición de los estudiantes hacia sus estudios y futura carrera profesional.

2 OBJETIVOS

2.1 *Objetivo General*

- Vincular a los estudiantes de ingeniería de la F.C.A.I. a la realidad laboral.

2.2 *Objetivos Específicos*

- Conocer los preconceptos que los alumnos de los primeros años de las carreras de ingeniería de la FCAI poseen acerca de la profesión elegida.
- Establecer la coherencia entre los preconceptos que poseen los alumnos y la realidad profesional.
- Elaborar proyectos de diseño en las asignaturas de procesos involucrando a docentes y alumnos de 5to año.
- Transferir la experiencia adquirida por los alumnos de 5to año a través de proyectos de diseño a los de los primeros años.
- Interpretar el efecto que las actividades propuestas ejercieron sobre el concepto del campo profesional de los alumnos afectados al proyecto.

3 HIPÓTESIS DE TRABAJO

- La vinculación de los estudiantes avanzados de las carreras de Ingeniería a la realidad laboral a través del diseño de plantas de procesos, permite desarrollar capacidades y conocimientos propios de la profesión.
- La transferencia de los conocimientos adquiridos por los alumnos avanzados a los estudiantes del ciclo inicial permitirá generar en los mismos intenciones profesionales que los incentivará a la permanencia y egreso en las carreras de ingeniería.

4 METODOLOGÍA

Este trabajo se basa en la investigación experimental por lo tanto se establecerá un grupo de control y otro experimental.
Se realizará un diagnóstico de los preconceptos del campo profesional en los alumnos de los primeros años a través de encuestas de indagación directa y entrevistas semiestructuradas.
Se capacitará a alumnos del último año de las carreras de ingeniería en el diseño y elaboración de maquetas tanto convencionales como electrónicas (con softwares como SolidWorks y Autocad)
Se llevarán a cabo talleres y charlas sobre los proyectos de diseño de los alumnos avanzados y la experiencia laboral de egresados destinado a los alumnos del ciclo inicial.
Se elaborarán encuestas a docentes y alumnos sobre el efecto de las nuevas actividades.
Se realizará el análisis cualitativo de la información recolectada. Se compararán los datos de los grupos de observación.

5 AVANCE DEL PROYECTO

5.1 *Conocimiento actual del tema*

La experiencia educativa indica que gran parte de los estudiantes no inician la carrera motivados profesionalmente, sino porque es una opción más a seleccionar, esto unido a la insuficiente orientación vocacional por ellos recibida, constituyen las principales causas de desgranamiento que sufren los cursos de los primeros años de la carrera.
En el año 2004 la Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria se somete al proceso de acreditación de las carreras de Ingeniería, contando con los resultados de este procedimiento, se pueden extraer puntos importantes para este proyecto sobre la evolución de los alumnos en los primeros años y la

necesidad de la integración de conocimientos de los estudiantes.

Según lo expresado por la CONEAU en los documentos de acreditación de las carreras de ingeniería, "se observa como característica el fuerte desgranamiento en el primer cuatrimestre de 1er año… "; ratificando lo que la Unidad Académica cita en su autoevaluación. Ref. [1]

En la propuesta preliminar y en el documento final de Acreditación se deja explicitado como requerimiento de acreditación "… garantizar para todos los alumnos el cumplimiento de 200 hs de actividades de proyecto y diseño… , contemplando preferentemente alguna actividad que contribuye a la profundización e integración de conocimientos adquiridos en el transcurso de la carrera."

Por otra parte a raíz de los procesos de acreditación se generó en la Secretaría de Políticas Universitarias el Proyecto de Mejoramiento de la Enseñanza en Ingeniería (PROMEI), Ref. [2], fundamenta este proyecto como prioritario para el mejoramiento del sistema nacional de formación de ingenieros, ya que considera que se trata de un campo profesional clave para el desarrollo económico nacional. Asimismo hace referencia a una de las dificultades más notorias derivadas de la acreditación de todas las carreras de ingeniería como:

"Problemas de fracaso en los primeros años, desgranamiento y deserción, baja tasa de egreso, prolongada duración real de las carreras y dedicación parcial de los alumnos"

Dentro de los Objetivos Generales, expresa: "Promover el mejoramiento de la calidad de la enseñanza de la ingeniería, a través del apoyo a los planes de mejoramiento que las universidades han comprometido para sus unidades académicas y carreras de ingeniería en el marco del proceso de acreditación". Y en uno de sus Objetivos Específicos, "El afianzamiento de la formación práctica en todas sus variantes, con el aporte para equipamiento adecuados y recursos humanos y técnicos de buena calidad"

Asimismo se cuenta con los datos de rendimiento académico de las carreras de ingeniería y las observaciones realizadas por las comisiones de seguimiento curricular implementadas en la FCAI.

A nivel nacional e internacional existen diversas investigaciones relacionadas con el aprendizaje por proyectos, la utilización de maquetas como material didáctico y la motivación profesional que revisten gran importancia en el proceso docente educativo. El aprendizaje por proyectos incorpora principios que se desprenden de lo expresado por Anderman & Midgley, 1998; Lumsden, 1994: "la investigación evidencia que existen prácticas que estimulan una mayor participación de los estudiantes. Estas prácticas implican dejar de lado la enseñanza mecánica y memorística para enfocarse en un trabajo más retador y complejo; utilizar un enfoque interdisciplinario en lugar de uno por área o asignatura y estimular el trabajo cooperativo." Ref. [3] y Ref. [4]

A lo largo de la historia, se han utilizado las maquetas como un medio de representación para mostrar de forma clara e inmediata las características de un proyecto complejo de forma que pueda ser comprensible para los no iniciados. En la actualidad las maquetas constituyen, para los ingenieros y otros profesionales de diseño, una herramienta indispensable y eficaz para proyectar y mostrar ideas, así como, para comprender y controlar el resultado final de las obras proyectadas. (Knoll, Hechinger, 2005). Ref. [5]

Respecto a la motivación Simón, O.M. 2000, concluye: aquel estudiante insuficientemente motivado aunque posea adecuada capacidad, tendrá su futuro profesional comprometido, puede que no llegue a culminar la carrera y si lo logra será un egresado con intenciones profesionales muy poco desarrolladas, y con poco o ningún interés por desarrollarlas, lo cual no augura éxitos en su vida profesional, y puede traducirse en sentimientos de frustración en el orden personal. Ref. [6]

5.2 *Acciones desarrolladas*

Se han realizado encuestas y entrevistas para el diagnóstico de la situación con el fin de conocer las vivencias respecto a la vinculación a la profesión de alumnos de primer año, quinto y los graduados. Simultáneamente se han llevado a cabo proyectos de plantas químicas relacionadas a la carrera con alumnos del último año mediante la elaboración de maquetas para su próxima presentación en talleres con alumnos de los primeros años con el objetivo de acercarlos a la realidad profesional.

A alumnos de quinto y graduados se les indago acerca del momento en que apreciaron el alcance de la profesión elegida y la satisfacción alcanzada en cuanto a lo imaginado en principio y lo logrado a nivel real.

Con los alumnos de 1er año se utilizó la técnica de los 10 deseos como disparador para la respuesta a cuestionamientos sobre la visión alcanzada y las expectativas relacionadas a la carrera que han comenzado.

6 RESULTADOS OBTENIDOS

El presente proyecto esta enmarcado dentro de un plan bianual 2007 – 2009 de la SeCTyP de la UNCuyo, por lo que hasta el momento los resultados obtenidos corresponden a la primera etapa.

A continuación se muestran los resultados correspondientes al análisis de encuestas realizadas con el fin de conocer la percepción de la profesión en graduados y alumnos del último año de las carreras de Ingeniería Química y en Industrias de la Alimentación.

Respecto a alumnos de primer año quienes formarán parte de la muestra a someter a las experiencias del proyecto con el fin de lograr un diagnóstico en cuanto a los preconceptos existentes en los alumnos y su relación con el perfil profesional real, los resultados obtenidos son parciales.

6.1 *Encuestas*

6.1.1 Graduados

En la siguiente tabla se muestran los porcentajes de las respuestas recibidas respecto al motivo por el cual fue elegida la carrera de la cual se graduaron y que en la mayoría de los casos hace varios años es ejercida.

Tabla 1. Motivo de elección de la carrera

Gusto por las materias	91%
Por las posibilidades de trabajo	41%
Porque es una carrera valorada socialmente	9%
Por consejo de padres o amigos	9%
Por comodidad	18%
Por orientación vocacional	5%
Otros	27%

Consultados acerca de la apreciación de la profesión el 68 % de los encuestados coincide en que no fue posible lograr la misma hasta 4to año, mientras que el 32 % asegura haberla logrado en los primeros años de cursado.

En cuanto a la conformidad respecto a la carrera elegida, el 82% siente que la elección fue correcta y volvería a elegirla si tuviese que iniciar una carrera, en la actualidad.

Consultados acerca de la relación entre la profesión alcanzada y las actividades que desarrollan en la actualidad, más del 80% afirma trabajar en tareas relacionadas a la ingeniería.

6.1.2 Alumnos de quinto año

En la siguiente tabla se muestran los porcentajes de las respuestas recibidas respecto al motivo por el cual fue elegida la carrera que están finalizando de cursar.

Tabla 2. Motivo de elección de la carrera

Gusto por las materias	32%
Por las posibilidades de trabajo	23%
Porque es una carrera valorada socialmente	14%
Por consejo de padres o amigos	5%
Por comodidad	9%
Por orientación vocacional	5%
Otros	14%

Consultados acerca de la apreciación de la profesión en los primeros años de cursado el 90 % de los encuestados coincide en que no fue posible lograr la misma hasta 4to año.

Algo similar ocurrió al coincidir en cuanto a la conformidad respecto a la carrera elegida, el 90% siente que la elección fue correcta y volvería a elegirla si tuviese que volver a iniciar una carrera.

En cuanto a las dificultades que vislumbran para el desempeño de la profesión, se manifiesta en especial la falta de práctica en tareas relacionadas a la ingeniería y la inseguridad en cuanto a si la cantidad de conocimientos adquiridos es la suficiente para realizar las tareas que solicitadas en la industria.

Cabe destacar la observación del tipo de enseñanza media que han recibido los alumnos que han alcanzado el último año de cursado, siendo más del 90 % de los encuestados egresados de escuelas técnicas.

6.1.3 Alumnos de primer año

Analizadas las primeras encuestas obtenidas se pueden destacar de la técnica de los 10 deseos la coincidencia en la expectativa de lograr ser un buen profesional y la necesidad de un pronto egreso.

Por otra parte en cuanto a las preguntas relacionadas al motivo de elección de la carrera se observa una tendencia a que mayormente es elegida por gusto a las materias y posibilidades de trabajo.

En relación a la satisfacción en cuanto a lo apreciado hasta el momento de la carrera elegida, mayormente se muestran un poco satisfechos.

Ante la posibilidad de cambiar o continuar la carrera, la tendencia indica que se presentan las dos intenciones en proporciones similares

Las tareas que los alumnos creen realizarán en el campo profesional coinciden parcialmente con las que son factibles de realizar, sin embargo en Ingeniería en Industrias de la Alimentación, el tema resulta más acotado y más sencillo de ver para los alumnos.
En cuanto a la necesidad de conocer temas relacionados a la actividad académica o profesional se resalta el deseo de ampliar conocimientos acerca del campo laboral y de las asignaturas a cursar
Al indagar acerca de los problemas que piensan pueden tener para desarrollar la profesión se manifiestan inseguridad en cuanto a la aceptación del sexo femenino en la industria y las relaciones humanas en el ámbito laboral.

6.2 *Maquetas*

Las maquetas son utilizadas desde hace mucho tiempo en ingeniería como medio de representación de un proyecto para facilitar su comprensión.
El llevar los diagramas de plantas que normalmente los alumnos observan en la bibliografía a las 3 dimensiones, les acerca a una realidad más tangible que lo que les permiten los planos y diagramas en las 2 dimensiones.
Mediante la utilización de maquetas tradicionales y electrónicas se pretende aumentar la visión espacial. Al realizar una maqueta, el alumno se ve obligado a interpretar los planos y diagramas que la representan por lo que deben elaborar mentalmente una representación tridimensional del objeto con el fin de transformar los materiales de que dispone en una maqueta a escala que coincida con el objeto representado. Todo este proceso, incrementa la percepción espacial de los alumnos.
Asimismo este tipo de actividad fomenta el trabajo en grupo. Debido a la complejidad de algunas maquetas, es necesaria la colaboración entre diversos alumnos para su elaboración. Este trabajo en equipo, brinda experiencia en un estilo de tareas muy valorado en el ámbito profesional en el que están próximos a ingresar.

7 RESULTADOS ESPERADOS

- Motivación para los alumnos de 1ero y 2do año de las carreras de ingeniería que les permita continuar los estudios confiados en la elección profesional que hicieron.
- Afianzar conocimientos de los procesos reales en que se desempeñarán como profesionales a través de los proyectos realizados en 3 dimensiones por parte de los alumnos avanzados.
- Promover el espíritu investigativo e ingenieril en los alumnos que participan a través de sus proyectos.
- Alcanzar los resultados anteriores supone una disminución en el desgranamiento observado en los primeros años de la carrera.

8 TRANSFERENCIA Y BENEFICIARIOS

La transferencia es directa a partir de la producción de diseños en base a software o maquetas convencionales por parte de los alumnos. Asimismo los alumnos del último año se benefician en cuanto al entrenamiento investigativo y de diseño, ya que en este proyecto se procura la formación de RRHH con la posibilidad de una incorporación como becarios de investigación.
Se beneficiarán los alumnos de 1ero y 2do año en la toma de conciencia de su futura profesión y la articulación entre niveles, reflejada en las relaciones interpersonales que se generarán en el desarrollo de este estudio.
La incorporación de horas de diseño en alumnos avanzados y una disminución del desgranamiento en el inicio de la carrera aportará beneficios a la Unidad Académica en cuento a los requisitos exigidos por CONEAU para la acreditación.
Dentro de los objetivos de PROMEI, el proyecto aportará beneficios en cuanto a la calidad de la enseñanza en la ingeniería.
Se realizará transferencia al sector científico, educacional y tecnológico a través de publicaciones, difusión de datos y presentaciones en eventos relacionados al tema.

REFERENCIAS

[1] Documento de Acreditación Resolución 752/04
[2] PROMEI 2005-2008
[3] Project-Based Learning Using Information Technology, ISTE, 1999.
[4] L.H. Anderman & C. Midgley, (1998). Motivation and middle school students [ERIC digest]. Champaign, IL: ERIC Clearinghouse on Elementary and Early Childhood Education. Retrieved June 25, 2002.
[5] W. Knoll, M. Hechinger. Maquetas de arquitectura. Técnicas y construcción. 6ª ed. Barcelona: Ed. Gustavo Gili S.A., 2005.

[6] O. M. Simón Brito, La Motivación Profesional en la Carrera Ingeniería Civil, Revista Pedagogía Universitaria Vol. VI No. 3, Cuba, 2000.

ABSTRACT

Science and technology development increase the need of status in education to get professionals in keeping with present time.Background from engineering careers acreditation process in our country shows an important decrease of students number in initial stages and the need to improve the engineering teaching. While contents of the profession are assimilated they have to develop interest about it. In the process of study the assimilation of knowledge is determinant to apply and to enrich it. This project tries to promote actions of professors and students to get advanced engineering pupils, next to graduate, to be able to produce projects that approach them to the job reality and transmit the knowledge on the engineering tasks to the first years students at the same time. There also is the hope that graduates and students create a link through chat meetings about graduates professional job experience in different companies or institutions. The projects direct beneficiaries will be the students involved, promoting design and investigation tasks and an approach to the profession. There is the hope to diminish the decrease of students number in the first years and to improve the quality of the engineering education.

Key Words: Engineering – Education - Professional Goal - Project-Based Learning

Cuando no alcanza el Curso de Nivelación presencial

E. E. Caliguli & G. B. Astargo
ecalig@uncu.edu.ar & gastargo@uncu.edu.ar
Área de Modalidades y Tecnologías Educativas & Ingreso, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo

RESUMEN: En este trabajo se analizan las dos modalidades de ingreso a la Facultad de Ingeniería de la UNCuyo y se describe la metodología empleada en el Curso de Nivelación en modalidad semipresencial, que combina las ventajas de la modalidad tradicional presencial con las de distancia. Esta última se viene implementando en la Facultad desde el ingreso 2003 en paralelo con la presencial. Inicialmente se utilizó la plataforma virtual Manhattan y desde el ingreso 2005 se usa el campus virtual desarrollado por la UNCuyo. En el ingreso 2006 se incorpora la figura del tutor alumno y las actividades presenciales como parte de la metodología de trabajo. Esta metodología se basa en la comunicación y la interactividad entre los docentes, tutores, alumnos y materiales. Se utiliza material impreso y digital y se desarrollan actividades no presenciales en el campus virtual. Las variables estudiadas son: los conocimientos previos de los aspirantes, el rendimiento académico en ambas modalidades, la tasa de deserción inicial y la tasa de abandono. Se realiza una evaluación a través de una encuesta a los aspirantes para conocer su opinión acerca de diversos aspectos.

Palabras clave: modalidad semipresencial – ingreso – campus virtual

1 INTRODUCCIÓN

La Facultad de Ingeniería de la UNCuyo ofrece dos modalidades de Curso de Nivelación: presencial tradicional y a distancia, ésta última a partir del ingreso para el ciclo lectivo 2003.
No hay números clausus, por lo que ingresan todos los aspirantes que aprueban los exámenes de Matemática y Física. El Curso de Nivelación tiene dos parciales por asignatura con sus respectivos recuperatorios. Además existen Pruebas Generales de Conocimiento (PGC) que también tienen recuperatorios, para quienes no aprobaron o no realizaron el curso.
Es bien conocido el problema del desfasaje entre los conocimientos previos de los aspirantes a ingresar a la universidad y los que realmente necesitan para llevar adelante sus estudios con éxito, fenómeno que se da en toda la Argentina, como lo muestran distintos informes de investigación. Ref. [1] [2] [3].
A esta situación se suma la complejidad del sistema educativo de nivel medio, con una gran diversidad de programas de contenidos y con una función social de contención que muchas veces dificulta el normal desarrollo de los mismos. Esto aumenta las diferencias entre los distintos niveles educativos, especialmente en asignaturas como Matemática y Física.
Esta brecha no se ha podido salvar con el Curso de Nivelación presencial que ofrecía la Facultad, lo que no sólo acarrea deficiencias en los exámenes de ingreso, sino también en el cursado de las asignaturas de primer año, poniendo en riesgo la permanencia de los estudiantes en la universidad.
Por este motivo una de las líneas de acción de la Facultad fue trabajar por lo menos sobre dos

variables fundamentales: el tiempo de duración del curso y la realidad socio-económica y geográfica de los estudiantes. El tiempo del Curso de Nivelación presencial se considera insuficiente, según las observaciones de la CONEAU, Ref. [4], frente a la calidad de los conocimientos que traen los aspirantes y a la necesidad de otorgar mayor tiempo para la maduración de los conceptos. En cuanto a la realidad socio-económica, se sabe que cada vez son más los jóvenes que se ven obligados a trabajar, lo que les dificulta la dedicación al estudio. Por otra parte hay aspirantes que residen en zonas alejadas y no podrían concurrir a clases de manera regular, pues deben cumplir con las obligaciones de sus colegios de nivel medio.

Al mismo tiempo las tecnologías de la información y comunicación han invadido la vida del hombre en todos los campos, social, político, económico y cultural, Ref. [5]. El avance de la ciencia multiplica la generación de conocimiento e información, de manera que hoy se plantean cambios en la concepción del recurso humano. El profesional debe ser formado para continuar aprendiendo a lo largo de toda su vida y esto es posible con el auxilio de las metodologías de educación a distancia. Ref. [3] [6].

Las nuevas tendencias de esta modalidad incorporan una parte de actividades presenciales, generando lo que se ha dado en llamar actualmente, educación semipresencial, en la cual se combinan las características más ventajosas de cada modalidad. Se considera conveniente que haya un 25 a 30% de actividades presenciales. Ref. [2]

Teniendo en cuenta estos aspectos se implementaron experiencias innovadoras en modalidad a distancia para la enseñanza de Física y Matemática, a partir del ingreso 2003, transformándose en semipresencial desde el ingreso 2006.

Entre las ventajas de la educación a distancia podemos mencionar, Ref. [7] [8] [9] [10]:

Promueve el aprendizaje autónomo, ya que el alumno debe gestionar la construcción de sus conocimientos de manera más independiente.

Permite respetar los distintos estilos de aprendizaje.

Otorga libertad para organizar los tiempos de cada persona.

Utiliza tecnología con la que los aspirantes están familiarizados o aprenden rápidamente su uso.

Favorece el contacto de los aspirantes con herramientas informáticas, que le serán de gran utilidad en las carreras de ingeniería, cuando no indispensables.

El modelo didáctico aplicado utiliza el campus virtual desarrollado por la UNCuyo como soporte a la comunicación y a las actividades mediadas; trabaja con materiales impresos y digitales e incorpora otras TICs como correo electrónico, teléfono y fax

El Aprendizaje se concibe desde una perspectiva constructivista, con una dimensión no sólo cognitiva sino también afectiva y social, a través de la comunicación e interactividad tanto con los docentes como con los materiales y compañeros.

La interactividad cognitiva apunta a lograr que el aspirante establezca relaciones reales entre los conocimientos, para no quedarse sólo en la etapa de memorización.

Para llevar a cabo el proyecto se definió perfil y rol específico de tutores docentes y tutores alumnos, brindando la capacitación necesaria, además se cuenta con un equipo docente de formación disciplinar.

2 DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA EN MODALIDAD SEMIPRESENCIAL

Desde que se comenzó a implementar la modalidad a distancia, la cantidad de aspirantes fue aumentando para esta modalidad y disminuyendo en la presencial. De 13 aspirantes para la primera experiencia piloto, aumentó a 584 para el ingreso 2007. Ref. [11].

El curso de ingreso implementado en modalidad semipresencial ha generado procesos distintos a los del tradicional en la organización, gestión e implementación.

2.1 *Objetivos generales y específicos*

2.1.1 Se mantienen los objetivos generales de la modalidad presencial:

- Recordar, usar con propiedad y aplicar los conceptos físicos y matemáticos del nivel anterior –secundario o Polimodal– que sean relevantes para las asignaturas correspondientes que se cursan en esta Facultad.
- Incentivar la formación de criterios para la resolución de problemas.
- Desarrollar estrategias de autoaprendizaje y de trabajo grupal colaborativo.
- Fomentar la autoevaluación personal y grupal.

2.1.2 Se establecen los siguientes objetivos específicos para la modalidad a distancia:

- Respetar los tiempos del estudiante, mediante un cronograma de actividades más extenso.
- Considerar sus motivaciones y particularidades a través de una enseñanza personalizada.
- Promover la igualdad de oportunidades realizando un seguimiento individual y continuo.

2.2 *Metodología de implementación*

Inicialmente se utilizó la plataforma virtual Manhattan, de uso libre, y a partir del ingreso 2005 se está empleando el campus virtual desarrollado por la UNCuyo.

El curso contiene actividades presenciales y a distancia. Se distribuye a los aspirantes en comisiones para ambos tipos de actividades. Cada comisión está a cargo de dos docentes disciplinares, uno por asignatura, quienes desarrollan la tutoría académica a distancia y las actividades presenciales. Además se cuenta con tutores de apoyo, quienes mantienen una comunicación fluida con los alumnos de cada grupo a fin de contener, apoyar el seguimiento del curso, detectar dificultades y resolver aspectos administrativos. Se trata de alumnos de la facultad que han sido capacitados para desempeñarse como tutores.

Las actividades presenciales consisten en clases, consultas, evaluaciones y muestra de exámenes. En las clases se realizan cierres conceptuales de los ejes temáticos, se comentan los errores más frecuentes en las actividades del campus y se trabaja la resolución de problemas, promoviendo la formación de grupos. Corresponden aproximadamente a un 30% del total de horas del curso.

Se consideran actividades a distancia todas aquellas que realizan los docentes y aspirantes para lograr la comunicación y el aprendizaje autónomo del alumno, en espacios y tiempos no coincidentes. Son actividades y tareas dispuestas en el campus virtual seleccionadas por unidad temática, tales como ejercicios, resolución de problemas. El aspirante envía las tareas a su tutor a través del campus y recibe las correcciones personalizadas. También hay enlaces interactivos, auto evaluaciones, evaluaciones de proceso, consultas a docentes y tutores, foros, actividades de estudio con el material impreso y un contacto vía e-mail o telefónico con tutores para establecer o mantener un diálogo.

El proceso a distancia corresponde a un 70 % del total de horas del curso y es tutorado por los docentes disciplinares y los tutores de apoyo.

Las evaluaciones son presenciales y para acceder a ellas, los aspirantes deben cumplir con un porcentaje de todo el proceso propuesto tanto de actividades presenciales como de actividades a distancia.

El material se trabaja en formato papel y digital.

Se ha conformado un equipo estable de docentes y tutores con experiencia y capacitación en las características de la modalidad necesarias para la propuesta.

Para implementar esta metodología se han considerado variables de espacio y tiempo utilizadas como se muestra en el Cuadro 1.

Se parte de una evaluación diagnóstica que da cuenta de la gran diversidad existente entre los aspirantes y del bajo nivel de conocimientos previos en general, así como de las actitudes hacia la resolución de problemas.

Tabla 1. Variables de espacio y tiempo

Tiempo	Espacio	
	El mismo	Distinto
SÍNCRONO	• Clase Presencial • Evaluaciones • Consulta a tutores • Muestra de exámenes	• Contacto Telefónico
ASÍNCRONO		• Foros • Consultas • Tutorías • Resolución de Actividades • Auto evaluaciones • Corrección de actividades

2.3 *Definición de perfiles y roles*

Se tiene en cuanta el perfil de coordinador disciplinar, docente y tutor, como así también sus capacitaciones.

2.3.1. Perfil de los coordinadores disciplinares

Responsables del desarrollo académico. Realizan las siguientes actividades:

- Mediación de material: adecuación a Educación Basada en Competencias. Establecimiento de tabla de saberes a partir de competencias básicas y específicas.
- Elaboración de actividades de seguimiento, proceso y práctica.

- Elaboración de claves de corrección de actividades tutoriales.
- Corrección de actividades integradoras.
- Elaboración y corrección de exámenes

2.3.2. Perfil de desempeño del docente disciplinar y tutor académico

- Dominio del contenido disciplinar y didáctica de la asignatura Matemática y Física.
- Motivación intrínseca para trabajar en el proyecto.
- Conocimiento de la modalidad a distancia

2.3.2.1 Realizan las siguientes actividades:

- Dictado de los módulos presenciales de la asignatura.
- Tutoría de actividades académicas: incluye corrección de ejercicios, trabajos prácticos, problemas, evaluaciones de proceso y actividades integradoras.
- Toma y corrección de evaluaciones parciales, recuperatorios y globales
- Comunicación con la red de tutores para conocer el avance de proceso u otro dato relevante de las actividades a distancia.
- Asistencia a las reuniones establecidas institucionalmente.

2.3.3. Perfil de desempeño del alumno tutor

- Ser alumno avanzado de 2do. o 3er. año, de Facultad de Ingeniería, que acrediten tener aprobadas las asignaturas de competencia.
- Poseer motivación intrínseca.
- Valorar la comunicación y disponer de predisposición para trabajar con el perfil del aspirante.
- Acreditar conocimientos informáticos.

2.3.3.1 Realizan las siguientes actividades:

- Comunicación fluida con el grupo a tutorar (promover el seguimiento del curso, comunicar dificultades encontradas, ayudarlo a resolver los procesos).
- Corrección de actividades propuestas en el Campus (mediante clave de corrección). No corregirá actividades integradoras o que acrediten evaluación).
- Informar detalladamente el seguimiento de alumnos, (criterios establecidos por la coordinación, en función del aprendizaje de los alumnos).
- Asistencia a las reuniones establecidas institucionalmente

2.4 *Procesamiento didáctico de materiales basado en tabla de saberes por competencias*

Para la experiencia 2005 se definió la tabla de saberes que comprende contenidos, habilidades y destrezas e indicadores de logro y se realizó un primer procesamiento didáctico para la adecuación al campus virtual. Este proceso se completó en el año 2006 para el total de ambas asignaturas.
Además se realizó la segunda edición del material de Apoyo Teórico con impresión de 500 ejemplares.
Para el ingreso 2007 se efectuó una evaluación de los materiales, por parte de los docentes del ingreso y se tuvieron en cuenta las sugerencias realizadas, para la tercera edición, con la impresión de 1000 ejemplares.
Los equipos de ingreso de las Facultades de Ingeniería y de Ciencias Aplicadas a la Industria, trabajaron en conjunto en el marco del proyecto de articulación de la UNCuyo con los colegios polimodales de la provincia, definiendo las siguientes competencias específicas:

- Analizar una función o un fenómeno físico o químico sencillo a partir de su representación gráfica y/o a partir de sus ecuaciones matemáticas.
- Resolver problemas sencillos de Matemática, Física y Química aplicando modelos matemáticos.
- Reconocer y analizar propiedades físicas y/o químicas de la materia en ejemplos cotidianos.
- Transferir el conocimiento científico de física, química y matemática a situaciones cotidianas.
- Utilizar la computadora, explicitando y aplicando lógica procedimental en la utilización de Sistema Operativo y diversas aplicaciones como: Procesador de textos, Internet y Correo Electrónico

3 DEFINICIÓN Y ANÁLISIS DE VARIABLES E INDICADORES

Las variables analizadas fueron:

3.1 *Conocimientos previos de los aspirantes*

Hay una gran diversidad en la calidad y cantidad de los conocimientos, habilidades y actitudes con que cuentan. Esto se ha corroborado a través de evaluaciones diagnósticas tomadas al inicio del Curso de Nivelación en modalidad a distancia.
En el Curso de Nivelación presencial esta evaluación no se ha realizado de manera sistemática, sino por las apreciaciones personales de los docentes a cargo, que realizan preguntas en forma oral y general.

3.2 *Opinión de los aspirantes acerca de diversos aspectos.*

Se realizaron encuestas voluntarias y anónimas a los aspirantes. Respondieron 48

3.2.1. Información recibida sobre. (Tabla 2):
3.2.1.1 Objetivos y contenidos de la materia,
3.2.1.2 Metodología de trabajo, condiciones de regularidad y aprobación;
3.2.1.3 Cronograma de actividades

Tabla 2. Opinión de los aspirantes acerca de información recibida

3.2.1	Muy bueno	Bueno	Regular	Malo	NS / NC
3211	26	21	1	0	0
3212	9	36	3	0	0
3213	17	24	7	1	0

3.2.2. Materiales impresos (Tabla 3):
3.2.2.1 Apoyo teórico
3.2.2.2 Guía de Trabajos Prácticos

Tabla 3. Opinión de los aspirantes acerca de Materiales impresos

3.2.2	Muy bueno	Bueno	Regular	Malo	NS / NC
322.1	11	19	12	5	1
322.2	24	17	4	1	2

3.2.3. Tareas y Actividades del campus (Tabla 4):
3.2.3.1 Tareas propuestas
3.2.3.2 Ejercicios y problemas resueltos

Tabla 4. Opinión de los aspirantes acerca de Tareas y Actividades del campus

3.2.3	Muy bueno	Bueno	Regular	Malo	NS / NC
323.1	16	24	8	0	0
323.2	18	22	7	0	1

3.2.4. Actividades presenciales (Tabla 5):
3.2.4.1 Sirvieron para clarificar conceptos del Apoyo Teórico
3.2.4.2 Completar actividades del Campus Virtual
3.2.4.3 Integrar contenidos

Tabla 5. Opinión de los aspirantes acerca de Actividades presenciales

3.2.4	Siempre	Muchas veces	A veces	Nunca
324.1	5	24	8	1
324.2	8	23	14	3
324.3	13	14	21	0

3.2.5. Aspectos relacionados con el profesor (Tabla 6):
3.2.5.1 Tiempo de respuesta,
3.2.5.2 Claridad de las respuestas

Tabla 6. Opinión de los aspirantes acerca de Aspectos relacionados con el profesor

3.2.5	Una semana	Más de una sem.	Nunca	NS / NC
352.1	36	7	0	5

3.2.5	Claras	Medianamente claras	Poco claras	NS / NC
352.2	25	20	2	1

3.2.6. Aspectos relacionados con la primera evaluación parcial (Tabla 7):

Tabla 7. Opinión de los aspirantes acerca de la primera evaluación parcial

Contenidos	Sí	Se tomaron cont. no desarrollados		NS / NC
Se realizó en función de los contenidos desarrollados	43	4		1
	Más difícil	De igual grado	Más fácil	NS / NC
Nivel de dificultad	18	27	2	1

3.2.7. Aspectos relacionados con el Uso del Campus virtual: velocidad, apariencia, navegabilidad, posibilidades de interacción, estimulación. Se pidió a los aspirantes que calificaran de 1 a 5. (Tabla 8)

Tabla 8. Opinión de los aspirantes acerca del Campus virtual

Aspecto		Grado
Velocidad. Esta página se carga con rapidez		5 (26), 4 (15), 3 (3) , NS/NC (4)
Apariencia general	Puedes saber donde estás en la página inmediatamente	5 (24), 4 (17), 3 (5), 1 (2)
	Te estimula para explorar las opciones	5 (215), 4 (14), 3 (10), 2 (5), 1 (3)
Navegabilidad	Te permite moverte de manera fácil de un lugar a otro	5 (21), 4 (13), 3 (11), 2 (5), 1 (1)
	Los enlaces son útiles o suficientes	5 (16), 4 (12), 3 (12), 2 (2), 1 (1)
	Agregarías otros	NO (21), SI (1) *
Posibilidades de realización y envío de tareas	Resulta fácil realizar y enviar tareas	5 (11), 4 (17), 3 (13), 2 (7), 1 (1)
	Necesitas mucho tiempo para realizar esto	SI (15), NO(7) 5 (6); 4 (4); 3 (6); 2(4); 1(6)
	¿Harías sugerencias para mejorar?	**
Posibilidades de interacción con los docentes y tutores (foro, mensajes)		5 (17), 4 (21), 3 (9), 2 (8), 1 (2), NS/NC (2)
Posibilidades de interacción con compañeros (foro, mensajes)		5 (19), 4 (13), 3 (4), 2 (3), 1 (5), NS/NC (4)

Sugerencias de los aspirantes en la Tabla 8:
* Enviar directamente los documentos de Word a las tareas
** Mayor conexión entre matemática y física
** Enviar todo en formato de Word
** Problemas: Hay que cerrar la ventana para cambiar de materia.

3.3 *La tasa de deserción inicial*

Se refiere al porcentaje de aspirantes que no iniciaron el curso, es decir, que no comenzaron a realizar el proceso. En el curso presencial fue aumentando de un 23% en el año 2003, al 57,7% en el ingreso 2007.

Tabla 9. Tasa de deserción inicial del ingreso presencial.

Año	Inscriptos	En proceso	Tasa de deserción
2003	587	451	23,2%
2004	515	388	24,6%
2005	513	376	26,7%
2006	617	393	36,3%
2007	116	49	57,7%

Tabla 10. Tasa de deserción inicial del ingreso a distancia

Año	Inscriptos	En proceso	Tasa de deserción
2003	21	13	38 %
2004	97	72	25,7%
2005	116	91	21,5%
2006	203	120	40,8%
2007	584	354	39,4%

3.4 *La tasa de abandono*

Recoge el porcentaje de aspirantes que, habiendo iniciado el proceso, no pudieron continuarlo por diversas razones.

Tabla 11. Tasa de abandono del ingreso presencial.

Año	En proceso	Abandonaron	Tasa de abandono.
2003	451	25	5,5%
2004	388	13	3,3%
2005	376	19	5,1%
2006	393	79	20,1%
2007	49	9	57,7%

Tabla 12. Tasa de abandono del ingreso a distancia

Año	En proceso	Abandonaron	%tasa abandono.
2003	13	0	0%
2004	72	8	11,1%
2005	91	17	18,7%
2006	120	10	8,3%
2007	354	46	12,9%

3.5 *El rendimiento académico*

Indica el porcentaje de alumnos que aprobaron los exámenes del curso de nivelación.

Para poder rendir las evaluaciones del curso semipresencial, se exige la aprobación del 60% de tareas del campus y una asistencia del 75% a las actividades presenciales, quedando exceptuados quienes viven a más de 100 km. En el curso presencial se exige el 80% de asistencia a clase.

A Continuación se presentan tablas y gráficos de rendimiento académico correspondientes a los ingresos de los años 2003 a 2007, para las dos modalidades y se incluyen los datos de los años 2001 y 2002 de la presencial. En la tabla 8 se pone de manifiesto la problemática de la disminución del rendimiento académico de los aspirantes en el ingreso presencial. En el año 2005 se produjo una situación atípica. Ver Fig. 1 y 2

Tabla 13: Alumnos aprobados en ingreso presencial

Año	En proceso	Aprobaron	% Aprob.
2001	427	272	63,7%
2002	362	211	58,3%
2003	426	220	51,6%
2004	375	164	43,7%
2005	359	198	55,2%
2006	393	152	38,7%
2007	49	17	34,7%

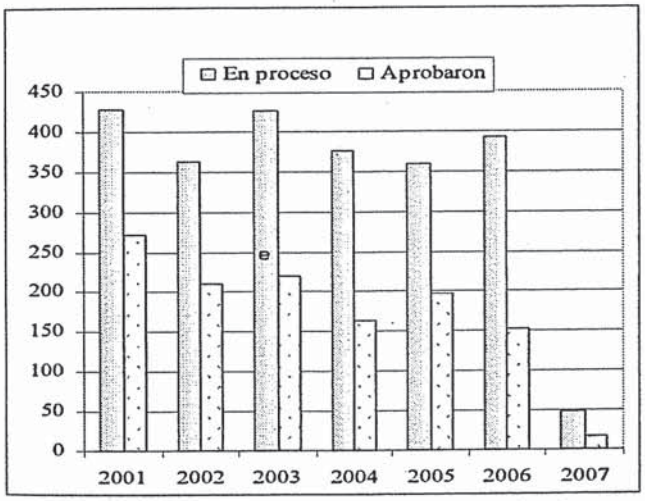


Gráfico 1: Cantidad de alumnos aprobados en relación a la cantidad de alumnos en proceso en el ingreso presencial

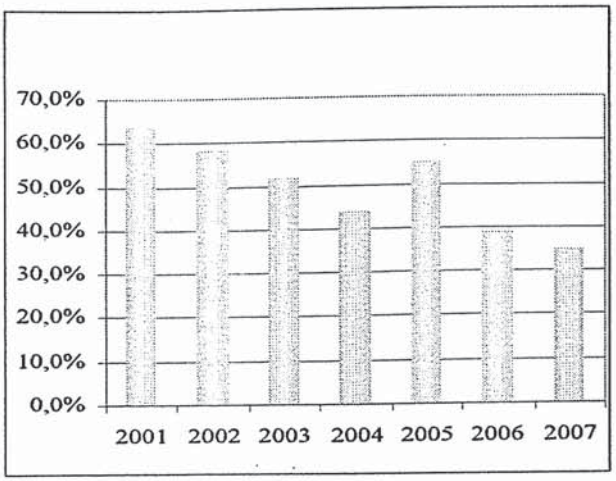


Gráfico 2: % de Alumnos aprobados en el ingreso presencial

Tabla 14: Alumnos aprobados en ingreso a distancia

Año	En proceso	Aprobaron	% Aprob.
2003	13	12	92,3%
2004	71	32	45,1%
2005	90	58	64,4%
2006	120	63	52,5%
2007	354	181	51,1%

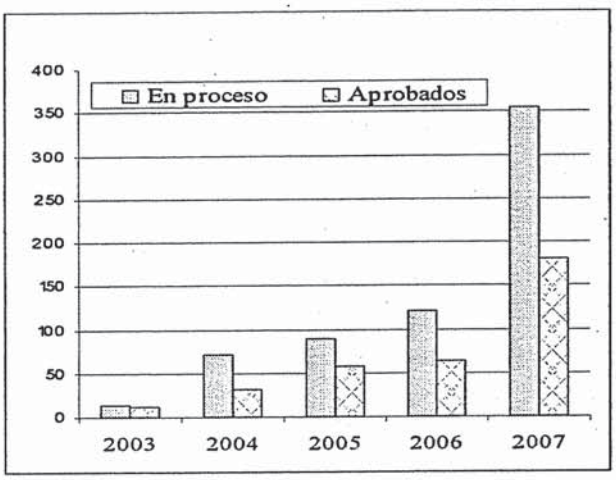


Gráfico 3: Cantidad de alumnos aprobados en relación a la cantidad de alumnos en proceso en el ingreso a distancia

Tabla 15. Porcentajes comparados de ingresantes en ambas modalidades

	Presencial	**Distancia**
2003	51,6	92,3
2004	43,7	45,1
2005	55,2	64,4
2006	38,7	52,5
2007	34,7	51,1

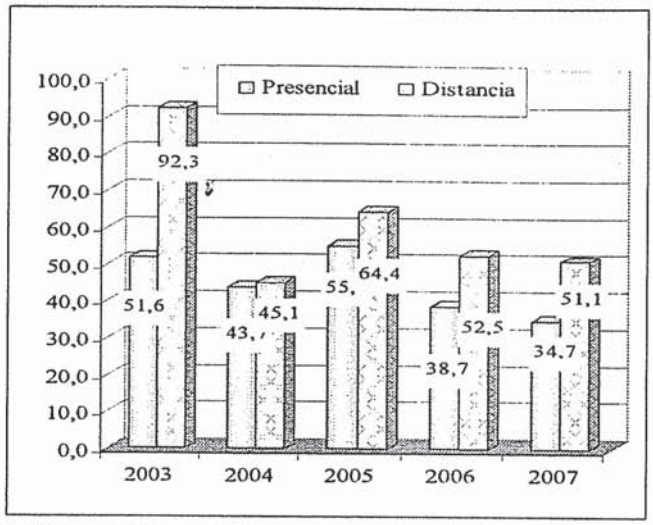


Gráfico 4. Porcentajes comparados de ingresantes en ambas modalidades

Como se puede observar en las tablas y gráficos de evaluaciones, la modalidad a distancia arroja mejor rendimiento académico en el ingreso, comparada con la presencial.

4 CONCLUSIONES

La implementación de la experiencia y el análisis de los datos, permite observar que realmente se promueve el desarrollo de competencias específicas, dando paso a la disminución del fracaso en el ingreso.

Se ha propuesto la modalidad semipresencial como único Curso de Nivelación para el ingreso a la Facultad de Ingeniería.

A partir de estas conclusiones, la inquietud es investigar el rendimiento de estos estudiantes en las asignaturas de primer año.

REFERENCIAS

[1] J. Llach, El Desafío de la Equidad Educativa. Diagnóstico y Propuestas, Editorial Granica S.A, Argentina, Buenos Aires, 2006.

[2] SPU, Ministerio de Educación Ciencia y Tecnología de Argentina, Anuario 2005. Estadísticas Universitarias.

[3] UNESCO – IESALC, Informe sobre la Educación Superior en América Latina y el Caribe 2000-2005, Mayo 2006.

[4] CONEAU, Resolución N°: 417/03 sobre Acreditación de la carrera de Ingeniería de Petróleos.

[5] M. CASTELLS, La era de la Información. La Sociedad en Red. Editorial Siglo XXI Editores, Argentina, 6ta. Ed, 2005.

[6] M. Mena, La Educación a Distancia en América Latina, Editorial La Crujía Stella ICDE – Unesco, Buenos Aires, 2004.

[7] E. Litwin, Tecnología Educativa. Política, Historia, Propuestas, Editorial Paidós, Buenos Aires, 1ra. Ed, 3ra reimp, 2006.

[8] E. Litwin, Tecnologías Educativas en Tiempos de Internet, Editorial Amorrortu, Buenos Aires, 2005.

[9] L. García Aretio, La educación a distancia de la teoría a la práctica, Editorial Ariel, Barcelona, 2001.

[10] M. Silva, Educación Interactiva. Enseñanza y Aprendizaje Presencial y On – Line, Editorial Gedisa, S.A. Barcelona, España, 2005.

[11] H. Vallone & G. Astargo & E. Caliguli, Informes Finales de Ingreso de la Facultad de Ingeniería de la UNCuyo, 2003 a 2007.

ABSTRACT

In this work we analyzed both modalities of admission to the Faculty of Engineering of the UNCuyo and we described the methodology used in the Course of Leveling in semipresencial modality, which combines the advantages of the traditional presencial modality with those of e-learning. The last one is being implemented in the Faculty since admission of 2003 at the same time that the traditional modality. At the beginning we used the Manhattan virtual platform and since 2005 we have been using the virtual campus developed by the UNCuyo. In admission of 2006 we incorporated the figure of the pupil tutor and the presencial activities as part of the methodology of work. This methodology is based on the communication and the interactivity among the teachers, tutors, pupils and materials. We use printed and digital material and we developed on-line activities in the virtual campus. The studied variables are: the previous knowledge of the aspirants, the academic performance in both modalities, the rate of initial desertion, the rate of abandon and the correlation among variables of the e-learning modality. We evaluated the Course through a survey to the aspirants to know their opinion about diverse aspects.

Key Words: e-learning – admission – virtual campus

Cuando no alcanza el Curso de Nivelación presencial

E. E. Caliguli & G. B. Astargo

ecalig@uncu.edu.ar & gastargo@uncu.edu.ar
Área de Modalidades y Tecnologías Educativas & Ingreso, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo

RESUMEN: En este trabajo se analizan las dos modalidades de ingreso a la Facultad de Ingeniería de la UNCuyo y se describe la metodología empleada en el Curso de Nivelación en modalidad semipresencial, que combina las ventajas de la modalidad tradicional presencial con las de distancia. Esta última se viene implementando en la Facultad desde el ingreso 2003 en paralelo con la presencial. Inicialmente se utilizó la plataforma virtual Manhattan y desde el ingreso 2005 se usa el campus virtual desarrollado por la UNCuyo. En el ingreso 2006 se incorpora la figura del tutor alumno y las actividades presenciales como parte de la metodología de trabajo. Esta metodología se basa en la comunicación y la interactividad entre los docentes, tutores, alumnos y materiales. Se utiliza material impreso y digital y se desarrollan actividades no presenciales en el campus virtual. Las variables estudiadas son: los conocimientos previos de los aspirantes, el rendimiento académico en ambas modalidades, la tasa de deserción inicial y la tasa de abandono. Se realiza una evaluación a través de una encuesta a los aspirantes para conocer su opinión acerca de diversos aspectos.

Palabras clave: modalidad semipresencial – ingreso – campus virtual

1 INTRODUCCIÓN

La Facultad de Ingeniería de la UNCuyo ofrece dos modalidades de Curso de Nivelación: presencial tradicional y a distancia, ésta última a partir del ingreso para el ciclo lectivo 2003.
No hay números clausus, por lo que ingresan todos los aspirantes que aprueban los exámenes de Matemática y Física. El Curso de Nivelación tiene dos parciales por asignatura con sus respectivos recuperatorios. Además existen Pruebas Generales de Conocimiento (PGC) que también tienen recuperatorios, para quienes no aprobaron o no realizaron el curso.
Es bien conocido el problema del desfasaje entre los conocimientos previos de los aspirantes a ingresar a la universidad y los que realmente necesitan para llevar adelante sus estudios con éxito, fenómeno que se da en toda la Argentina, como lo muestran distintos informes de investigación. Ref. [1] [2] [3].
A esta situación se suma la complejidad del sistema educativo de nivel medio, con una gran diversidad de programas de contenidos y con una función social de contención que muchas veces dificulta el normal desarrollo de los mismos. Esto aumenta las diferencias entre los distintos niveles educativos, especialmente en asignaturas como Matemática y Física.
Esta brecha no se ha podido salvar con el Curso de Nivelación presencial que ofrecía la Facultad, lo que no sólo acarrea deficiencias en los exámenes de ingreso, sino también en el cursado de las asignaturas de primer año, poniendo en riesgo la permanencia de los estudiantes en la universidad.
Por este motivo una de las líneas de acción de la Facultad fue trabajar por lo menos sobre dos

variables fundamentales: el tiempo de duración del curso y la realidad socio-económica y geográfica de los estudiantes. El tiempo del Curso de Nivelación presencial se considera insuficiente, según las observaciones de la CONEAU, Ref. [4], frente a la calidad de los conocimientos que traen los aspirantes y a la necesidad de otorgar mayor tiempo para la maduración de los conceptos. En cuanto a la realidad socio-económica, se sabe que cada vez son más los jóvenes que se ven obligados a trabajar, lo que les dificulta la dedicación al estudio. Por otra parte hay aspirantes que residen en zonas alejadas y no podrían concurrir a clases de manera regular, pues deben cumplir con las obligaciones de sus colegios de nivel medio.

Al mismo tiempo las tecnologías de la información y comunicación han invadido la vida del hombre en todos los campos, social, político, económico y cultural, Ref. [5]. El avance de la ciencia multiplica la generación de conocimiento e información, de manera que hoy se plantean cambios en la concepción del recurso humano. El profesional debe ser formado para continuar aprendiendo a lo largo de toda su vida y esto es posible con el auxilio de las metodologías de educación a distancia. Ref. [3] [6].

Las nuevas tendencias de esta modalidad incorporan una parte de actividades presenciales, generando lo que se ha dado en llamar actualmente, educación semipresencial, en la cual se combinan las características más ventajosas de cada modalidad. Se considera conveniente que haya un 25 a 30% de actividades presenciales. Ref. [2]

Teniendo en cuenta estos aspectos se implementaron experiencias innovadoras en modalidad a distancia para la enseñanza de Física y Matemática, a partir del ingreso 2003, transformándose en semipresencial desde el ingreso 2006.

Entre las ventajas de la educación a distancia podemos mencionar, Ref. [7] [8] [9] [10]:

Promueve el aprendizaje autónomo, ya que el alumno debe gestionar la construcción de sus conocimientos de manera más independiente.

Permite respetar los distintos estilos de aprendizaje.

Otorga libertad para organizar los tiempos de cada persona.

Utiliza tecnología con la que los aspirantes están familiarizados o aprenden rápidamente su uso.

Favorece el contacto de los aspirantes con herramientas informáticas, que le serán de gran utilidad en las carreras de ingeniería, cuando no indispensables.

El modelo didáctico aplicado utiliza el campus virtual desarrollado por la UNCuyo como soporte a la comunicación y a las actividades mediadas; trabaja con materiales impresos y digitales e incorpora otras TICs como correo electrónico, teléfono y fax

El Aprendizaje se concibe desde una perspectiva constructivista, con una dimensión no sólo cognitiva sino también afectiva y social, a través de la comunicación e interactividad tanto con los docentes como con los materiales y compañeros.

La interactividad cognitiva apunta a lograr que el aspirante establezca relaciones reales entre los conocimientos, para no quedarse sólo en la etapa de memorización.

Para llevar a cabo el proyecto se definió perfil y rol específico de tutores docentes y tutores alumnos, brindando la capacitación necesaria, además se cuenta con un equipo docente de formación disciplinar.

2 DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA EN MODALIDAD SEMIPRESENCIAL

Desde que se comenzó a implementar la modalidad a distancia, la cantidad de aspirantes fue aumentando para esta modalidad y disminuyendo en la presencial. De 13 aspirantes para la primera experiencia piloto, aumentó a 584 para el ingreso 2007. Ref. [11].

El curso de ingreso implementado en modalidad semipresencial ha generado procesos distintos a los del tradicional en la organización, gestión e implementación.

2.1 *Objetivos generales y específicos*

2.1.1 Se mantienen los objetivos generales de la modalidad presencial:

- Recordar, usar con propiedad y aplicar los conceptos físicos y matemáticos del nivel anterior –secundario o Polimodal– que sean relevantes para las asignaturas correspondientes que se cursan en esta Facultad.
- Incentivar la formación de criterios para la resolución de problemas.
- Desarrollar estrategias de autoaprendizaje y de trabajo grupal colaborativo.
- Fomentar la autoevaluación personal y grupal.

2.1.2 Se establecen los siguientes objetivos específicos para la modalidad a distancia:

- Respetar los tiempos del estudiante, mediante un cronograma de actividades más extenso.
- Considerar sus motivaciones y particularidades a través de una enseñanza personalizada.
- Promover la igualdad de oportunidades realizando un seguimiento individual y continuo.

2.2 *Metodología de implementación*

Inicialmente se utilizó la plataforma virtual Manhattan, de uso libre, y a partir del ingreso 2005 se está empleando el campus virtual desarrollado por la UNCuyo.
El curso contiene actividades presenciales y a distancia. Se distribuye a los aspirantes en comisiones para ambos tipos de actividades. Cada comisión está a cargo de dos docentes disciplinares, uno por asignatura, quienes desarrollan la tutoría académica a distancia y las actividades presenciales.
Además se cuenta con tutores de apoyo, quienes mantienen una comunicación fluida con los alumnos de cada grupo a fin de contener, apoyar el seguimiento del curso, detectar dificultades y resolver aspectos administrativos. Se trata de alumnos de la facultad que han sido capacitados para desempeñarse como tutores.
Las actividades presenciales consisten en clases, consultas, evaluaciones y muestra de exámenes. En las clases se realizan cierres conceptuales de los ejes temáticos, se comentan los errores más frecuentes en las actividades del campus y se trabaja la resolución de problemas, promoviendo la formación de grupos.
Corresponden aproximadamente a un 30% del total de horas del curso.
Se consideran actividades a distancia todas aquellas que realizan los docentes y aspirantes para lograr la comunicación y el aprendizaje autónomo del alumno, en espacios y tiempos no coincidentes. Son actividades y tareas dispuestas en el campus virtual seleccionadas por unidad temática, tales como ejercicios, resolución de problemas. El aspirante envía las tareas a su tutor a través del campus y recibe las correcciones personalizadas. También hay enlaces interactivos, auto evaluaciones, evaluaciones de proceso, consultas a docentes y tutores, foros, actividades de estudio con el material impreso y un contacto vía e-mail o telefónico con tutores para establecer o mantener un diálogo.
El proceso a distancia corresponde a un 70 % del total de horas del curso y es tutorado por los docentes disciplinares y los tutores de apoyo.
Las evaluaciones son presenciales y para acceder a ellas, los aspirantes deben cumplir con un porcentaje de todo el proceso propuesto tanto de actividades presenciales como de actividades a distancia.
El material se trabaja en formato papel y digital.
Se ha conformado un equipo estable de docentes y tutores con experiencia y capacitación en las características de la modalidad necesarias para la propuesta.
Para implementar esta metodología se han considerado variables de espacio y tiempo utilizadas como se muestra en el Cuadro 1.
Se parte de una evaluación diagnóstica que da cuenta de la gran diversidad existente entre los aspirantes y del bajo nivel de conocimientos previos en general, así como de las actitudes hacia la resolución de problemas.

Tabla 1. Variables de espacio y tiempo

Tiempo	Espacio	
	El mismo	Distinto
SÍNCRONO	• Clase Presencial • Evaluaciones • Consulta a tutores • Muestra de exámenes	• Contacto Telefónico
ASÍNCRONO		• Foros • Consultas • Tutorías • Resolución de Actividades • Auto evaluaciones • Corrección de actividades

2.3 *Definición de perfiles y roles*

Se tiene en cuanta el perfil de coordinador disciplinar, docente y tutor, como así también sus capacitaciones.

2.3.1. Perfil de los coordinadores disciplinares

Responsables del desarrollo académico. Realizan las siguientes actividades:
- Mediación de material: adecuación a Educación Basada en Competencias. Establecimiento de tabla de saberes a partir de competencias básicas y específicas.
- Elaboración de actividades de seguimiento, proceso y práctica.

- Elaboración de claves de corrección de actividades tutoriales.
- Corrección de actividades integradoras.
- Elaboración y corrección de exámenes

2.3.2. Perfil de desempeño del docente disciplinar y tutor académico

- Dominio del contenido disciplinar y didáctica de la asignatura Matemática y Física.
- Motivación intrínseca para trabajar en el proyecto.
- Conocimiento de la modalidad a distancia

2.3.2.1 Realizan las siguientes actividades:

- Dictado de los módulos presenciales de la asignatura.
- Tutoría de actividades académicas: incluye corrección de ejercicios, trabajos prácticos, problemas, evaluaciones de proceso y actividades integradoras.
- Toma y corrección de evaluaciones parciales, recuperatorios y globales
- Comunicación con la red de tutores para conocer el avance de proceso u otro dato relevante de las actividades a distancia.
- Asistencia a las reuniones establecidas institucionalmente.

2.3.3. Perfil de desempeño del alumno tutor

- Ser alumno avanzado de 2do. o 3er. año, de Facultad de Ingeniería, que acrediten tener aprobadas las asignaturas de competencia.
- Poseer motivación intrínseca.
- Valorar la comunicación y disponer de predisposición para trabajar con el perfil del aspirante.
- Acreditar conocimientos informáticos.

2.3.3.1 Realizan las siguientes actividades:

- Comunicación fluida con el grupo a tutorar (promover el seguimiento del curso, comunicar dificultades encontradas, ayudarlo a resolver los procesos).
- Corrección de actividades propuestas en el Campus (mediante clave de corrección). No corregirá actividades integradoras o que acrediten evaluación).
- Informar detalladamente el seguimiento de alumnos, (criterios establecidos por la [illegible] en función del aprendizaje de los alumnos).
- Asistencia a [illegible] institucionalmente

2.4 *Procesamiento didáctico de materiales basado en tabla de saberes por competencias*

Para la experiencia 2005 se definió la tabla de saberes que comprende contenidos, habilidades y destrezas e indicadores de logro y se realizó un primer procesamiento didáctico para la adecuación al campus virtual. Este proceso se completó en el año 2006 para el total de ambas asignaturas.
Además se realizó la segunda edición del material de Apoyo Teórico con impresión de 500 ejemplares.
Para el ingreso 2007 se efectuó una evaluación de los materiales, por parte de los docentes del ingreso y se tuvieron en cuenta las sugerencias realizadas, para la tercera edición, con la impresión de 1000 ejemplares.
Los equipos de ingreso de las Facultades de Ingeniería y de Ciencias Aplicadas a la Industria, trabajaron en conjunto en el marco del proyecto de articulación de la UNCuyo con los colegios polimodales de la provincia, definiendo las siguientes competencias específicas:

- Analizar una función o un fenómeno físico o químico sencillo a partir de su representación gráfica y/o a partir de sus ecuaciones matemáticas.
- Resolver problemas sencillos de Matemática, Física y Química aplicando modelos matemáticos.
- Reconocer y analizar propiedades físicas y/o químicas de la materia en ejemplos cotidianos.
- Transferir el conocimiento científico de física, química y matemática a situaciones cotidianas.
- Utilizar la computadora, explicitando y aplicando lógica procedimental en la utilización de Sistema Operativo y diversas aplicaciones como: Procesador de textos, Internet y Correo Electrónico

3 DEFINICIÓN Y ANÁLISIS DE VARIABLES E INDICADORES

Las variables analizadas fueron:

3.1 *Conocimientos previos de los aspirantes*

Hay una gran diversidad en la calidad y cantidad de los conocimientos, habilidades y actitudes con que cuentan. Esto se ha corroborado a través de evaluaciones diagnósticas tomadas al inicio del Curso de Nivelación en modalidad a distancia.
En el Curso de Nivelación presencial esta evaluación no se ha realizado de manera sistemática, sino por las apreciaciones personales de los docentes a cargo, que realizan preguntas en forma oral y general.

3.2 *Opinión de los aspirantes acerca de diversos aspectos.*

Se realizaron encuestas voluntarias y anónimas a los aspirantes. Respondieron 48

3.2.1. Información recibida sobre. (Tabla 2):
3.2.1.1 Objetivos y contenidos de la materia,
3.2.1.2 Metodología de trabajo, condiciones de regularidad y aprobación;
3.2.1.3 Cronograma de actividades

Tabla 2. Opinión de los aspirantes acerca de información recibida

3.2.1	Muy bueno	Bueno	Regular	Malo	NS / NC
3211	26	21	1	0	0
3212	9	36	3	0	0
3213	17	24	7	1	0

3.2.2. Materiales impresos (Tabla 3):
3.2.2.1 Apoyo teórico
3.2.2.2 Guía de Trabajos Prácticos

Tabla 3. Opinión de los aspirantes acerca de Materiales impresos

3.2.2	Muy bueno	Bueno	Regular	Malo	NS / NC
322.1	11	19	12	5	1
322.2	24	17	4	1	2

3.2.3. Tareas y Actividades del campus (Tabla 4):
3.2.3.1 Tareas propuestas
3.2.3.2 Ejercicios y problemas resueltos

Tabla 4. Opinión de los aspirantes acerca de Tareas y Actividades del campus

3.2.3	Muy bueno	Bueno	Regular	Malo	NS / NC
323.1	16	24	8	0	0
323.2	18	22	7	0	1

3.2.4. Actividades presenciales (Tabla 5):
3.2.4.1 Sirvieron para clarificar conceptos del Apoyo Teórico
3.2.4.2 Completar actividades del Campus Virtual
3.2.4.3 Integrar contenidos

Tabla 5. Opinión de los aspirantes acerca de Actividades presenciales

3.2.4	Siempre	Muchas veces	A veces	Nunca
324.1	5	24	8	1
324.2	8	23	14	3
324.3	13	14	21	0

3.2.5. Aspectos relacionados con el profesor (Tabla 6):
3.2.5.1 Tiempo de respuesta,
3.2.5.2 Claridad de las respuestas

Tabla 6. Opinión de los aspirantes acerca de Aspectos relacionados con el profesor

3.2.5	Una semana	Más de una sem.	Nunca	NS / NC
352.1	36	7	0	5

3.2.5	Claras	Medianamente claras	Poco claras	NS / NC
352.2	25	20	2	1

3.2.6. Aspectos relacionados con la primera evaluación parcial (Tabla 7):

Tabla 7. Opinión de los aspirantes acerca de la primera evaluación parcial

Contenidos	Sí	Se tomaron cont. no desarrollados		NS / NC
Se realizó en función de los contenidos desarrollados	43	4		1
	Más difícil	De igual grado	Más fácil	NS / NC
Nivel de dificultad	18	27	2	1

3.2.7. Aspectos relacionados con el Uso del Campus virtual: velocidad, apariencia, navegabilidad, posibilidades de interacción, estimulación. Se pidió a los aspirantes que calificaran de 1 a 5. (Tabla 8)

Tabla 8. Opinión de los aspirantes acerca del Campus virtual

Aspecto		Grado
Velocidad. Esta página se carga con rapidez		5 (26), 4 (15), 3 (3), NS/NC (4)
Apariencia general	Puedes saber donde estás en la página inmediatamente	5 (24), 4 (17), 3 (5), 1 (2)
	Te estimula para explorar las opciones	5 (215), 4 (14), 3 (10), 2 (5), 1 (3)
Navegabilidad	Te permite moverte de manera fácil de un lugar a otro	5 (21), 4 (13), 3 (11), 2 (5), 1 (1)
	Los enlaces son útiles o suficientes	5 (16), 4 (12), 3 (12), 2 (2), 1 (1)
	Agregarías otros	NO (21), SI (1) *
Posibilidades de realización y envío de tareas	Resulta fácil realizar y enviar tareas	5 (11), 4 (17), 3 (13), 2 (7), 1 (1)
	Necesitas mucho tiempo para realizar esto	SI (15), NO(7) 5 (6); 4 (4); 3 (6); 2(4); 1(6)
	¿Harías sugerencias para mejorar?	**
Posibilidades de interacción con los docentes y tutores (foro, mensajes)		5 (17), 4 (21), 3 (9), 2 (8), 1 (2), NS/NC (2)
Posibilidades de interacción con compañeros (foro, mensajes)		5 (19), 4 (13), 3 (4), 2 (3), 1 (5), NS/NC (4)

Sugerencias de los aspirantes en la Tabla 8:
* Enviar directamente los documentos de Word a las tareas
** Mayor conexión entre matemática y física
** Enviar todo en formato de Word
** Problemas: Hay que cerrar la ventana para cambiar de materia.

3.3 *La tasa de deserción inicial*

Se refiere al porcentaje de aspirantes que no iniciaron el curso, es decir, que no comenzaron a realizar el proceso. En el curso presencial fue aumentando de un 23% en el año 2003, al 57,7% en el ingreso 2007.

Tabla 9. Tasa de deserción inicial del ingreso presencial.

Año	Inscriptos	En proceso	Tasa de deserción
2003	587	451	23,2%
2004	515	388	24,6%
2005	513	376	26,7%
2006	617	393	36,3%
2007	116	49	57,7%

Tabla 10. Tasa de deserción inicial del ingreso a distancia

Año	Inscriptos	En proceso	Tasa de deserción
2003	21	13	38 %
2004	97	72	25,7%
2005	116	91	21,5%
2006	203	120	40,8%
2007	584	354	39,4%

3.4 *La tasa de abandono*

Recoge el porcentaje de aspirantes que, habiendo iniciado el proceso, no pudieron continuarlo por diversas razones.

Tabla 11. Tasa de abandono del ingreso presencial.

Año	En proceso	Abandonaron	Tasa de abandono.
2003	451	25	5,5%
2004	388	13	3,3%
2005	376	19	5,1%
2006	393	79	20,1%
2007	49	9	57,7%

Tabla 12. Tasa de abandono del ingreso a distancia

Año	En proceso	Abandonaron	%tasa abandono.
2003	13	0	0%
2004	72	8	11,1%
2005	91	17	18,7%
2006	120	10	8,3%
2007	354	46	12,9%

3.5 *El rendimiento académico*

Indica el porcentaje de alumnos que aprobaron los exámenes del curso de nivelación.

Para poder rendir las evaluaciones del curso semipresencial, se exige la aprobación del 60% de tareas del campus y una asistencia del 75% a las actividades presenciales, quedando exceptuados quienes viven a más de 100 km. En el curso presencial se exige el 80% de asistencia a clase.

A Continuación se presentan tablas y gráficos de rendimiento académico correspondientes a los ingresos de los años 2003 a 2007, para las dos modalidades y se incluyen los datos de los años 2001 y 2002 de la presencial. En la tabla 8 se pone de manifiesto la problemática de la disminución del rendimiento académico de los aspirantes en el ingreso presencial. En el año 2005 se produjo una situación atípica. Ver Fig. 1 y 2

Tabla 13: Alumnos aprobados en ingreso presencial

Año	En proceso	Aprobaron	% Aprob.
2001	427	272	63,7%
2002	362	211	58,3%
2003	426	220	51,6%
2004	375	164	43,7%
2005	359	198	55,2%
2006	393	152	38,7%
2007	49	17	34,7%

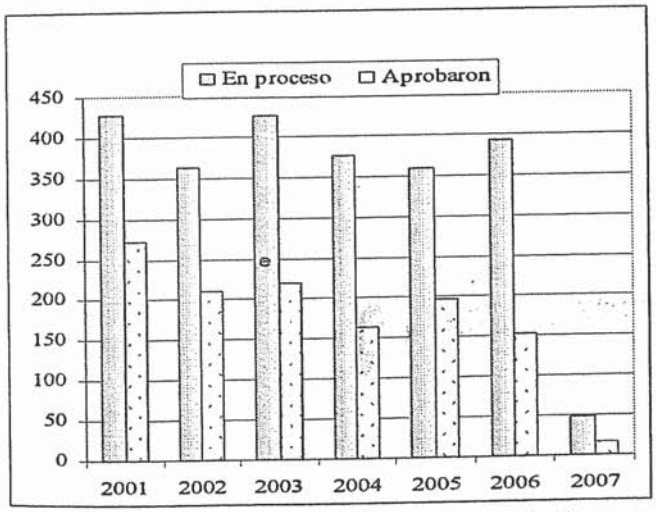


Gráfico 1: Cantidad de alumnos aprobados en relación a la cantidad de alumnos en proceso en el ingreso presencial

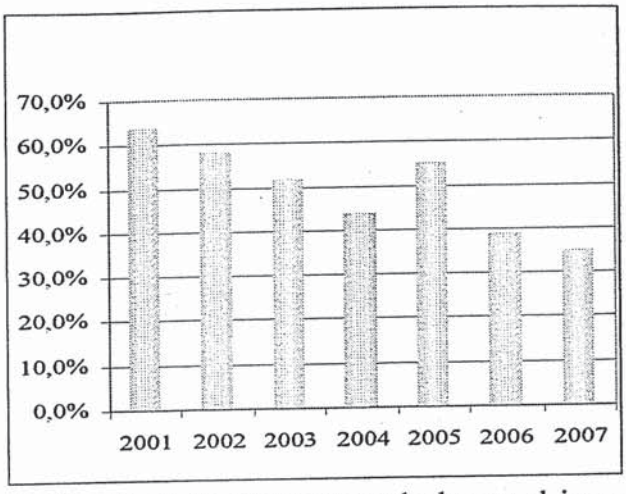


Gráfico 2: % de Alumnos aprobados en el ingreso presencial

Tabla 14: Alumnos aprobados en ingreso a distancia

Año	En proceso	Aprobaron	% Aprob.
2003	13	12	92,3%
2004	71	32	45,1%
2005	90	58	64,4%
2006	120	63	52,5%
2007	354	181	51,1%

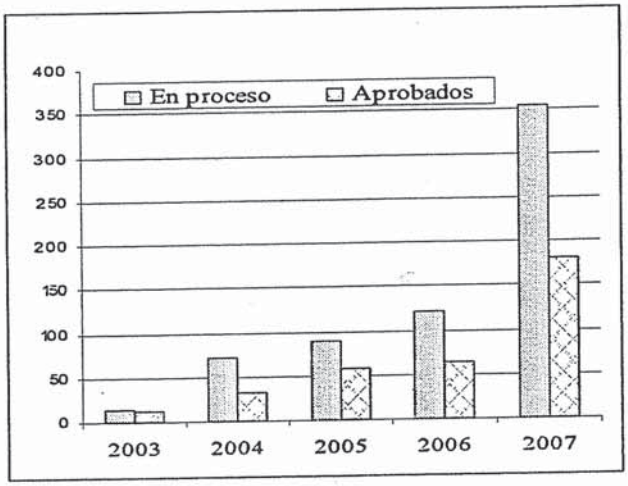


Gráfico 3: Cantidad de alumnos aprobados en relación a la cantidad de alumnos en proceso en el ingreso a distancia

Tabla 15. Porcentajes comparados de ingresantes en ambas modalidades

	Presencial	**Distancia**
2003	51,6	92,3
2004	43,7	45,1
2005	55,2	64,4
2006	38,7	52,5
2007	34,7	51,1

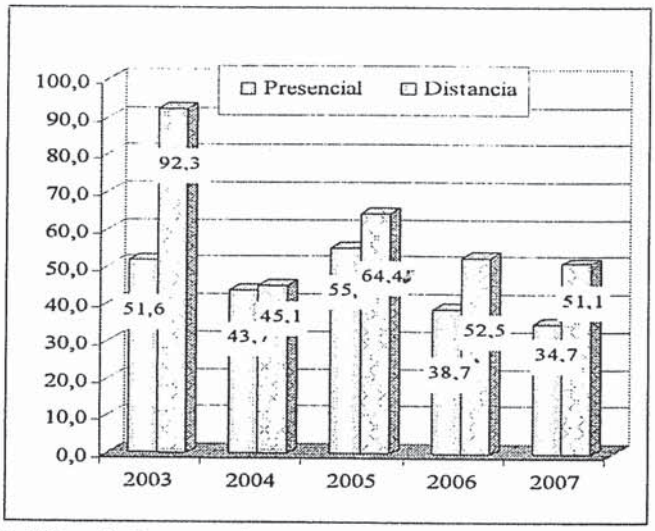


Gráfico 4. Porcentajes comparados de ingresantes en ambas modalidades

Como se puede observar en las tablas y gráficos de evaluaciones, la modalidad a distancia arroja mejor rendimiento académico en el ingreso, comparada con la presencial.

4 CONCLUSIONES

La implementación de la experiencia y el análisis de los datos, permite observar que realmente se promueve el desarrollo de competencias específicas, dando paso a la disminución del fracaso en el ingreso.

Se ha propuesto la modalidad semipresencial como único Curso de Nivelación para el ingreso a la Facultad de Ingeniería.

A partir de estas conclusiones, la inquietud es investigar el rendimiento de estos estudiantes en las asignaturas de primer año.

REFERENCIAS

[1] J. Llach, El Desafío de la Equidad Educativa. Diagnóstico y Propuestas, Editorial Granica S.A, Argentina, Buenos Aires, 2006.

[2] SPU, Ministerio de Educación Ciencia y Tecnología de Argentina, Anuario 2005. Estadísticas Universitarias.

[3] UNESCO – IESALC, Informe sobre la Educación Superior en América Latina y el Caribe 2000-2005, Mayo 2006.

[4] CONEAU, Resolución N°: 417/03 sobre Acreditación de la carrera de Ingeniería de Petróleos.

[5] M. CASTELLS, La era de la Información. La Sociedad en Red. Editorial Siglo XXI Editores, Argentina, 6ta. Ed, 2005.

[6] M. Mena, La Educación a Distancia en América Latina, Editorial La Crujía Stella ICDE – Unesco, Buenos Aires, 2004.

[7] E. Litwin, Tecnología Educativa. Política, Historia, Propuestas, Editorial Paidós, Buenos Aires, 1ra. Ed, 3ra reimp, 2006.

[8] E. Litwin, Tecnologías Educativas en Tiempos de Internet, Editorial Amorrortu, Buenos Aires, 2005.

[9] L. García Aretio, La educación a distancia de la teoría a la práctica, Editorial Ariel, Barcelona, 2001.

[10] M. Silva, Educación Interactiva. Enseñanza y Aprendizaje Presencial y On – Line, Editorial Gedisa, S.A. Barcelona, España, 2005.

[11] H. Vallone & G. Astargo & E. Caliguli, Informes Finales de Ingreso de la Facultad de Ingeniería de la UNCuyo, 2003 a 2007.

ABSTRACT

In this work we analyzed both modalities of admission to the Faculty of Engineering of the UNCuyo and we described the methodology used in the Course of Leveling in semipresencial modality, which combines the advantages of the traditional presencial modality with those of e-learning. The last one is being implemented in the Faculty since admission of 2003 at the same time that the traditional modality. At the beginning we used the Manhattan virtual platform and since 2005 we have been using the virtual campus developed by the UNCuyo. In admission of 2006 we incorporated the figure of the pupil tutor and the presencial activities as part of the methodology of work. This methodology is based on the communication and the interactivity among the teachers, tutors, pupils and materials. We use printed and digital material and we developed on-line activities in the virtual campus. The studied variables are: the previous knowledge of the aspirants, the academic performance in both modalities, the rate of initial desertion, the rate of abandon and the correlation among variables of the e-learning modality. We evaluated the Course through a survey to the aspirants to know their opinion about diverse aspects.

Key Words: e-learning – admission – virtual campus

Portabilidad de la matemática y las analogías en ciencias

C.A. Bello; G. Cuadrado; A.J.Fara; E. Mannoni

cab@frm.utn.edu.ar gac@frm.utn.edu.ar ajfara@frm.utn.edu.ar
CIEMI, Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional

RESUMEN: El propósito de esta investigación fue explorar los vínculos entre *portabilidad* y *analogía*, que constituyen, en parte, relaciones necesarias entre Matemática, Ciencias de la Ingeniería y Semiótica. El método usado para obtener la información consistió en considerar el enfoque estructural de la Concepción Semántica, para describir el proceso de construcción del modelo empírico de una teoría. También utilizaron analogías entre la Mecánica y el Electromagnetismo, que permitieron mostrar la lógica que éstas tienen. Se encontró que tanto la *portabilidad* y como la *analogía* se originan en una forma matemática común que comparten dos o más teorías. Además se pudo establecer que el concepto de ***analogía*** abre importantes líneas de trabajo en Didáctica de la Ciencia y en Historia de la Ciencia y la Tecnología. También se pudo concluir que los conceptos de *portabilidad* y *analogía* permiten asimilar los conceptos de una teoría con los de otra que presenta alguna ventaja respecto de la percepción de sus magnitudes.

Palabras clave: Portabilidad – analogía – registro – semiótica – formalización

1 INTRODUCCIÓN

En este trabajo se exploran los vínculos entre *portabilidad* y *analogía*, porque constituyen una parte de las relaciones necesarias entre Matemática, Ciencias de la Ingeniería y Sistemas de Representación.

Las teorías son objetos semióticos que se usan para explicar *cosas* distintas de ellas mismas, además es de suponer que existe *alguien* que las usa para dar esas explicaciones, interpretando fórmulas, gráficos, diagramas y lecturas de instrumentos. Las teorías ingenieriles idealizan y simplifican la realidad usado estructuras matemáticas, cuyas fórmulas representan conjuntos finitos de fenómenos físicos llamados '*modelos de la teoría*'.

En relación con ello puede ocurrir que dadas dos o más teorías, de distintos campos cognitivos, estas pueden compartir la misma estructura axiomática, en parte o totalmente. Cuando la expresión matemática de leyes de distintas teorías es la misma surgen las *analogías* y su proceso dual, la *portabilidad*. La primera expande el modo de conocer, en tanto que la segunda favorece la economía de pensamiento.

La actividad de los ingenieros se orienta a la construcción de objetos tecnológicos con propósitos específicos y para lograrlo usan diversas teorías científicas. Las denominadas '*formales*' como Lógica, Cálculo, Álgebra, Geometría, estudian la coherencia interna y el rigor de los sistemas de signos, mientras que las *empíricas* como Mecánica, Electricidad, Termodinámica, Geología, efectúan interpretaciones sobre las anteriores y de este modo, relacionan hechos, explican y predicen el comportamiento de ciertas parcelas de la realidad (modelos) e informan como modificarlas, aspecto que aprovecha la Ingeniería. Los problemas científicos por lo general son directos, mientras que los ingenieriles son inversos. Así por ejemplo, un físico puede calcular las ondas que emite una antena dada, en cambio un ingeniero la diseña para que las ondas emitidas se propaguen en una frecuencia deseada [1].

La comunicación de las actividades científicas y tecnológicas está regulada en forma unívoca por las teorías científicas matematizadas. En éstas sus modelos permiten resolver problemas, vinculando datos con incógnitas a través de las estructuras matemáticas, característica que comparten todos los cálculos ingenieriles. Matemática y Ciencias Empíricas se relacionan por *abstracciones*, cuando atienden al rasgo común de varias cosas (forma) y por *interpretaciones* cuando dan cuenta de las particularidades específicas de las cosas (contenido).
La Matemática al ser una forma, puede expresar lo que tienen en común diversas teorías empíricas y por ello se dice que tiene *portabilidad* [2]. Por ejemplo el Cálculo es la forma abstracta de la Cinemática, la Dinámica, la Mecánica de Fluidos, el Electromagnetismo, la Termodinámica, cuyos contenidos se captan efectuando interpretaciones en diferentes campos del conocimiento. A su vez todas estas disciplinas comparten formas comunes en sus principios de causa-efecto y por ello tienen *analogías* entre ellas. La *analogía* es la igualdad de razones que permite inferir la semejanza de dos cosas, en ciertos aspectos, en base a la semejanza de otros aspectos [3]. *Portabilidad* y *analogía* se vinculan a través de los sistemas de representación, analíticos y gráficos, en tanto que el lenguaje natural describe a estos últimos, permitiendo comprender la realidad, con economía de pensamiento, y actuar en ella en forma interdisciplinaria.
En toda ciencia empírica existen cosas que se ven o se perciben, pero también hay otras que no pueden verse ni percibirse [4]. La *portabilidad* y la *analogía* tienen el potencial de establecer un vínculo entre ellas.
Las magnitudes que se ven o se perciben se originan en la experiencia diaria, aparecen con anterioridad a la adquisición de cualquier conocimiento científico y se denominan sensoriogenéticas, tal es el caso de la *longitud,* el *tiempo,* la *fuerza*, la *temperatura*, la *velocidad*, las *intensidades luminosas* y *sonoras*. En cambio las magnitudes no-sensoriogenéticas no son percibidas por los sentidos, es más, estos ni siquiera pueden sospechar su existencia, como es el caso de la *masa*, la *carga eléctrica*, la *intensidad de campo eléctrico* y *magnético* o el caso de las magnitudes derivadas como la *presión*, el *trabajo mecánico*, entre otras tantas [5].
En relación con ello, la *portabilidad* y la analogía permiten establecer un vínculo racional entre magnitudes que se perciben y las que no, que este trabajo se propone describir con ejemplos eléctricos. Además se señala como pueden comprenderse fenómenos donde intervienen magnitudes no-sensoriogenéticas, utilizando fenómenos donde actúan sólo las sensoriogenéticas.
Se encontró que: a) los modelos analógicos constituyen una herramienta eficaz para estudiar fenómenos físicos donde intervienen magnitudes que no son perceptibles, como es el caso los fenómenos eléctricos; b) los modelos matemáticos permiten estudiar las propiedades emergentes de los sistemas físicos; c) las prácticas de laboratorio permiten corroborar el comportamiento de sistemas eléctricos obteniendo datos y registros gráficos que coinciden con la estructura matemática que las describe.
A continuación se describen los vínculos entre los sistemas reales y sus representaciones matemáticas y como emergen de estas últimas la *portabilidad* y la *analogía*; se consignan los principales pasos para la construcción de un modelo y se presentan ejemplos de analogías entre la Mecánica Clásica y el Electromagnetismo.

2 MATERIALES Y METODOS

La ingeniería eléctrica describe sistemas reales e interpreta su comportamiento usando sistemas semióticos. Esto es particularmente interesante cuando el sistema físico real no es percibido por los sentidos y por ello los objetos o procesos de ciertos fenómenos sólo se aprecian por las consecuencias. De este modo, es factible representar, en un registro gráfico, los efectos magnéticos producidos por el paso de una corriente a través de una bobina, mediante las líneas de campo magnético y luego, interpretar con el formalismo matemático los efectos de una corriente alterna, su comportamiento transitorio, la acción desfasada entre tensión y corriente y la influencia de la frecuencia.
Los fenómenos físicos se modelan idealizando y simplificando la realidad con fórmulas matemáticas. Luego en toda teoría y según la posición estructuralista de la Concepción Semántica, intervienen: 1) un *núcleo* o estructura matemática; 2) los *modelos* que describen escorzos de realidad con las fórmulas del núcleo y, 3) una comunidad de usuarios que usa esos modelos para explicar o modificar esas realidades a las que se refiere la teoría [6].
En esta concepción cada modelo o aplicación particular satisface la estructura matemática de la teoría saturándola con una interpretación adecuada que coincide con el comportamiento de una porción de realidad. Pero cuando no se cumplen las

condiciones de idealización que imponen las hipótesis usadas para introducir simplificaciones, el modelo pierde su pertenencia a la teoría y deja de describir el comportamiento de la porción de mundo fáctico elegida.

Por otra parte existen estructuras matemáticas (formas) compartidas por porciones de realidad de campos cognitivos diferentes, en estos casos pueden usarse las *analogías* con fines didácticos. También es importante recordar que éstas fueron muy usadas con fines ingenieriles antes de la aparición de las simulaciones informáticas.

En la construcción de modelos matemáticos para representar fenómenos o procesos hay que: determinar observables; desarrollar un esquema simplificado, definiendo hipótesis simplificatorias; formalizar el esquema y determinar las posibilidades de uso.

1) Se determinan los observables pertinentes del fenómeno en estudio. De La Torre lo define como una abstracción de la realidad, donde "*el sistema físico está compuesto entonces por un conjunto de observables que se eligen en forma algo arbitraria*" [7]. De este modo las variables se convierten en signos, cuyo significado son los observables tomados de la realidad.

2) Se desarrolla un esquema simplificado que contiene las variables seleccionadas. Luego se aplican estrategias de transformación semiótica para pasar del registro textual, que describe el fenómeno, al registro gráfico, que aproxima la totalidad de esa porción de realidad.

3) Se elaboran las hipótesis simplificatorias relacionando las variables elegidas e introduciendo las leyes de comportamiento conocidas, lo que forma una estructura inicial de relaciones primarias, con reglas de formación y transformación en el registro lógico-matemático que constituye el modelo, que permitirá sacar conclusiones.

4) Este sistema formado por ecuaciones y relaciones permite obtener significados y expresiones cuya transformación consciente expresa los modos convenientes de uso.

Este proceso muestra que un modelo es un sistema semiótico completo, porque tiene sintaxis, semántica y pragmática bien definidas, cuyas reglas de formación y transformación permiten inspeccionar sus significados y sus posibilidades de uso. Además de los modelos surgen conceptos que Ausubel define como "*atributos de criterios abstractos que son comunes a una categoría dada de objetos*" [8] y son parte de las operaciones lógicas abstractas del pensamiento formal.

En este proceso de representación es conveniente distinguir los tipos de conceptos que emergen: a) los sintácticos que provienen del sistema formal de signos organizados o estructura y, b) los semánticos referidos al sistema físico, cuyos referentes ausentes están representados por el sistema semiótico. Así por ejemplo, una *derivada*, concepto sintáctico, es un tipo especial de relación de cambio, que aplicada en el sistema físico a las *posiciones de un cuerpo*, significa la *velocidad instantánea* del mismo. Pero aplicando recursivamente el concepto de *derivada* a la *velocidad instantánea*, emerge el concepto semántico de *aceleración del cuerpo* y con una nueva recursión emerge la *sobre-aceleración*. De este modo los objetos o procesos del sistema real surgen como interpretaciones de las propiedades emergentes del sistema formal.

Un sistema semiótico puede representar a muchos fenómenos físicos de distinta naturaleza, hecho que ha dado lugar a las analogías. Por ejemplo, de acuerdo con la segunda ley de Newton de la Mecánica, cuando se aplica una fuerza a un cuerpo se restringen la forma, el rozamiento, el material, la velocidad, entre otras simplificaciones. Esto contribuye a construir la ecuación que relaciona la masa del cuerpo con la variación de la velocidad que experimenta en el tiempo, que queda expresada por la ecuación diferencial de primer orden Ec. (1):

$$F = m.\frac{\partial v}{\partial t} \qquad (1)$$

Del mismo modo, en un sistema eléctrico, con las simplificaciones adecuadas, el paso de una corriente variable por el circuito de una bobina, donde se han despreciando las características del material, la sección de conductor, la longitud, la forma, entre otros elementos, experimenta una reacción que se hace evidente por la generación de una fuerza electromotriz. En el sistema semiótico se expresa mediante la ecuación diferencial Ec. (2):

$$e = L.\frac{\partial i}{\partial t} \qquad (2)$$

Si las variables se vacían de significado se puede identificar la misma relación matemática entre variables, donde la solución de la ecuación diferencial tiene la misma forma para ambos casos. La *portabilidad* de la Matemática consiste en reconocer una forma que se utiliza con contenidos

que provienen de contextos diferentes. Mientras que la *analogía* asigna comportamientos similares en contextos diferentes por el hecho de compartir una forma común, como es el caso de las ecuaciones 1 y 2, una con significado mecánico, la *masa inercial*, y la otra con significado eléctrico, la *inductancia.*

En la enseñanza de la Física, cuando el objetivo es comprender la inductancia, efectuar una analogía con el comportamiento de la masa inercial parece una elección lógica. La reacción de la bobina, frente a la circulación de una corriente variable, produce una fuerza electromotriz igual y contraria a la tensión que intenta hacer circular la corriente.

De la misma manera, la masa inercial de un objeto, frente a una variación de su velocidad produce una fuerza igual y contraria a la que intenta cambiar su estado de movimiento o de reposo. Las relaciones matemáticas que describen estos comportamientos son iguales, pero hay que tener presente que inductancia de la bobina del sistema eléctrico y la masa del cuerpo del sistema mecánico pertenecen a sistemas de interpretaciones muy distintos. Otro ejemplo de analogías entre un sistema mecánico y un sistema eléctrico son las *oscilaciones forzadas* y la *resonancia* ver Fig. 1 y 2 [9]

El uso de estas analogías permite simular un sistema mediante otro más sencillo y controlable. Este tipo de representaciones llegó a extenderse mucho en la práctica de la Ingeniería. En la actualidad el uso de modelos matemáticos informatizados y las herramientas de simulación han sustituido el trabajo con las analogías, pero éstas conservan el potencial didáctico para ampliar el horizonte de conocimientos.

3 RESULTADOS

A continuación se presentan un oscilador mecánico y otro eléctrico, representados por gráficos y por fórmulas. En éstas últimas se puede apreciar la forma que generan las analogías que existen entre ambos sistemas.

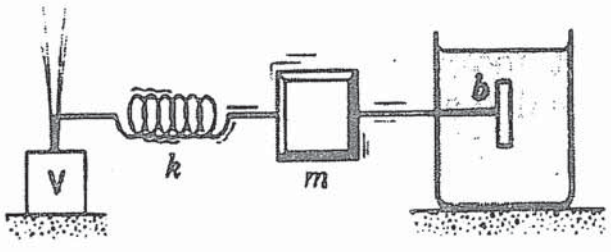


Figura 1: Sistema oscilador mecánico

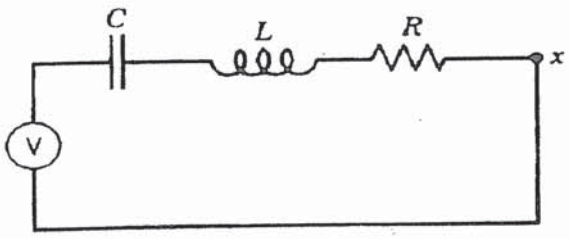


Figura 2: Sistema oscilador eléctrico.

En el sistema mecánico, un vibrador V, imprime una *fuerza externa alterna*, se corresponde en el sistema eléctrico al generador V, el cual imprime una *fuerza electromotriz externa alterna.* Las demás cantidades se corresponden: el *desplazamiento* a la *carga*, la *velocidad* a la *corriente*.

La *masa* (inercia) m, la cual se opone a los cambios de *velocidad* se corresponde con la *inductancia*, la *constante del resorte* (k) al recíproco de la *capacitancia* (c). Cada una de ellas representa la resistencia al cambio del sistema. La respuesta del *resorte* a la *fuerza* es el *desplazamiento*, en tanto que la del *capacitor* a la *fuerza electromotriz* es la *carga*.

La *fuerza alterna* aplicada al sistema mecánico tiene el forma matemática está dada por Ec. (3)

$$F = F_m . \cos w.t \qquad (3)$$

Mientras que, la expresión matemática de la fuente de *tensión alterna* es Ec. (4):

$$E = E_m . \cos w''.t \qquad (4)$$

Se ha introducido una simplificación que consiste en despreciar los efectos transitorios del sistema eléctrico y estudiarlo después que estos han desaparecido.

La solución para la corriente en el circuito RLC es de la siguiente forma Ec. (5):

$$i = i_m . sen(w'' t - \phi) \qquad (5)$$

La i_m es la *amplitud de la corriente* que corresponde a la respuesta del sistema eléctrico a la *tensión aplicada.* Cuando la *frecuencia natural del sistema* w se iguala a la *frecuencia de excitación* se presenta el estado de resonancia Ec. (6):

$$w'' = w = \frac{1}{\sqrt{L.C}} \qquad (6)$$

El registro gráfico de esta respuesta del sistema eléctrico representa la *amplitud de la corriente* i_m función de la relación entre la *frecuencias de excitación* y la *frecuencias del sistema* dada por la resistencia del circuito Ec. (7):

$$Relación\ de\ frecuencias = \frac{w''}{w} \qquad (7)$$

Ambas se pueden variar a voluntad y así obtener las distintas curvas (Fig. 3). Se pueden observar diferentes casos de resonancia del circuito que comparten la misma frecuencia.

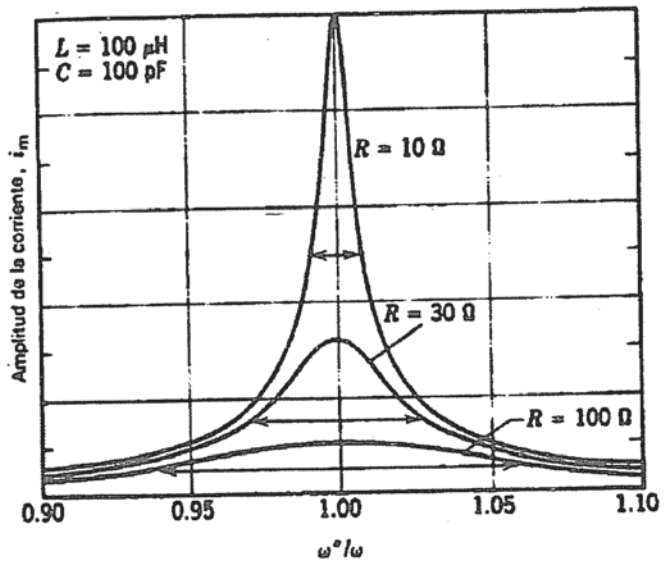


Figura 3 Amplitud de la oscilación en función de la relación de frecuencias.

Con los resultados obtenidos para este caso se pueden hacer las analogías correspondientes en la mecánica con el movimiento armónico simple [10]. Con las ecuaciones matemáticas correspondientes al ejemplo de la figura 1, donde la coordenada x del movimiento en función del tiempo t, es Ec. (8):

$$x = A.\cos(wt - \phi) \qquad (8)$$

Mientras que la frecuencia angular es Ec. (9):

$$w = \sqrt{\frac{k}{m}} \qquad (9)$$

Las analogías descritas en los ejemplos presentados permiten conocer un ámbito nuevo a partir de otro ya conocido, estableciendo un vínculo racional que asimila cosas distintas a una forma común, lo que permite intuir y predecir similitudes en el comportamiento de ambos sistemas.
La información presentada aquí indica el modo de inspeccionar posibilidades para el diseño de experiencias didácticas interdisciplinarias entre Matemática, Ciencias de la Ingeniería y Sistemas de Representación, utilizando la portabilidad y la analogía.
En las ecuaciones tabuladas de los circuitos eléctricos de la tabla 1 y magnético de la tabla 2 se pueden ver otros ejemplos de analogías que provienen de la misma forma matemática compartida.

Tabla 1 Ecuaciones de relaciones entre variables para el circuito eléctrico

Ecuaciones del circuito eléctrico	
Ley de Ohm. Tensión eléctrica	V= I.R
Intensidad de corriente	$I = \frac{V}{R}$
Resistencia eléctrica	$R = \rho.\frac{l}{S}$

Tabla 2 Ecuaciones de relaciones entre variables para el circuito magnético

Ecuaciones del circuito magnético	
Fuerza magnetomotriz	F = N.i
Flujo magnético	$\phi = \frac{F}{R}$
Reluctancia magnética	$R = \Lambda.\frac{l}{S}$

Recapitulando, el uso de analogías consiste en utilizar al menos dos modelos de teorías diferentes que comparten la forma de la ley que los regula, para describir uno en función de las propiedades del otro que es más accesible, como es el caso de un sistema constituido por magnitudes sensoriogenéticas para explicar otro formado por magnitudes no-sensoriogenéticas.

En el sistema semiótico conviene distinguir los conceptos sintácticos de los semánticos, cuyos signos nombran los referentes ausentes del sistema físico. Luego el sistema real y el semiótico se vinculan por relaciones de abstracción o de asignación de formas y por relaciones de interpretación que asignan contenidos. La portabilidad es una consecuencia de la abstracción que encuentra las formas comunes de varias cosas diversas entre sí, facilitando la economía de pensamiento. Mientras que la analogía permite predecir el comportamiento de cierto sistema a partir del conocimiento de otro muy distinto, pero que comparte con el anterior la forma de la ley que regula su comportamiento.

Este trabajo se ubica en una línea de investigación orientada a fundamentar y optimizar el uso de los sistemas semióticos de la Ciencia.

4 CONCLUSIONES

Las relaciones necesarias entre Matemática, Ciencias de la Ingeniería y Semiótica son muchas. Entre éstas es importante la *portabilidad*, que permite comprender muchas interpretaciones con pocas formas, favoreciendo la economía de pensamiento. También importa la *analogía* que permite conocer cosas desconocidas a partir de otras conocidas que comparten alguna forma común con las anteriores.

Los autores de este trabajo sostienen que la inspección y evaluación de conceptos vinculados a los sistemas semióticos de la Ciencia permiten encontrar estrategias que mejoran la transmisión de ésta. Un aporte del mismo es ubicar la *portabilidad* y la *analogía* como conceptos complementarios que facilitan el aprendizaje de la Matemática y de las Ciencias Empíricas, estableciendo relaciones profundas de significado.

Los autores también ven en el concepto de *analogía* la posibilidad de abrir importantes líneas de trabajo en el campo de la Didáctica de la Ciencia y en el desarrollo en la Historia de la Ciencia y la Tecnología, profundizando la dicotomía analógico y digital, inspeccionando los métodos simbólicos y numéricos de la Matemática, resignificando las máquinas analógicas y las digitales de la Informática y las simulaciones con modelos físicos en Ingeniería, abandonadas, por el momento, con el advenimiento de la computación digital.

Entre las aplicaciones de este trabajo se puede concluir que:

Los modelos constituyen una herramienta esencial para el estudio y comprensión de los fenómenos físicos.

El uso de analogías permite comprender mejor las magnitudes no-sensoriogenéticas a partir de las sensoriogenéticas.

En la práctica de la Ingeniería es necesario utilizar eficientemente los sistemas semióticos, interpretando las propiedades emergentes de los modelos matemáticos cuya significación se encuentra en las particularidades de los casos analizados del mundo real.

La Matemática conforma la estructura de una teoría empírica y se satisface con los modelos, entendidos como escorzos de la realidad donde se cumplen las regularidades y leyes descritas en la estructura.

Se puede observar que en el desarrollo de prácticas de laboratorio, la obtención de datos y registros gráficos sobre el comportamiento de componentes de sistemas eléctricos deben interpretarse teniendo en cuenta la estructura formal que los describe.

Otro aspecto a observar es el carácter sintáctico de la Matemática que le confiere universalidad y portabilidad necesarias para describir teorías muy disímiles usando el mismo sistema de signos y por ello facilita la formación interdisciplinaria, a la vez que contribuye a economizar el uso de la memoria y las estrategias de pensamiento.

La incorporación sistemática de los conceptos de *portabilidad* y *analogía* en todas las disciplinas del Ciclo Básico puede facilitar la comprensión de todas las disciplinas involucradas, con beneficios para la Matemática, la Física y las disciplinas Integradoras.

Es conveniente tener en cuenta la recomendación de [11] quién sostiene que la coordinación entre las representaciones de sistemas semióticos diferentes no es espontánea y por ello es necesario impulsar un aprendizaje centrado en la diversidad de los sistemas de representación, las reglas y estrategias de transformación entre ellos.

Además se puede mejorar la comprensión de ciertas teorías como la Electromagnética, con objetos que no se perciben a partir de su representación con la Mecánica Clásica, usando el concepto de *analogía*

REFERENCIAS

[1] M. Bunge. Ser, saber, hacer. Paidós, México, 2002. Pp 33 y 34.

[2] J. Monsterin. Conceptos y teorías en la ciencia. Alianza, Madrid, 1984. Pp 131 a 134.

[3] D. Runes. Diccionario de Filosofía. Grijalbo, Barcelona, 1985. Pp 394.

[4] E. Agazzi. Temas y problemas de Filosofía de la Física. Herder, Barcelona, 1978. Pp 187.

[5] E. Loedel. Enseñanza de la Física. Kapeluz, Buenos Aires, 1949. Pp 56-68.

[6] C. Moulines. Exploraciones Metacientíficas. Alianza Editorial, Madrid, 1982. Pp 191.

[7] A. De La Torre. Física quántica para filósofos. Asociación Ciencia-Hoy, Buenos Aires, 1992. Pp 15.

[8] D. Ausubel; J. Novak; H. Hanesian. Psicología educativa. Un punto de vista cognoscitivo. Trillas, México D.F., 1999. Pp 86.

[9] D. Halliday; R. Resnick. Física para estudiantes de ciencias e ingeniería. Vol. II. Compañía editorial continental, S.A., México D.F., 1558 páginas. 1967 Bäck, Evolutionary Algorithms in Theory and Practice, Oxfor University Press, 1996. Pp 1181.

[10] W. Gettys; J. Keller; J. Skove. Física clásica y moderna. Editorial Mc Graw Hill. Interamericana de España. España. 1991. Pp 347-348.

[11] R. Duval. Semiosis y pensamiento humano, registros semióticos y aprendizajes intelectuales. Artes gráficas Univalle, Colombia, 1999. Pp 17.

ABSTRACT

The intention of this investigation was to explore the links between portability and analogy, which necessary relations constitute, partly, between Mathematics, Sciences of the Engineering and Semiotic. The method used to obtain the information consisted of considering the structural approach of the Semantic Conception, to describe the process of construction of the empirical model of a theory. Also analogies used between the Mechanics and the Electromagnetism, which they allowed to show the logic that these have. One found that so much the portability and as the analogy they originate in a mathematical common form that two or more theories share. In addition it was possible to establish that the concept of analogy opens important lines of work in Didactics of the Science and in History of the Science and the Technology. Also it was possible to conclude that the concepts of portability and analogy allow to assimilate the concepts of a theory with them of other one who presents some advantage respect of the perception of his magnitudes.

Key Words: Portability – Analogy - record - semiotics - formalization

Educación a Distancia virtualizada: caracterización y especificidades de su uso en la enseñaza de las matemáticas

J. L. Córica & M. P. Garrido
jlcorica@hotmail.com & patrigarrido@yahoo.com.ar
Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Naciona

RESUMEN: La enseñanza de la matemática, a través de tecnologías, presenta un conjunto de dificultades que se manifiestan en la educación a distancia virtualizada. Esta modalidad impone la realización de un recorrido por instancias virtuales de aprendizaje que debe planificarse minuciosamente a través de la realización de un cuidadoso diseño instruccional. Se analiza aquí, la aplicación de un modelo de diseño instruccional, para la enseñanza de la matemática en educación a distancia, cuyas claves fueron identificadas a través de las experiencias acumuladas en el programa de educación a distancia de la Facultad Regional Mendoza de la Universidad Tecnológica Nacional. El modelo utilizado muestra entre sus ventajas el facilitar el seguimiento académico, disminuir la tasa de abandono y promover situaciones de comunicación permanente; aminorando la sensación de soledad. El éxito en la implementación del diseño, radicó en utilizar paralelamente tablas de simultaneidad y de carga, para controlar la correcta distribución de las tareas y del tiempo; optimizando el desempeño de los estudiantes. La adecuada planificación junto, con el buen desenvolvimiento de los distintos actores del sistema, han revelado a la modalidad a distancia virtualizada como una modalidad factible y de gran potencial para la enseñanza de la matemática en el nivel universitario.

Palabras clave: diseño instruccional. – tecnologías – matemáticas – EaD (Educación a distancia) virtualizada

1 DISEÑO INSTRUCCIONAL PARA LA ENSEÑANZA DE LA MATEMÁTICA EN EDUCACIÓN A DISTANCIA

Los docentes alguna vez se han sentido frustrado al contar sólo con la tiza, el marcador, el borrador y la pizarra; como principales herramientas para impartir un conocimiento.¿Cómo hacer para revertir esta situación? Muchos de los problemas de las deficiencias en el aprendizaje se relacionan con el cómo se presentan los conocimientos. Por eso, es necesario que se genere un ambiente de aprendizaje, donde predomine la curiosidad, la creatividad y la investigación. El usar tecnologías en la enseñanza de las matemáticas presenta dificultades, especialmente en la educación a distancia virtualizada. Esta modalidad muestra un recorrido por instancias virtuales de aprendizaje planificadas minuciosamente a través de la realización de un cuidadoso diseño instruccional. Este modelo facilita el seguimiento académico, reduce la tasa de abandono, promueve situaciones de comunicación permanente y disminuye la sensación de soledad. La modalidad a distancia no supera el contacto directo con el profesor, el famoso "cara a cara", de la modalidad presencial; pero ofrece una solución cuando el estudiante no puede asistir a un centro educativo. Uno de los principales problemas que

enfrenta la implementación de la EaD es la desconfianza que las instituciones universitarias y la sociedad misma tiene sobre la calidad alcanzable en las propuestas formativas. La forma de vencer esta idea negativa es conocer sus características. Entre ellas encontramos: la separación entre el profesor y el estudiante, es decir, ellos no coinciden sistemáticamente en el tiempo y/o espacio durante la mayoría de las actividades del proceso formativo. Otra es el uso de medios técnicos de apoyo, como los materiales impresos de diseño específico para la Ead, el video, la utilización de radio, la televisión, y últimamente la Internet. El aprendizaje independiente y flexible también se suma a este listado, el estudiante puede avanzar a su propio ritmo, estilo, tiempo a través del material de estudio diseñado por la institución. La comunicación en esta modalidad es bidireccional, ya que procura que en la comunicación se dé un "feed back" (retroalimentación) entre docente y estudiante. El enfoque tecnológico en EaD, tiene que ver con el saber hacer (el qué, por qué y para qué se hace) mediante el uso racional, planificado, de los recursos disponibles para optimizar la educación. Sin embargo, la EaD posee algunas desventajas. Entre las cuales se encuentran la falta de contacto personal, es decir, el "cara a cara" entre docente y estudiante. Pero, una de las formas de apalear esta situación es tener en cuenta en nuestros alumnos tres aspectos: tiempo con el que dispone para estudiar, edad y los recursos intelectuales. Es importante el dominio y las capacidades de acceso a herramientas tecnológicas de los estudiantes del curso, de manera tal de no incorporar actividades que requieran de un equipamiento específico del que los estudiantes no dispongan. Por lo dicho anteriormente, el carecer del contacto presencial nos incita a planificar las actividades a través del llamado diseño instruccional, Ref. [1].

1.1 *Componentes del sistema de la EaD*

El espacio o estructura de la EaD, está conformado por elementos básicos que se integran, y cuyas características y/o funciones se diferencias sustancialmente, de las análogas, de los sistemas tradicionales. En primer lugar, el alumno. Él es el elemento básico en todo el hacer educativo. Si bien, la población adulta es la principal destinataria de las acciones formativas a distancia, no es la única ya que se está impartiendo enseñanza a distancia a estudiantes en el grupo de edad preuniversitario que optan por esta modalidad por problemas de residencia, económicos o laborales. Se suman, además, los estudiantes que sufren algún tipo de discapacidad o minusvalía física y las personas de considerable edad que no pueden moverse con facilidad. En segundo lugar el docente con sus distintas formaciones, capacidades y actitudes. Los Especialistas en contenido, son docentes que dominan la disciplina y tiene a su cargo la calidad del material didáctico. También están los Profesores, asesores, mediadores o guías del aprendizaje que son los que coordinan aspectos pedagógicos como el estudio independiente, la construcción y socialización del conocimiento, y la selección de medios tecnológicos. Otro de los papeles, es el de ser Tutores. Estos motivan, canalizan dudas y orientan. Además, están los docentes Expertos en producción de materiales didácticos, que son grupos de especialistas en tecnología educativa, diseño gráfico, programación, comunicación y medios técnicos. Y por último, los Especialistas en telecomunicaciones y soporte técnico que tienen a cargo la administración de la plataforma tecnológica y apoyo técnico usuarios. Es importante en la EaD la Comunicación y para ello, se utilizan los canales, medios o vehículos. La intencionalidad educativa del docente o de la institución que educa debe marcar la dirección del proceso interactivo, es decir, cuando los educandos son más de uno, la interactividad además de producirse en sentido vertical se desarrolla en sentido horizontal y en múltiples direcciones enriqueciendo al grupo. Así, el estudiante interacciona real o virtualmente primero, con los docentes (profesores principales, tutores, consejeros, animadores, que apoyan, motivan y orientan el aprendizaje) después, con los propios compañeros entre sí (alumno-alumno, alumno-grupo, con o sin el docente). Luego, con los materiales de aprendizaje (leyendo, viendo, escuchando, manipulando, seleccionando, interpretando, asimilando, sintetizando.). Incluso interactúa con la institución (sede central o centros de apoyo) con el fin de recabar servicios administrativos y resolver problemas de tipo general. Todas estas posibilidades interactivas, adoptan diversas modalidades, en función de la intermediación (presencial o no presencial), del tiempo (síncrona o asíncrona) y del canal (real o virtual). Finalmente habrá que atender a la estructura organizacional de la institución que dependerá de la modalidad que se ofrezca: presencial, bimodal, o sólo de EaD.

1.2 *Diseño Instruccional*

En las instituciones convencionales quien enseña básicamente es el docente, en la enseñanza a distancia es precisamente la institución la que ostenta la responsabilidad de las acreditaciones, los títulos tienen el aval determinado por el establecimiento educativo. Pero el resultado del proceso depende de la excelencia del trabajo de los actores del sistema. Estos actores se mueven según un libreto, en nuestro caso es el diseño instruccional (DI). Este es un proceso de decisión y planificación donde la contextualización juega un rol importante por lo que hay que identificarla desde el principio para que el proceso formativo sea exitoso. Debe acompañar al equipo docente de principio a fin; desde que se plantea el diseño de un curso hasta su completa elaboración incluyendo la evaluación como parte integrada del curso, y no como un planteamiento a posterior. También debe anticipar dudas de modo que los estudiantes conozcan los requisitos previos para abordar la actividad. Es aquí donde la EaD se vale de diversos vehículos instruccionales, entre ellos el texto escrito, con el adecuado balance entre las actividades planificadas en línea y fuera de línea. También la guía de estudio en el sistema de EaD llega a ser fuente principal de interpretación y orientación para los participantes. Además pueden emplearse CDs o DVDs. Al texto, le se debe incorporar los recursos. Estos son simples hiperenlaces a los elementos que pueden ser vistos, leídos, desplegados, ejecutados, bajados de la red y que permiten obtener información, por ejemplo: textos, páginas web, documentos en pdf, archivos de imagen, archivos ejecutables. Otro canal del que se vale al Ead es el chat, que puede ser uno a uno o uno a muchos, permite una interacción fluida mediante texto síncrono; es decir admite mantener conversaciones en tiempo real con otros usuarios sean profesores a alumnos. También se encuentra la mensajería privada que permite a cada usuario enviar y recibir comunicaciones dirigidas a un destinatario en particular. Otro vehículo importante es la cafetería del estudiante que es un sitio para comentar algo, presentarse, contar algún chiste, anécdota o algo personal. Y el foro de debate es una herramienta comunicacional asincrónica que permite el establecimiento y seguimiento de líneas de diálogo e intercambio de reflexiones entre los participantes del Aula Virtual. Es, entre otras cosas, un espacio abierto de debate, comentarios, consultas, preguntas. Si el alumno vacila en sus saberes puede asistir "virtualmente" al foro de dudas. Este es una herramienta comunicacional asincrónica que permite canalizar dudas e inconvenientes oportunamente. Al hablar de un proceso de enseñanza aprendizaje virtualizado, el módulo tareas es imprescindible. Allí, se colocan los trabajos o actividades evaluables por el profesor. El docente puede especificar la fecha final de entrega, hacer comentarios y calificar la tarea. Y si el alumno desea conocer su avance de manera privada, también la EaD facilita su individualidad. Ya que el módulo diario, crea información privada entre el estudiante y el profesor. El diario básicamente es un cuaderno de notas, tiene un espacio donde puede ir escribiendo notas según desee. Para ser utilizado por ejemplo: como seguimiento de un proyecto, como actividad autorreflexiva (Aciertos y Desaciertos que se observan en el desarrollo del curso). Además, otro módulo de actividades es el de Encuesta, que permite responder a múltiples preguntas con el fin de recabar información de los estudiantes sobre diversas cuestiones. Y por último, tenemos el cuestionario, que son colecciones de preguntas como un examen, Ref. [2].

1.2.1 Tabla de diseño instruccional

Con estas herramientas dadas por los vehículos instruccionales y el conocimiento disciplinar el DI crea el recorrido por instancias de aprendizaje que se plasman en tablas. Se trabajar en primer lugar con la denominada tabla de diseño instruccional. En esta tabla se establece semana por semana, la unidad a la que pertenece el tema que se trata, el objetivo del tema, los materiales que se utilizarán, las actividades a realizar y finalmente las fechas de inicio y finalización de cada una de esas actividades. Se verá en la Tabla 1, un ejemplo de la tabla de diseño instruccional correspondiente al Seminario Universitario de Matemáticas 2006, en su modalidad a distancia, que se dicta en la Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional. Es probable que en la primera tabla de diseño instruccional se tenga la tendencia a sobrecargar de actividades el curso, diseñando una cantidad superior a la aceptable de situaciones de aprendizaje. Para evitar esta situación, se lleva un control de actividades con dos planillas adicionales, que son la tabla de simultaneidad de tareas y la tabla de carga.

Tabla 1. Diseño Instruccional

Semana	Unidad	Tema	Objetivos	Material	Actividades	Comienzo	Fin
0	0	Introducción a los entornos virtuales	Instruir sobre herramientas del aula virtual	Material Impreso	Lectura de Material impreso	24 de julio	30 de julio
		Acuerdo pedagógico	Instruir sobre requisitos para ser un alumno en la modalidad a distancia	Material Impreso	Lectura de acuerdo pedagógico	24 de julio	30 de julio
		Programa Seminario Universitario de Matemáticas	Instruir acerca de los contenidos a desarrollar	Material Impreso	Lectura del Programa	24 de julio	30 de julio
		Presentación de los estudiantes	Sociabilizar al grupo	Material Impreso	Presentación en Cafetería	24 de julio	30 de julio
		Resolución de ejercitación	Instruir cómo elevar resoluciones de ejercicios a la plataforma	Material Impreso	Lectura Práctica en clase presencial-	24 de julio	30 de julio
		Cada Cosa en su Lugar	Recordar a los estudiantes el uso de herramientas fundamentales del Aula Virtual	Material Impreso en forma de recurso	Lectura del material	24 de julio	30 de julio
			Afianzar el sentido de pertenencia del grupo		Chat (sincrónico)	29 de julio	29 de julio
					Participación en el Foro de Consulta		
1	1	Teoría de Conjuntos	Instruir en la comprensión, aplicación y análisis de los temas propuestos en la unidad.	Material impreso	Lectura del material. Resolución de actividades.	31 de julio	6 de agosto
					Trabajo en Website interactivos		
2	2	Conjuntos	Instruir en la comprensión, aplicación y análisis de los temas propuestos en la unidad.	Material impreso	Lectura del material. Resolución de actividades.	7 de agosto	13 de agosto
		Numéricos			Trabajo en Website interactivos		
			Identificar inconvenientes en el desarrollo del curso		Diario	7 de agosto	27 de agosto
			Hacer un juicio de valor de los conocimientos alcanzados por los estudiantes		Entrega de Tareas Adicional. Participación en Foro de Consultas	7 de agosto	20 de agosto

1.2.2 Tabla de simultaneidad

Una tabla de simultaneidad es una simple planilla que contiene una columna de tareas y luego una columna por cada semana de duración del curso o asignatura.
En el interior de la tabla se vuelca la duración de cada una de las tareas, según las fechas de comienzo y fin que fueron registradas en la tabla de diseño instruccional. De esta manera se puede controlar la cantidad de tareas que el diseño instruccional contempla como simultáneas en cada semana. A continuación se muestra la Tabla 2 a modo de ejemplo, una tabla de simultaneidad, en correspondencia con la tabla de diseño instruccional presentada anteriormente.

Tabla 2. Simultaneidad

Actividades	Semana 0	Semana 1	Semana 2
Lectura Material Introducción a Entornos Virtuales			
Lectura Acuerdo Pedagógico			
Lectura Programa			
Presentación			
Lectura Material Resolución ejercitación			
Lectura Material Refuerzo: Cada Cosa en su Lugar			
Chat (sincrónico)			
Lectura Material UD1 Teoria de Conjuntos y resolución de ejercitación propuesta			
Crucigrama			
Entrega Tareas Adicional			
Lectura Material UD 2 Conjuntos numéricos y resolución de ejercitación propuesta			
Comentarios en Diario			
Entrega de Tareas Adicional			

1.2.3 Tabla de carga

La tabla de carga es una planilla que consigna los tiempos que se estiman insumirá a los estudiantes el llevar adelante las tareas dispuestas en el diseño instruccional.
Así se consigna semana a semana los tiempos, dividiendo las actividades a nivel conceptual. El total de horas del curso debe coincidir con el total de horas programadas.
Para la confección de la siguiente tabla se tuvo en cuenta la dificultad presentada en un texto para su comprensión, un lector cubre en promedio, aproximadamente 80 palabras por minuto. Se agrega a continuación un ejemplo, ver Tabla 3, también en correspondencia con los propuestos anteriormente.

Por lo tanto la elaboración de un diseño instruccional, requerirá de la implementación de un entorno educativo como lo es el Aula Virtual (Plataforma tecnológica); en la que puedan sostenerse todas las herramientas antes mencionadas que acompañan el proceso de enseñanza – aprendizaje. La plataforma virtual es un conjunto de recursos informáticos (tecnologías, información, personal técnico, etc.) asociados a un modelo educativo (planes y programas, recursos pedagógicos, filosofía educativa, etc) para crear un ambiente facilitador del proceso de enseñanza aprendizaje. Es un elemento indispensable, ya que constituye el espacio en el que se centra el proceso educativo. En nuestros cursos, se ha utilizado la plataforma Moodle. Moodle es un paquete de software para la creación de cursos y sitios Web basados en Internet; es básicamente una aplicación

diseñada para ayudar a los educadores a crear cursos de calidad en línea. Moodle significa Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment Entorno de Aprendizaje Dinámico Orientado a Objetos y Modular. Este término verbo moodle describe el proceso de deambular perezosamente a través de algo, es un divagar placentero. Con el auxilio de esta plataforma se implementó el Seminario Universitario de Matemáticas Virtualizado 2005-2006.

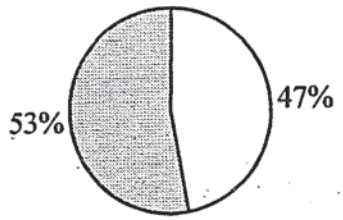
Tabla 3. Carga

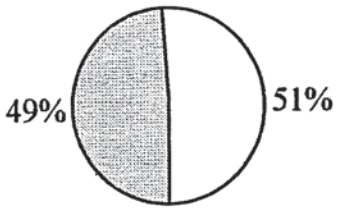
Actividades	Semana 0			Semana 1			Semana 2		
	Tiempo Lectura	Tiempo Estudio	Tiempo Prod.	Tiempo Lectura	Tiempo Estudio	Tiempo Prod.	Tiempo Lectura	Tiempo Estudio	Tiempo Prod.
Lectura Material Introducción a Entornos Virtuales (20 hojas)	2.5 horas	------	-------						
Lectura Acuerdo Pedagógico(2 hojas)	10 minutos	------	--------						
Lectura Programa (3,5 hojas)	15 minutos	-------	--------						
Lectura Material Refuerzo: Cada Cosa en su Lugar (0.75 de hoja)	4 minutos	-------	-------						
Chat (sincrónico)	1 hora	------	-------						
Lectura Material UD1 Teoría de Conjuntos y resolución de ejercitación propuesta(42 hojas)				3.5 horas	8 horas	7 horas			
Crucigrama				---------	---------	15 min			
Entrega Tarea Adicional				---------	---------	2 horas			
Lectura Material UD 2 Conjuntos Numéricos y resolución de ejercitación propuesta(98 hojas)							8 horas	16 horas	11 horas
Comentarios en Diario							-------	-------	5 minutos
Entrega Tareas Adicional							--------	--------	1 hora

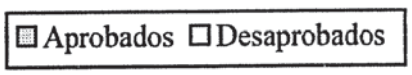
2 RESULTADOS

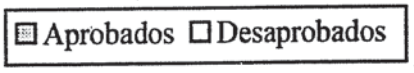
En la Fig. 1 se presentan los gráficos y cuadros de datos estadísticos con los resultados obtenidos en el Seminario Universitario de Matemáticas, en las dos modalidades (presencial y distancia), para la cohorte 2006 y para la cohorte 2007. En la determinación de los porcentajes de aprobación de la cohorte 2007, se toma como universo el conjunto de estudiantes que, inscriptos en el seminario de matemáticas, en cualquiera de las dos modalidades (presencial o distancia) cumplieron con las actividades formativas (rindieron las cuatro instancias necesarias para obtener la promoción directa y obtuvieron un puntaje de 7 o más puntos). Para la determinación de los porcentajes de aprobación de la cohorte 2006 se consideró el conjunto de estudiantes que lograron la promoción directa, es decir, que completaron el proceso formativo y el conjunto de estudiantes que aprobaron el seminario en la instancia de diciembre del 2005 o febrero del 2006.

Preuniversitario en forma Presencial			
Resultado Seminario Ingreso 2006		Resultado Seminario Ingreso 2007	
Aprobados	332	Aprobados	286
Desaprobados	294	Desaprobados	300
Total	626	Total	586

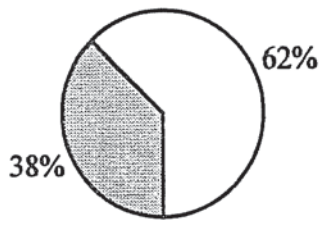


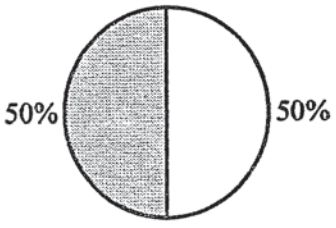


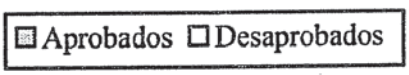




Preuniversitario en forma Virtual (a distancia)			
Resultado Seminario Ingreso 2006		Resultado Seminario Ingreso 2007	
Aprobados	6	Aprobados	17
Desaprobados	10	Desaprobados	17
Total	16	Total	34







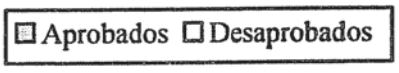


Figura 1. Resultados obtenidos en el Seminario de Ingreso Universitario de Matemáticas en los años 2006 y 2007, para la Modalidad Presencial y a Distancia.

3 CONCLUSIÓN

Cada uno de los componentes de la Educación a Distancia Virtualizada poseen una especificidad propia que le imprime cierta dinámica al proceso de enseñanza aprendizaje de las matemáticas. La optimización de los resultados de la implementación de la modalidad a distancia está íntimamente asociada al carácter asincrónico que identifica muchas de las formas de organización del trabajo en red -el foro debate, el módulo tareas, foro de dudas, encuestas- los cuales inauguran otros tiempos para la reflexión y el aprendizaje, siendo aptos para producciones elaboradas, de mayor nivel de profundidad analítica y que requiera, por ende, mayor inversión de tiempo. Aquellas herramientas, en cambio, que permiten la coincidencia en tiempo real, de las que también se dispone, como por ejemplo el chat, habilitan procesos de comunicación espontáneos y veloces, facilitando un acceso inmediato a resoluciones de situaciones concretas. De modo que, el abanico de opciones creativas que permite desplegar la EaD virtualizada es muy extenso; sin embargo en este trabajo se muestra un análisis crítico de las posibilidades que nos brinda el entorno educativo soportado en la red. El primer desafío a afrontar en una enseñanza o un aprendizaje con tecnología informática radica en la capacitación y adaptación a sus pautas de uso, sus posibilidades aplicativas y su especificidad instrumental.

La incorporación de tecnologías a la educación, en especial en la enseñanza de la matemática, en forma virtualizada, no puede ni debe masificar y despersonalizar el proceso mediante el cual los seres humanos se educan los unos a los otros. Por el contrario, debe brindar un servicio personal y personalizado que permita respetar la diversidad y las condiciones individuales de aprendizaje de los estudiantes; dándoles la posibilidad de aprender de una forma interactiva que desarrolle, aún más, sus habilidades de pensamiento. La experiencia del Seminario Universitario de Matemáticas, en las dos modalidades (presencial y distancia), para la cohorte 2006 y para la cohorte 2007 demostró que la tecnología educativa afronta el mismo desafío que la educación tradicional, ampliar las posibilidades educativas en términos de calidad y accesibilidad; lograr que las nuevas tecnologías, aproximen cada vez más a esa meta, es decir, que los estudiantes entiendan y aprendan.

REFERENCIAS

[1] L. García Aretio, Fundamentos de la Educación a Distancia, Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), España. 2001.

[2] J.L. Córica, Fundamentos del diseño de materiales para Educación a Distancia, Editorial Virtual Argentina. 2007.

ABSTRACT

The teaching of Mathematics by means of technologies poses a number of difficulties which become evident in virtual distance learning. This method imposes the execution of a series of steps which must be thoroughly planned by means of an instructional design. The keys to the implementation of this design in Mathematics teaching in distance learning are put forward in this paper. These are the keys that were identified through the experience gained during the execution of the Program of Distance Learning carried out by Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional. The model used has proved to have a number of advantages, such as the facilitation of academic monitoring, the decrease in non-completion rate, the promotion of permanent communication instances and a decrease in the feeling of isolation experienced by students. The success of the implementation of this design stemmed from the parallel use of simultaneity and time tables in order to control the simultaneity of tasks and the time required by students to carry them out. The adequate planning together with the good performance of the different participants involved in the program have proved that virtual distance learning is a feasible, likely to succeed method for Mathematics teaching at university.

Key Words: Instructional Design - Technologies - Mathematics - Virtual EaD (Education at distance).

Modelación desde el análisis del comportamiento del tráfico en LANs (cableadas y wireless) por protocolos de red

S. C. Perez & H. A. Facchini & A. Dantiacq

santiagocp@frm.utn.edu.ar & higiniofac@frm.utn.edu.ar & alejandrod@frm.utn.edu.ar
Laboratorio LIREDAT (Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Nuevas Tecnologías de Redes de Datos y Telecomunicaciones)
Departamento de Electrónica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza

RESUMEN: La comunidad dedicada al estudio y análisis de redes LAN (cableadas y wireless) ha destinado un gran esfuerzo para entender el comportamiento de los nodos de la red, para proceder a su posterior modelación. Se investiga y desarrolla un modelo de red lan a partir de la determinación de patrones característicos de tráfico de protocolos de red, según las conductas de asociación de los nodos de red. Dicho modelo podrá ser usado en diversas aplicaciones y estudios, aunque el objetivo inmediato es evaluar el comportamiento del modelo con su simulación para distintos estados operativos. Se plantean los siguientes objetivos: 1) Analizar el comportamiento de los nodos de red en LAN, 2) Desarrollar una metodología para establecerr patrones característicos de tráfico de red LAN, según la conducta de asociación de los nodos de red, 3) Desarrollar un modelo de redes LAN, 4) Introducir métodos de innovación tecnológica en el área de redes LAN y WAN.

Palabras clave: tráfico – trazas - redes – comportamiento - protocolos

1 INTRODUCCIÓN

Hay un interés creciente en entender la conducta de los nodos de red (usuarios y dispositivos activos), y extender tal entendimiento a estudiar y mejorar la performance y productividad de las redes.
En diversos trabajos se ha planteado parcialmente el problema, con la recolección y estudio de trazas, para encontrar tendencias comunes de grupos de nodos de red, caracterizando cada nodo de red por la conducta común mostrada en sus patrones de asociación a través de los días.
Estos trabajos se han abocado a proponer y medir índices o parámetros para caracterizar su comportamiento.
Sin embargo, dichos estudios no están dirigidos a un planteo integral, excluyendo las similitudes de comportamiento a nivel de los protocolos de red.
El entendimiento que se desarrolle sobre la conducta de los nodos de red, a partir del estudio profundo de la trazas (incluyendo los protocolos involucrados) en LANs, puede ser aplicado para generar un modelo de patrones de tráfico característicos LAN realista, basado en la similitud de los comportamientos de subgrupos de nodos de red.
Dicha modelación podrá ser usado en diversas aplicaciones y líneas de estudio, y profundizarse en diversos temas de investigación

2 COMPORTAMIENTO DE LOS NODOS DE RED DESDE LA COLECCIÓN DE TRAZAS

Se están introduciendo aceleradamente tecnologías y métodos avanzados para la optimización en los procesos de redes LAN y WAN, que llevan al replanteo metodológico de la orientación actual de la Ingenieria de Redes de Datos. Los problemas relacionados a las redes LAN de envergadura, y sus accesos WAN son de una complejidad creciente en la medida que crece proporcionalmente el número de nodos de red, y la variedad y los requerimientos de los servicios demandados por los mismos [1][2][3]. Por ello, es un objetivo constante de investigación la búsqueda de nuevas metodologías, para una efectiva aproximación para la puesta en marcha de redes de una manera estable, con la mayor calidad de servicios posible y una reducción de sus costos asociados [4][5][6][7].

Las grandes redes LAN (cableadas y/o wireless) están ampliamente instaladas, y la combinación de ambas propuestas ha ganado rápidamente popularidad. Además, una parte de lo nodos de red han conmutado a nodos wireless, y en conjunto, crecen proporcionalmente con el número de nodos de red, y la variedad y los requerimientos de los servicios demandados.

En este escenario, la importancia de entender la conducta de los nodos de red en tales ambientes es importante. La colección de trazas de redes LAN, en la comunidad de investigación, ha sido la técnica habitual para obtener conocimiento fundamental acerca de los nodos de red. En el vasto espacio para investigación potencial, a partir de la colección de las trazas, se plantea como hacer un modelo de conducta y de uso de un nodo dentro la red, que también tenga en cuenta los patrones de comportamientos similares entre subgrupos de la red, y como los nodos de red en diferentes ambientes difieren en estos aspectos.

La colección de trazas, y la posterior modelación de la red, son importantes porque: 1) El análisis de la conducta del usuario y los patrones de uso de la red habilitan el examen exacto de la utilización de la red, y ayuda en el desarrollo de mejores técnicas de entendimiento y mejor capacidad de decisiones planeadas, 2) El análisis de trazas es también un primer paso necesario para hacer modelos realistas que son cruciales para el diseño, simulación y evaluación de protocolos de redes, 3) Cada nueva tecnología evoluciona, entendiendo fundamentalmente la conducta de los nodos de red, y se vuelve esencial para el desarrollo exitoso de tales tecnologías emergentes.

Nuestra propuesta del estudio de las trazas, puntualmente las tramas de red, considera el análisis del tráfico general de la red y el tráfico particular por protocolo, de manera de encontrar patrones de comportamiento similares de los nodos de red (patrones característicos de tráfico), tal que se puedan definir el menor número posible de subgrupos de nodos de red (perfiles de nodos de red). Estos subgrupos o perfiles de nodos de red, se usarán para proponer un modelo de patrones de tráficos carácterísticos de redes LAN.

3 TRABAJOS RELACIONADOS

Hay bastantes trabajos de investigación dirigidos al objetivo general de entender la conducta de los nodos de red, con focos diferentes y aplicaciones potenciales en mente. En estos estudios, por ejemplo, el objetivo ha sido la estadística total (agregada) de eventos de movilidad, cantidad total de handoff, o eventos de re-asociación, longitud de sesión promedio, tipos de protocolos y ancho de bandas demandados, etc., o identificando las propiedades de usuarios individuales separadamente, por ejemplo, las locaciones home de los usuarios (es decir, el access point con que el usuario está asociado la mayoría de su tiempo online), o estudio de los protocolos más demandados [8][9]. U otros dirigidos a evaluar los retardos de end-to-end en las redes wireless para ciertos servicios como telnet (sobre tcp) y nfs (sobre udp), planteando comparaciones con las redes cableadas, y proponiendo optimizaciones [10].

Por contraste, en otros trabajos, el objetivo puede verse más general, como un problema multivariable, identificando los patrones en asociación de usuarios y grupos similares de usuarios. Unos pocos estudios tocan el tema de la predicción de las tendencias comunes en patrones de asociación de usuarios individuales [11].

Sin embargo, no son muchos los trabajos que focalizan los estudios de la conducta sobre la estructura de los patrones de asociación de los nodos de red basada sobre colección de tramas extensivas de redes reales, y que involucren aspectos sobre los protocolos de red.

4 ANALISIS DE CONDUCTAS INDIVIDUALES Y DE CONJUNTO DE LOS NODOS DE RED

Se han propuesto diferentes métricas para describir y comparar las conductas de los nodos de red (usuarios) individuales en los ambientes de redes

LAN (cableadas y wireless), a partir de la colección de trazas de nodos de red. Estas métricas corresponden a diferentes aspectos de las conductas de asociaciones de nodos de red en una LAN, siendo algunas más apropiadas para las redes cableadas y otras para las redes wireless.

Por ejemplo, pueden observarse las siguientes propuestas de métricas y definiciones para entender la conducta individual del nodo:

a) Actividad online de los usuarios: Esta categoría captura la frecuencia de participación online de un usuario en la red.

b) Movilidad de largo plazo de los usuarios: Esta categoría captura como se mueve un nodo en la red a largo plazo (para la duración total de las trazas), y como el tiempo online del nodo de red está distribuido entre los access points.

c) Movilidad de corto plazo de los usuarios: Esta categoría captura como los nodos de red se mueven en la red mientras permanecen asociados con algún access point. La intención aquí es capturar la movilidad de un nodo de red mientras usa la red.

d) Patrones de asociación repetitivos de los usuarios: Esta categoría captura la conducta on-off del usuario con respecto a la hora del día y la locación. Esperamos que los usuarios tiendan a mostrar estructura repetitiva en sus patrones de asociación.

e) Tráfico de los usuarios: Esta categoría captura la tendencia de un usuario para utilizar ciertos protocolos con sus anchos de banda asociados.

f) Prevalencia de access points: Es la medida de la fracción de tiempo que un nodo gasta con un access point dado.

g) Persistencia de access points: Es la medida de cantidad de tiempo que un usuario permanece asociado con un access point antes de moverse a otro access point, o dejar la red.

Otras métricas, se proponen caracterizar las conductas de los nodos de red de comportamientos similares, generando subgrupos de nodos asociados. Es decir, están dirigidas al problema de encontrar tendencias comunes en patrones de asociación compartidas de grupos de usuarios. Los interrogantes que se buscan responder son: 1) ¿Todos los usuarios en la red comparten tendencias comunes mayores en sus patrones de asociación? 2) ¿Un usuario muestra tendencias mayores en su conducta de asociación en el tiempo? Tipos de usuarios diferentes muestran tendencias mayores diferentes en su conducta de asociación? 3) ¿Cómo se relacionan los patrones de conducta de asociación de un simple usuario a patrones comunes en un grupo de usuarios?

En este caso, pueden observarse las siguientes propuestas de métricas y definiciones para entender la conducta de asociación de los nodos de red:

h) Patrón de asociación de grupo: Esta categoría considera los patrones de asociación de grupos de usuarios, buscando una tendencia consistente y común en el tiempo que los agrupe,

i) Patrón de asociación individual: Esta definición estudia la conducta de asociación individual de un simple usuario en la red.

En estos casos, puede aplicarse pca (análisis de componente principal) ó técnica similar para analizar tanto los patrones de asociación de grupos de nodos de red, y la conducta de asociación individual del simple nodo de red. El pca es una herramienta genérica para investigar si existen patrones comunes entre vectores multidimensionales, y representar las tendencias mayores de tales patrones comunes usando pocas componentes de la dimensionalidad de datos original

5 MÉTODOS DE COLECCIÓN DE TRAZAS

Los métodos de colección de trazas de red, que son el punto de partida para el entendimiento del comportamiento de los nodos de red, pueden ser clasificadas en tres categorías: 1) métodos basados en polling el cual registra las asociaciones de nodos de red en intervalos de tiempo periódicos, usando snmp, o algún software de tracking de asociación sobre los nodos, 2) métodos basados en programas que registran eventos online/offline de usuarios de red usando un servidor de logeo (syslog) como archivos de sesión, de dhcp, de traps, etc. y 3) métodos basados en programas sniffers que colectan el tráfico de la red en la medida que se produce.

A los fines de nuestro trabajo, en el que se pretende buscar patrones característicos de tráfico de red, para estudiar el comportamiento de los nodos de red, y las tendencias comunes de asociación de grupo (como descrito en el tema anterior) se vuelve importante incluir en la colección de trazas, las tramas de tráfico con la mayor cantidad de información posible, incluyendo los protocolos de red.

5.1 *Sniffer y programas de monitoreo para redes cableadas*

Existe una extensa variedad de programas para analizar tramas y trafico de red. Se describen

algunos de licencia libre, que utilizamos como herramientas:

TCPdump_[12]: Se define como un sniffer, y se presenta como un comando bajo consola que permite capturar y mostrar en tiempo real las tramas que circulan por la red- Funciona en la mayoría de los sistemas operativos: Unix: Linux, Solaris, BSD, Mac OS X, HP-UX y AIX entre otros, y existe una adaptación para los sistemas Windows llamado WinDump. Es sencillo pero eficaz, consume pocos recursos, posibilita opciones de filtrado y el almacenamiento de las tramas en distintos formatos de archivo.

IPtraf [13]: Es un programa que proporciona estadísticas de red en tiempo real, que se ejecuta en consola. Recolecta información de las conexiones tcp, las estadísticas y actividad de las interfaces tcp y udp. Funciona en sistemas operativos gnu/Linux. Posee opciones de filtrado por protocolos o puertos, no permite el almacenamiento de datos.

Wireshark [14] (ex Ethereal): Es el sniffer más usado con el que se pueden analizar mas de 480 protocolos. Tiene una interfaz flexible con opciones muy ricas de filtrado (Figura 1). Puede capturar datos de la red, o leerlos de un archivo de captura de más de 20 productos, entre ellos tcpdump. Se usa para detectar problemas en el desarrollo de protocolos y como una herramienta didáctica de educación. Esta disponible para mas de 20 plataformas (Linux, Solaris, FreeBSD, NetBSD, OpenBSD, y Mac OS X, así como en Microsoft Windows, etc).

NTOP (Network TOP) [15] Permite monitorear y medir en tiempo real el trafico por usuario y aplicaciones que están consumiendo recursos de red, detecta malas configuraciones, analizar datos de flujos de la industria (Netstream, Netflow, sFlow) enviados por los routers. Posee un microservidor web que permite ver la salida NTOP, volcando en html el estado de la red. Muestra estadísticas de tráfico ordenadas en función de diversos criterios, y se pueden ver de forma remota. Tiene mínimo consumo de memoria y procesador para la generación de informes de múltiples fuentes de interfaz en la red. El uso de cpu medido es inferior al 10% para la generación de informes de flujos en 16 interfaces de red. Almacena los datos en una base tipo rrd (Round Robin DataBus), El software esta desarrollado para plataformas Unix y Windows (Figura 2).

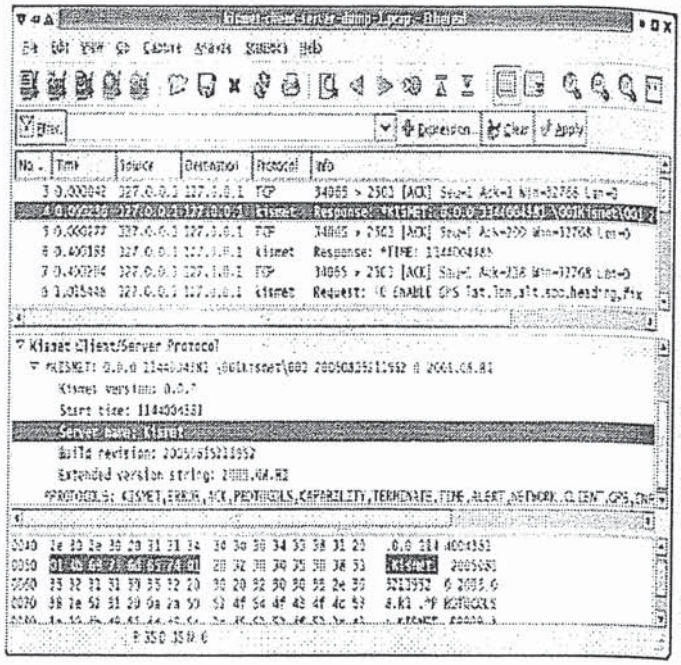


Figura 1. Ejemplo de pantalla de trabajo Wireshark

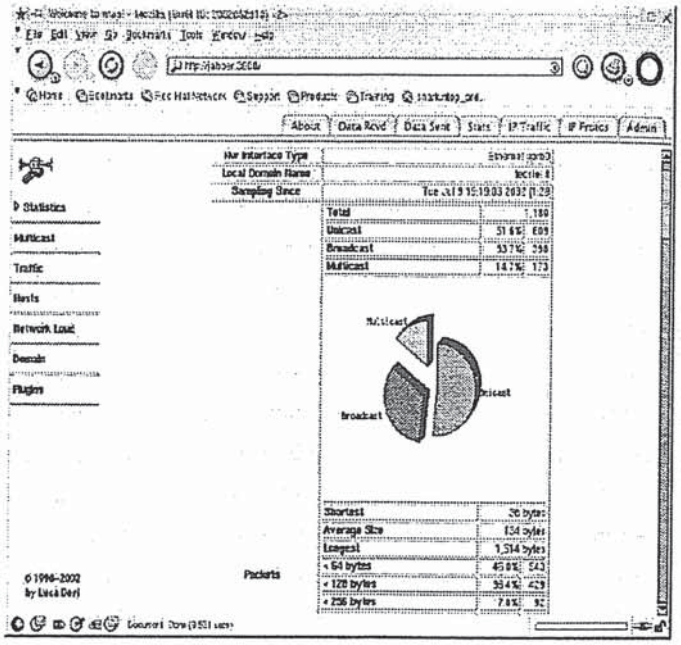


Figura 2. Ejemplo de pantalla de trabajo de NTOP

MRTG (Multi Router Traffic Grapher) [16]: Funciona bajo el protocolo snmp (simple network management protocol). Es un software considerado como administrador del tráfico de red. Está escrito en lenguaje perl, funciona en sistemas Unix, Linux, Windows y Netware. Crea los logs. tomando una muestra de cualquier contador snmp y lo grafica en paginas html integrando una lista de gráficos que representas los datos obtenidos de cada dispositivo. Estos también se pueden observar en forma remota (Figura 3).

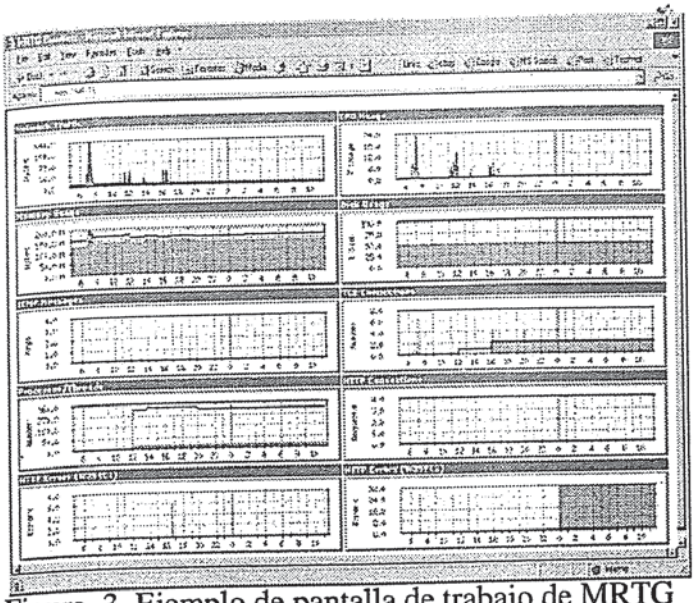


Figura 3. Ejemplo de pantalla de trabajo de MRTG

5.1.1 Metodología de implementación de estos programas

En una primera etapa se ejecutaron los sniffers en una plataforma Linux (Fedora Core5), y se analizó en distintos segmentos de la red de estudio. Se generó archivos de tramas ejecutando en forma automática el comando (tcpdump) durante lapsos de tiempo determinados a distintas horas, todos los días de las semanas bajo estudio. Una vez colectadas las tramas, se comenzó el análisis de estos informes con el programa (Wireshark) que posee una gran flexibilidad en su interfaz, y da la posibilidad de exportar los datos a una planilla de cálculo para su posterior representación. En esta primera etapa, se ha usado para completar la información obtenida el programa (iptraf) para saber los volúmenes de tráfico según servicio, puerto, ip, etc.

En una segunda etapa se utilizó el programa (NTOP), para generar la recolección y análisis de la información de forma directa, a través de gráficos de comparación. También se almacenaron las tramas en la base de datos del sistema. Finalmente se configuró el programa MTRG (con el protocolo snmp) para obtener todo los datos necesarios de la red.

Estas implementaciones sirvieron para comparar las técnicas de recolección de cada sistema, y así se pudo evaluar las ventajas y desventajas de cada uno dependiendo del tipo de entorno de aplicación.

5.2 *Sniffers y programas de monitoreo para redes wireless*

Los sniffers wireless capturan la cabecera de la capa mac (control de acceso al medio), que incluye información de la trama de enlace de datos, tal como el número de reintentos de la capa mac, funcionalidad de la administración de energía, encriptación wep, etc. También dan información adicional de la capa física y mac, como la fuerza de la señal recibida y el número de canal. Pueden recibir tanto tramas de datos como de administración, y dar información de tramas rts/cts, de asociación y autenticación.

Un ejemplo de sniffer utilizado es el AirMagnet. [17](Figura 4). Como en la mayoría de los sniffers wireless se pueden realizar las siguientes tareas:

- Ver el funcionamiento global de la WLAN
- Ver los datos rf por canal.
- Ver los datos rf por nodos WLAN.
- Identificar y resolver problemas WLAN.
- Decodificar paquetes WLAN.
- Realizar reportes con los datos obtenidos.

Las funciones disponibles, entre otras, pueden ser:

a) Realizar un test de carga de performance de la red:

Se genera una gran cantidad de tráfico entre el analizador de la red y los access points, pero no a la parte cableada de la red. Los resultados que se pueden obtener son:

- Medir el máximo ancho de banda WLAN en una ubicación dada.
- Encontrar la configuración óptima 802.11 WLAN para máximo throughput.
- Testear dispositivos WLAN, especialmente los access points bajo distintas condiciones de carga.

Esta función realiza estos tests y mediciones asociándose con el access point especificado y generando un alto tráfico de acuerdo a los parámetros de test especificados, como:

- Velocidad de transmisión (1, 2, 5.5, 11, 54 Mbps, or auto).
- Activación rts/cts 802.11.
- Configuración de retransmisión 802.11.
- Configuración de fragmentación 802.11.

Se pueden identificar configuraciones erróneas, en ssids, llaves wep, velocidades de transmisión, preámbulos, o canales de rf. También se pueden aislar los problemas de pasos específicos en el proceso de asociación donde la conexión está fallando. Estos pasos incluyen las pruebas de descubrimiento de la red, autenticación, reasociación, y potenciales fallas de hardware.

c) Medir cobertura de la Señal:

Se puede realizar un mapa de la cobertura de señal de rf. Esta medición es útil para el análisis antes y/o después de una instalación de redes inalámbricas

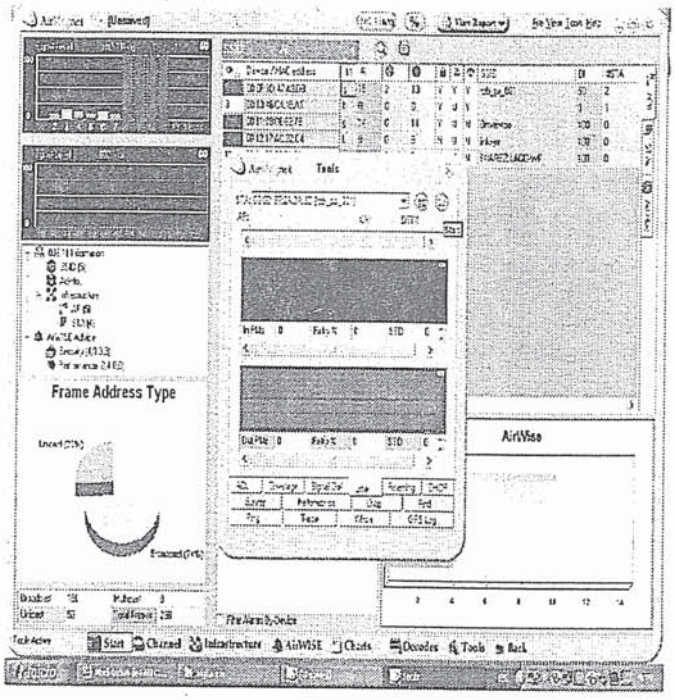


Figura 4. Ejemplo de pantalla de trabajo de AirMagnet

También se puede hacer un análisis más amplio y es observar la cobertura de cada celda (o access point) y sus límites con respecto otras celdas y la disponibilidad de roaming para un usuario. Esto permite hacer los ajustes correspondientes a cada access point en potencia y ubicación para obtener la cobertura necesaria; o si es necesario adicionar acess points.

d) Medir la Distribución de la señal wifi:

Esta medición y análisis es útil para detector problemas como multipasos de señal existentes, observando los patrones de distribución de señal.

e) Medir el jitter de la señal rf:

Jitter se refiere a variaciones no deseadas de la frecuencia o fase de una señal digital o analógica. Es una medición importante para redes VoWLAN (voz en WLAN) o para video on-line ya que solo soportan una cierta cantidad de jitter sin producer distorsiones importantes de la señal.

f) Medir la conectividad end-to-end en WLAN:

Los problemas de conectividad pueden provenir de un mal funcionamiento de la capa de enlace, o de configuraciones de la capa de red (ip). La medición se puede realizar con herramientas de dhcp, ping o trace.

En redes WLAN la interacción entre 2 capas de red funciona de manera distinta que en redes cableadas.

En WLAN hay 4 fases que se deben cumplir:

- Asociación con un access point en la capa de enlace
- Usar dhcp para adquirir una dirección ip, un default gateway, y un servidor dns.
- Usar dns para resolver el nombre de dominio de los nodos a una dirección ip
- Usar el default gateway para alcanzar el nodo final, vía la dirección ip correspondiente

Distintas circunstancias pueden afectar a la red y estos pasos no cumplirse y, por lo tanto, no tener conectividad extremo a extremo. Se puede realizar pruebas en los siguientes aspectos:

- Verificar la asociación estación-access point, emulando con el sniffer un cliente WLAN y verificando el proceso de asociación.
- Tracing conectividad, siguiendo paso a paso la señal hasta el final.

6 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

En este documento, se describe y presenta las técnicas más utilizadas para analizar el comportamiento de las redes LAN. Para el entendimiento del comportamiento en una red LAN (cableada y wireless) se propone una observación más específica que tenga en cuenta los protocolos de red, es decir, el tráfico. Por ello, se ha adoptado como método de colección de trazas (tramas) el uso de sniffers, tanto para redes cableadas como wireless, dejando las otras técnicas de polling y logs como complementarias. Se ha generado una base de datos de tramas, que se compara y contrasta con otras bases de datos de trazas de grupos de investigación internacional. Así, se ha cumplido con la primera fase de este proyecto.

En lo inmediato se pretende la aplicación de la técnica pca, pero aplicada sobre nuestras tramas, a los efectos de la creación de grupos de usuarios de igual (o similar) comportamiento, estableciendo patrones característicos de tráfico de red LAN. Posteriormente, se desarrollará un modelo de redes LAN realista, que se simulará con las herramientas software apropiadas.

Aunque este modelo podrá usarse en diversas aplicaciones, el objetivo mediato consiste en usar el modelo para proponer una nueva metodología sistemática de relevamiento, para reducir las horas de ingeniería de la etapa de diseó o rediseño de redes LAN

REFERENCIAS

[1] M. Schwartz, Report of the Internet Perspective Working Group, IITA Digital Libraries Workshop, 2005.

[2] D. Clark, Rethinking the design of the Internet: The end-to-end arguments vs. the brave new world, MIT, agosto 2001.

[3] J. Pérez, Evolución y Tendencias del sector de las Telecomunicaciones. Universidad Politécnica de Madrid, 2005

[4] S. Hauger, A scalable architecture for flexible high-speed packet classification, Universidad de Stuttgart, diciembre 2006

[5] G. Hu, Analysis of the CSMA/CA Protocol in a new optical MAN network architecture, Universidad de Stuttgart, febrero 2004.

[6] M. Balazinska, Characterizing Mobility and network usage in a corporate wireless LAN, MIT Laboratory for Computer Science, Paul Castro, IBM, 2003.

[7] R. Battiti, Wireless LANs: From WarChalking to Open Access networks, Departamento de Informatics y telecomunicaciones, Universidad de Trento, febrero 2005.

[8] A. Lakhina, K. Papagiannaki, M. Crovella, C. Diot, E. D. Kolaczyk, & N. Taft, Structural Analysis of Network Trakc Flows, ACM SIGMETRICS, New York, June 2004.

[9] G. Chen, H. Huang, & M. Kim, Mining Frequent and Periodic Association Patterns, Dartmouth College Computer Science Technical Report TR2005-550, July 2005.

[10] K. Lai, M. Roussoponlos, D. Tang. X. Zhao & M Baker, Experiences with a Mobile Testbed, Stanford University, Proceedings of The Second International Conference on Worldwide Computing and its Applications (WWCA'98.

[11] S. Merugu, M. Ammar, & E. Zegura, Space-Time Routing in Wireless Networks with Predictable Mobility, Georgia Institute of Technology, Technical Report GIT-CC-04-07, March 2004.

[12] http://www.tcpdump.org

[13] http://iptraf.seul.org

[14] http://www.wireshark.org

[15] http://www.ntop.org/

[16] http://oss.oetiker.ch/mrtg/

[17] http://www.airmagnet.com

ABSTRACT

The community dedicates to the study and analysis of LAN networks has destinated a great effort to analyze the profile of the network nodes, and then to model the network. It´s investigated and developed a model of LAN network from the determination of typical patterns of traffic of protocol of network depending of the profile of the nodes of networks. Such model will be able to be used in different applications and studies, although the immediate objective is to evaluate the profile of the model with their simulating.

So the following objectives are planned: 1) Analyze the profile of the nodes of network in LAN, 2) Develop a methodology to establish typical patterns of the LAN network, depending the profile of the nodes of networks, 3) Develop a model of LAN networks, 4) Introduce methods of technological innovation in the area of LAN and WAN networks.

Key Words: traffic – traces - networks –profile – protocols

Experiencias en computación de alta disponibilidad con el entorno Condor

P. Martínez, C. García Garino, C. Catania y J. Monetti
pmart@uncu.edu.ar & jmonetti@uncu.edu.ar & catania@itu.uncu.edu.ar & cgarcia@itu.uncu.edu.ar
Instituto Tecnológico Universitario, Universidad Nacional de Cuyo

RESUMEN: La clave de la computación de alta disponibilidad es hacer un uso eficiente de los recursos disponibles. En este trabajo se describen las características y funcionalidades del software Condor que permite la administración y explotación eficiente de los recursos en dichos entornos.

Palabras clave: Condor – HTC – scheduling– cluster – matchmaking

1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad la potencia de cálculo es un factor a tener en cuenta en la realización de todo proyecto de investigación que requiere recursos computacionales.
Muchos proyectos necesitan un entorno computacional que brinde una gran capacidad de cómputo durante largos períodos de tiempo.
Gracias al incremento de la potencia de los computadores y a las tecnologías de clustering es posible atacar problemas difíciles de resolver un tiempo atrás (debido al tiempo necesario o al costo de la infraestructura de computación a emplear).
Se pueden distinguir dos paradigmas de empleo de un cluster:

- HPC (High Performance Computing): En este paradigma se prima la ejecución lo más rápido posible de las tareas. Conceptos tales como paralelización y multiproceso entran dentro de este ámbito, y su aplicación directa es hacer que cálculos que pueden durar semanas en un solo equipo se repartan entre varios, dividiendo el trabajo a realizar.
- HTC (High Throughput Computing): En este paradigma se prima la ejecución de la mayor cantidad posible de tareas. Conceptos como gestión de colas y de recursos son parte de este ámbito, y su aplicación directa pasa por la realización de la mayor cantidad de trabajos a lo largo del tiempo.

Este paradigma puede utilizarse con facilidad cuando se tiene una multitud de cálculos de tamaño mediano / pequeño, y se quiere agilizar la gestión de todos ellos [1].
Condor [2] es un entorno distribuido diseñado para Computación de Alta Disponibilidad (High Throughput Computing HTC) y empleo de recursos ociosos. Condor implementa muchas facilidades como soporte para lanzar arreglos de trabajos, o instanciar workflows en casos más complejos. Además es capaz de manejar tolerancia a fallos, migración de tareas, replanificación de tareas e incluso de resguardar procesos en curso (checkpointing) para su eventual reejecución.
Un gestor o broker (Condor Matchmaker) se encarga de planificar las tareas y enviarlas a los recursos disponibles para su ejecución.

El software Condor permite de manera transparente y simultánea explotar las capacidades de estaciones de trabajo que pueden estar distribuidas en el mundo y pertenecer a distintos individuos, grupos, departamentos e instituciones.
Condor permite implementar mecanismos para autenticación y autorización de usuarios y para la encriptación e integridad de los datos.
Las políticas y mecanismos de Condor permiten a todos y cada uno de los dueños de los recursos mantener un control sobre estos y decidir hasta dónde y por quienes podrán ser usados [3].
Una de las ventajas fundamentales de Condor es que, aunque esté diseñado principalmente para ejecutarse en un conjunto de nodos dedicados (un cluster, por ejemplo), también se puede procesar en estaciones no dedicadas.
La idea principal de Condor es hacer posible que cálculos con alto costo de gestión puedan ser realizados de forma ágil y eficiente.
Condor puede interactuar de forma sencilla en un entorno distribuido, aprovechando la capacidad de todos los recursos informáticos de la red y aumentando la capacidad de cálculo del sistema.
En la segunda sección de este documento se describe la infraestructura para ejecutar trabajos con Condor. Posteriormente, en la sección tres se detallan las características más interesantes de Condor y su funcionamiento general.
La gestión y administración de Condor, que incluye tareas como el acceso de los usuarios al conjunto de máquinas o pool de Condor, los mecanismos de autenticación y autorización de usuarios, las políticas de ejecución de trabajos, mecanismo de checkpointing, etc., se discuten en la sección cuatro.
En la sección cinco se discuten los archivos de emisión de los trabajos y los entornos de ejecución (universos) que soporta Condor. En la sección seis se ejemplifica se ejecuta un trabajo en Condor sobre la infraestructura disponible y finalmente se brindan las conclusiones en la sección siete.

2 INFRAESTRUCTURA

En esta sección se describe la infraestructura disponible en el cluster llamado Reloaded, donde se ejecutan los trabajos bajo Condor.
La computadora llamada Glapic (ver Fig. 1) se comporta como una computadora front end que distribuye los trabajos a las distintas estaciones del cluster Reloaded.
Glapic está compuesta por un P4 HT de 3.0 GHz, 1 MB de Cache L2, 1 GB de RAM, disco rígido de 160 GB, y un adaptador de red Fast Ethernet.
El cluster Reloaded tiene una estación de trabajo maestra que actúa como front end y 12 estaciones de trabajo esclavas. Estas últimas están basadas en P4 HT, con procesador de 3.0 GHz, 1 MB de Cache L2, 1 GB de RAM, disco rígido SATA de 80 GB, y un adaptador de red Gigabit Ethernet. La computadora maestra y las estaciones de trabajo del cluster están interconectadas mediante una red Gigabit Ethernet.

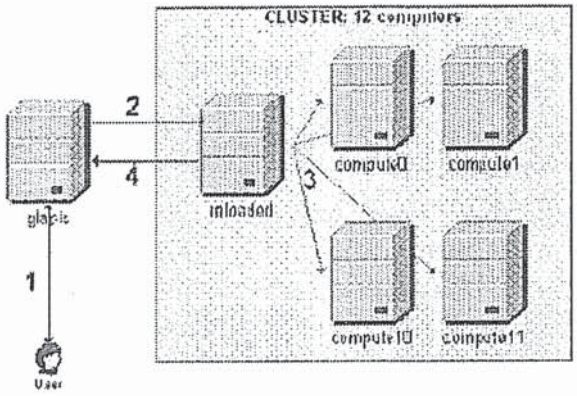


Figura 1. Cluster Reloaded

En Glapic se instaló Fedora Core 3 Kernel 2.6.9, Condor 6.8.4 como sistema operativo y middleware respectivamente. En el cluster Reloaded se instaló la distribución para cluster Rocks 4.1.
Eventualmente se podría acceder directamente a Reloaded, pero el esquema actual permitirá manejar desde Glapic otros recursos además del cluster.

3 CARACTERÍSTICAS Y FUNCIONAMIENTO DE CONDOR

Algunas de las características más interesantes de Condor son las siguientes:

- Sistema de colas integrado. El trabajo se envía a Condor. El entorno escoge el nodo más adecuado y lo ejecuta.
- Capacidad de ejecutar una simulación numerosas veces sin tener que relanzar a mano el cálculo.
- Notificación de finalización del cálculo vía e-mail.
- Posibilidad de realizar selección (es posible decir "solo lances el cálculo en máquinas con más de 512 MB de RAM).

- Posibilidad de preferencias ("lanza el cálculo en la máquina que tenga más HD").
- Sistema de prioridades sencillo (en el usuario y en el administrador).
- Configuración muy sencilla (trabaja una vez, y reusa).
- Funciona en nodos no dedicados, sin molestar al usuario.
- Disponible en Windows y Linux (es posible dentro de una configuración que el trabajo se ejecute en multiplataforma).
- Posibilidad de checkpointing (se guarda cada cierto tiempo el estado del cálculo).
- Conexión a Globus directa: Es posible emplear la potencia de cálculo de otros cluster mediante Condor-G.
- Posibilidad de ejecución condicional.

Condor realiza dos funciones principales: procesado de colas y gestión de recursos. El procesado de colas consiste en recoger las peticiones de trabajos y ponerlas de forma priorizada en una cola para su ejecución, mientras que la gestión de recursos se encarga de saber qué equipos están activos y con qué características cuentan, así como de repartir los trabajos de forma óptima.

Para recoger los trabajos Condor emplea un fichero de configuración que tiene todos los parámetros necesarios del mismo (programa a ejecutar, ficheros de configuración, ficheros de salida, variables de entorno, etc.). Dicho fichero de configuración debe de ser generado por el usuario mediante una sintaxis sencilla y potente (existen ficheros base explicados, así como ejemplos para las configuraciones más frecuentes).

Condor recoge todos los trabajos a ejecutar y examina los recursos existentes en el sistema. Si hay equipos suficientes para todos los trabajos los ordena y envía directamente. Si no hay equipos suficientes, los ordena según prioridades y los va ejecutando a medida que quedan equipos libres.

La gestión de recursos se realiza mediante unas etiquetas asignables tanto a los trabajos como a los recursos, que se denominan ClassAds y especifican las características de unos y otros. Una vez realizada esta caracterización, la gestión de recursos únicamente consiste en emparejar ClassAd de trabajos con ClassAd de recursos.

Una vez que Condor decide ejecutar un trabajo, transfiere tanto el programa como los ficheros necesarios para su ejecución al recurso adecuado y comienza su ejecución. Los resultados (así como un fichero de log en el que se refleja el progreso de la tarea) se transfieren de nuevo al equipo del usuario.

Condor permite el checkpointing, que consiste en guardar de forma periódica el estado completo de una tarea para poder recuperarla a posteriori.

4 ADMINISTRACIÓN DE RECURSOS

En esta sección se detalla la forma en que Condor administra la ejecución de trabajos en el pool, cómo Condor resuelve el encolamiento, planificación y checkpointing de los trabajos, la asociación de solicitudes de recursos con las ofertas de recursos y aspectos de seguridad.

Condor convierte a una colección de estaciones de trabajo en un entorno de computación distribuida de alto rendimiento (HTC).

Condor es un sistema por lotes especializado en la ejecución de trabajos que requieren capacidad de cómputo intensiva. Como la mayoría de los sistemas por lotes, Condor brinda mecanismos para encolamiento de trabajos, políticas de planificación, esquema de prioridades y clasificación de recursos.

Los usuarios envían su trabajo a Condor, Condor los encola, posteriormente los ejecuta e informa los resultados al usuario [2].

4.1 *Acceso al pool*

En la arquitectura disponible para ejecutar trabajos bajo Condor (ver Fig. 1) hay un administrador central que recoge toda la información del pool, tiene derechos de administrativos sobre el pool y es el negociador entre los recursos y las solicitudes de recursos.

Estas tareas las ejecutan distintos demonios. Los demonios de Condor se lanzan como root.

Se crea un usuario condor, así los usuarios se conectan al administrador central con este usuario, y desde esta máquina central se emiten los trabajos al pool.

Esta máquina cumple un rol muy importante en el pool, debe ser confiable y está en funcionamiento permanente. Si este equipo deja de trabajar, no podrán realizarse asociaciones entre recursos y requerimientos de recursos.

4.2 *Autenticación y autorización de usuarios.*

La autenticación de los usuarios en la máquina que emite los trabajos, se basa en políticas estándares de cuentas de sistemas operativos.

Cuando un usuario quiere acceder al pool para procesar trabajos, Condor utiliza un identificador de usuario y de grupo (user ID, group ID) para determinar quién es ese usuario. Para el usuario condor que se ha creado, el identificador de usuario y de grupo es configurado a 2.2

Una vez que el usuario es autenticado, Condor necesita conocer los privilegios que tiene ese usuario. Para ello, en el archivo de configuración general de Condor llamado condor_config, se fija el valor de la variable `HOSTALLOW_READ=*`, indicando que todos pueden ver el estado del pool, pero no pueden unirse o ejecutar trabajos en el mismo.

Luego se configura la variable `HOSTALLOW_WRITE` para que únicamente las máquinas dentro del dominio de interés puedan emitir trabajos y unirse al pool.

Los administradores centrales realizan la asociación de los recursos con trabajos y recogen información de todo el pool. Las máquinas del pool anuncian sus características en avisos clasificados (ClassAds), así como también los trabajos anuncian sus requerimientos y preferencias, por ejemplo:

Tabla 1. Ejemplo de ClassAdd

NameOpSysArch State Activity LoadAv Mem ActvtyTime
Vm1@compute-0 LINUX INTELOwner Idle 1.000 504 0+00:55:08
Vm2@compute-0LINUX INTEL Owner Idle 2.000 504 0+00:19:34
vm1@compute-0LINUXINTELUnclaimedIdle0.0005040+00:15:04
vm2@compute-0LINUXINTELUnclaimedIdle0.0005040+00:18:18
vm1@compute-0LINUX INTELOwner Idle1.000 504 0+00:50:07
vm2@compute-0LINUX INTEL Owner Idle 2.000 504 0+00:15:11
vm1@compute-0LINUX INTEL Owner Idle 1.000 504 0+00:50:13
vm2@compute-0LINUX INTEL Owner Idle 2.060 504 0+00:20:05
vm1@compute-0LINUX INTEL Owner Idle 1.000 504 0+00:45:34
vm2@compute-0LINUX INTEL Owner Idle 2.000 504 0+00:35:31
vm1@compute-0LINUX INTEL Owner Idle 1.000 504 0+00:45:10
vm2@compute-0LINUX INTEL Owner Idle 2.000 504 0+00:20:39
vm1@reloadedLINUXINTELUnclaimedIdle 0.010 504 0+00:17:30
vm2@reloadedLINUXINTELUnclaimedIdle 0.000 504 0+00:17:29

El demonio condor_negotiator es el responsable de las asociaciones entre recursos y solicitudes de recursos dentro del pool. Este demonio inicia periódicamente un ciclo de negociación, consultando a la máquina que actúa como colector de información del pool (es decir el collector), sobre el estado de los recursos.

El demonio condor_schedd representa las solicitudes de recursos dentro del pool. Los demonio condor_collector y condor_negotiator se ejecutan en el administrador central.

El demonio condor_collector es el responsable de recoger información sobre el estado del pool.

4.3 *Ejecución de trabajos*

El administrador central fue configurado para que también pueda ejecutar trabajos.

Cuando el trabajo termina, los resultados se envían a la máquina que lo emitió. Por lo tanto, si hay muchos trabajos ejecutándose, se necesita una gran cantidad de memoria real y de espacio de intercambio en el administrador central.

En el archivo de emisión del trabajo (ver Fig. 2), se especifica si Condor debe transferir los archivos necesarios para la ejecución del trabajo.

Así, Condor transfiere los archivos al nodo, lo ejecuta y transfiere la salida a la máquina que emitió el trabajo.

Para posibilitar el mecanismo de transferencia, se colocan dos comandos en el archivo de emisión del trabajo: el comando `should_transfer_files`, el cual especifica que Condor debe transferir archivos desde la máquina que emite el trabajo a la máquina remota donde se ejecuta.

El comando `when_to_transfer_output` especifica cuándo transferir los resultados [4].

Se puede saber dónde se está ejecutando el trabajo con el comando `condor_q`, de acuerdo a lo especificado en la condición Rank del archivo de emisión del trabajo, por ejemplo:

Tabla 2. Salida del comando `condor_q`

ID OWNER SUBMITTED RUN_TIME HOST(S)
28.0 condor 6/8 10:49 0+00:27:54 vm2@-0-1.local
28.1 condor 6/8 10:49 0+00:27:57 vm2@0-8.local
28.2 condor 6/8 10:49 0+00:33:05 vm1@reloaded
28.3 condor 6/8 10:49 0+00:33:02 vm2@reloaded
28.4 condor 6/8 10:49 0+00:27:54 vm2@0-5.local
28.5 condor 6/8 10:49 0+00:18:08 vm2@0-3.local
28.6 condor 6/8 10:49 0+00:18:06 vm2@0-2.local
28.7 condor 6/8 10:49 0+00:07:42 vm2@0-9.local
28.8 condor 6/8 10:49 0+00:06:17 vm2@0-1.local
28.9 condor 6/8 10:49 0+00:06:15 vm1@reloaded
28.10 condor 6/8 10:49 0+00:06:12 vm2@reloaded
28.11 condor 6/8 10:49 0+00:02:48 vm2@0-9.local

En el archivo de emisión de un trabajo se puede especificar que debe crearse un archivo log, para llevar un registro de lo que sucede con el trabajo.

Por ejemplo se puede saber quién emitió el trabajo:

Tabla 3. Trabajo emitido por un host

000(019.019.000) 06/04 16:41:47 Job submitted from host:192.168.218.212:59848

Se puede saber dónde se ejecutó el trabajo y si terminó su ejecución:

Tabla 4. Trabajo terminado

001(019.008.000) 06/05 04:00:36 Job executing on host:10.255.255.254:59846005(019.024.000) 06/0513:31:18 Job terminated.

Cuando Condor detecta que una estación de trabajo no está funcionando, intenta reconectarse y si no tiene éxito, replanifica el trabajo. Por ejemplo:

Tabla 5. Trabajo replanificado

024(021.012.000) 06/06 12:35:40 Job reconnection failed Job disconnected too long: Job Lease Duration (1200 seconds) expired Cannot reconnect to vm2@compute-0-6.local rescheduling job

4.4 *Checkpointing*

El mecanismo de checkponting permite obtener el estado actual de un programa a fin de que pueda ser reiniciado posteriormente desde ese último estado.
Condor a través del planificador puede quitar un recurso a un trabajo, efectuar el checkpointing del trabajo y reiniciarlo más tarde sin perder lo hecho hasta ese punto. Por defecto, se genera un archivo de checkpoint que se almacena en el disco local de la máquina que emitió el trabajo.

5 DESCRIPCIÓN DE TRABAJOS EN CONDOR

Para procesar un programa en Condor, se debe ejecutar un trabajo por lotes, en background.
Para ello se necesita crear los archivos que contienen las entradas correspondientes para el programa a ejecutar.
Condor ofrece varios entornos de ejecución (llamados universos) de los cuales podemos elegir a la hora de ejecutar un trabajo. El universo elegido se especifica en el archivo de emisión del trabajo (ver Fig. 2). En la sección 6 se explica en detalle el archivo de emisión de este trabajo.

```
executable = prueba.o
universe= standard
Requirements=UidDomain=="reloaded.ryt.itu.uncu.edu.ar"
&&FileSystemDomain=="reloaded.ryt.itu.uncu.edu.ar"
Rank= (machine == "compute-0-6.local") || (machine ==
"compute-0-5.local") || (machine == "compute-0-8.local") ||
(machine == "compute-0-9.local") || (machine ==
"compute-0-11.local") || (machine == "compute-0-
7.local")|| (machine == "compute-0-0.local") || (machine ==
"compute-0-1.local") || (machine == "compute-0-2.local") ||
(machine == "compute-0-3.local") || (machine ==
"compute-0-4.local") || (machine == "compute-0-10.local")
should_transfer_files = YES
when_to_transfer_output = ON_EXIT
transfer_output_files = results.output
output=results.output
error=error.output
log=results.log
queue 10
```

Figura 2. Archivo de emisión de trabajo

Las características de los universos que ofrece Condor son las siguientes:

- Universo standard: permite checkpointing y ejecución remota de llamadas al sistema. Estas características hacen que un trabajo sea más confiable y le permite acceder de manera uniforme a todos los recursos del pool. Para que un trabajo se pueda procesar en el universo standard debe relinkearse con el comando `condor_compile`. Condor efectúa checkpointing de los trabajos a intervalos regulares. Si un trabajo debe migrarse de una máquina a otra, a través del mecanismo de checkpointing, Condor genera una imagen del estado del trabajo, copia la imagen en la otra máquina y reinicia el trabajo desde el punto en que se dejó de ejecutar. Los trabajos pueden ejecutarse en diferentes máquinas a lo largo de su vida, gracias a la ejecución de remota de llamadas al sistema.
- Universo vanilla: este universo permite ejecutar trabajos que no pueden ser relinkeados contra Condor. En este universo es posible realizar checkpointing y ejecución remota de llamadas al sistema. Si un trabajo es terminado parcialmente, Condor puede suspenderlo para completarlo posteriormente o reiniciarlo en otra máquina del pool. Como no puede efectuarse la ejecución remota de llamadas al sistema, Condor trabaja con un sistema de archivos compartidos, como NFS o AFS. Alternativamente, Condor puede transferir los archivos que necesita el trabajo para ejecutarse.
- Universo PVM: permite la ejecución de programas escritos para Parallel Virtual Machine
- Universo MPI: permite la ejecución de programas escritos para MPICH.
- Universo Grid: brinda a los usuarios una interfaz Condor estándar para que puedan ejecutar trabajos en sistemas de administración remotos.

- Universo Java: un programa especificado para el universo Java puede ejecutarse en cualquier máquina con JVM, más allá de su ubicación, propietario o versión de JVM.
- Universo scheduler: permite a los usuarios la ejecución de trabajos livianos en la misma máquina que los emitió. Este universo tiene posibilidades muy limitadas, por ello cuando el trabajo debe ejecutarse en la máquina que lo envía, se prefiere el universo local.
- Universo paralelo: permite la ejecución de programas paralelos, por ejemplo los trabajos MPI.
- Universo local: en este universo, el trabajo no espera asociarse con ningún recurso, ya que se ejecuta directamente en la máquina que lo emitió.

Luego se prepara el archivo para emitir el trabajo a ejecutar. Este archivo contiene información acerca del trabajo, como cuál es el archivo ejecutable, los archivos que se necesitan como entrada, la plataforma necesaria para ejecutar el trabajo, etc.
También se indica la cantidad de veces que debe ejecutarse el trabajo.
Los agentes y los recursos anuncian sus características y requerimientos en anuncios clasificados (ClassAds). Condor, realiza asociaciones dando especial importancia a dos atributos especiales del archivo de emisión del trabajo: Requirements y Rank. Requirements indica requerimientos específicos y Rank indica preferencias, para que dentro de los recursos que cumplan los requerimientos, el trabajo se ejecute en máquinas determinadas.
El algoritmo de asociación necesita que ambos ClassAds coincidan y que los Requirements correspondientes sean evaluados a true.

6 EJEMPLO DE EJECUCIÓN DE UN TRABAJO EN CONDOR

Se ejecuta un programa sencillo, escrito en lenguaje C, para lo cual se crea el archivo de emisión del trabajo que se muestra en la Fig. 2. Este programa es compilado para Condor con el comando `condor_compile`. Así se genera el programa prueba.o.
Este trabajo requiere ser ejecutado en un determinado dominio, que se especifica en Requirements. En la variable Rank, se indica que dentro de los recursos que cumplan los requerimientos, el trabajo se ejecute en máquinas determinadas.
A continuación se indica que transfiera los archivos de entrada desde la máquina que emite el archivo a la máquina donde se ejecuta el trabajo.
Con when_to_transfer_files_output, se indica que transfiera la salida una vez que concluyó la ejecución del trabajo.
El trabajo es emitido desde la máquina denominada Glapic (ver Fig. 1).

7 CONCLUSIONES

Condor brinda al usuario la posibilidad de ejecutar trabajos con requerimientos elevados, inclusive si los recursos no están temporalmente disponibles.
Condor tiene capacidades únicas que permiten utilizar eficientemente recursos dedicados y no dedicados. También incluye la capacidad de checkpointing y migración de los procesos de manera transparente para los usuarios.
Los usuarios pueden definir políticas a la hora de ejecutar trabajos y hacer un seguimiento del progreso de los mismos.
Estas facilidades otorgan un alto poder computacional haciendo posible que cálculos con alto costo de gestión puedan ser realizados en forma ágil y eficiente. Condor provee capacidad de cómputo tolerante a fallos por largos períodos de tiempo haciendo uso de todos los recursos disponibles de la red.
En un futuro, se planea configurar varios pool y administrarlos con Condor, así como también administrar máquinas con doble microprocesador, que permite dos instancias de trabajo a la vez.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo financiero recibido de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT), mediante el Proyecto PICTR 184.

REFERENCIAS

[1] A. Sanz. Condor. Manual de usuario para el cluster HERMES, Instituto de Investigación en ingeniería de Aragón, Universidad de Zaragoza. Disponible en:

http://i3a.unizar.es/hermes/manual_hermes.pdf 2006.

[2] Douglas Thain, Todd Tannenbaum, and Miron Livny, Distributed Computing in Practice: The Condor Experience, Computer Sciences Department, University of Wisconsin-Madison. Disponible en: http://www.cs.wisc.edu/condor/publications.html, 2002.

[3] M. Livny, J. Basney, R.Raman y T. Tannenbaum. Mechanisms for High Throughput Computing, Department of Computing Sciences, University of Wisconsin-Madison. Disponible en: http://www.cs.wisc.edu/condor/publications.html,1997.

[4] Condor Team, Condor® Version 6.8.1 Manual, University of Wisconsin–Madison, Disponible en: http://www.cs.wisc.edu/condor/manual/, 2006.

ABSTRACT

The key of High Throughput Computing is to make an efficient use of the available resources. This work describes the characteristics and functionalities of the Condor software that allows the administration and efficient operation of the resources in these enviroments.

Key Words: Condor – HTC – scheduling– cluster – matchmaking

Un modelo basado en el conocimiento para la planificación de procesos asistida por computadora

M.G. Marchetta & R.Q. Forradellas
mmarchetta@fing.uncu.edu.ar & kike@uncu.edu.ar
Centro de Estudios y Aplicaciones Logísticas, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo

RESUMEN: La planificación de procesos asistida por computadora (CAPP, Computer Aided Process Planning) ha sido reconocida como el vínculo que permite reducir la brecha entre el diseño y la manufactura asistidos por computadora (CAD y CAM respectivamente). Diversos enfoques y técnicas para obtener sistemas de CAPP han sido propuestos e implementados. La mayoría de ellos, sin embargo, tienen la desventaja de ser difíciles de extender para soportar un espectro mayor de productos, y de adaptar a diversas industrias. En este trabajo se presenta un modelo basado en el conocimiento que atenúa estas desventajas, brindando al mismo tiempo posibilidades similares en cuanto a la aplicabilidad.

Palabras clave: CAPP – Inteligencia Artificial - Planificación

1 INTRODUCCIÓN

Debido a la gran brecha existente entre los requerimientos de información y el foco de las herramientas de diseño asistido por computadora (CAD, Computer Aided Design) por un lado, y las de manufactura asistida por computadora (CAM, Computer Aided Manufacturing) por otro, desde hace varios años se ha reconocido a la CAPP como un vínculo entre ambas actividades (Ref. [1,2]).

Las herramientas de CAD se basan en los aspectos geométricos del diseño de productos a fabricar, mientras que las aplicaciones de CAM se enfocan en los detalles de la manufactura propiamente dicha, tales como trayectorias de herramientas de corte, programas de las máquinas CNC (Computerized Numerical Control), etc.

Por otro lado, la CAPP involucra la definición del plan detallado de manufactura correspondiente a un diseño de producto, dando como resultado un plan de proceso que puede ser tomado entonces como base para otras actividades, como ser la generación de los mencionados programas de control numérico (integración horizontal dentro de la organización), o para la toma de decisiones, evaluación de costos y scheduling (integración vertical).

Los planes de proceso elaborados mediante la CAPP incluyen diversos parámetros, entre los cuales se destacan la definición de los procesos de manufactura requeridos y su orden de ejecución (la denominada "hoja de ruta", part routing), tipo de máquina a utilizar, definición de las herramientas de corte para cada proceso, parámetros de manufactura (ej: velocidades y avances), etc. (Ref. [3]).

En productos complejos la cantidad de posibilidades puede conducir a espacios de búsqueda muy grandes, para lo cual es útil la asistencia de sistemas inteligentes. Además, en ciertas industrias es posible que una gran cantidad de unidades de cada producto pueda ser fabricada, por lo cual la optimización de los planes de procesos es vital para lograr mayores beneficios y evitar cuellos de botella.

2 REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1 *Enfoques de CAPP*

En el contexto de CAPP existen mayormente 2 enfoques: variante y generativa (Ref. [3]). En CAPP variante, se agrupan los productos en familias, con la ayuda de la denominada "tecnología de grupos" (GT, Group Technology). Para cada familia de productos, se elabora un plan de procesos estándar, el cual se recupera y adapta al momento de planificar una nueva pieza de la familia correspondiente.

Por otro lado, la CAPP generativa intenta generar planes de proceso desde cero, partiendo de la especificación de diseño de la pieza y del conjunto de recursos de manufactura disponibles en la planta.

La desventaja obvia del enfoque variante es que tienen muy poco apoyo de las herramientas automatizadas. En escenarios altamente dinámicos puede existir una cantidad muy grande de piezas y familias, que dificulta las tareas de CAPP. Como ejemplo de estos escenarios, puede citarse el maquinado de alta precisión para clientes que proporcionan especificaciones de piezas diseñadas.

Por este motivo la mayoría de las investigaciones recientes en CAPP se concentran en el enfoque generativo.

2.2 *CAPP basada en elementos característicos*

Aún cuando se han propuesto algunas técnicas "directas" de CAPP (Ref. [4]), la gran mayoría de los trabajos en los últimos años se basan en los denominados "elementos característicos" (features). Este trabajo se centra en este tipo de sistemas (feature-based CAPP).

En este enfoque, antes de generar los planes de procesos, los diseños CAD de las partes a fabricar son procesados, a fin de reconocer los elementos característicos en ellos presentes. Por lo tanto, la generación de los planes de proceso se divide en 2 etapas: reconocimiento de elementos característicos y generación de planes de procesos.

Los elementos característicos proporcionan información semántica de alto nivel, la cual complementa la información geométrica presente en los diseños de los productos.

Luego de haber reconocido los elementos característicos, se obtiene lo que se denomina un "modelo de características" (feature model), el cual es tomado como entrada por los algoritmos de CAPP propiamente dichos, encargados de generar el plan de procesos. Como ejemplo de elementos característicos típicos, se pueden citar los agujeros, ranuras, depresiones, protrusiones, etc.

2.3 *Generación de modelos de características*

Existen a su vez diversos enfoques para la generación de modelos de características: diseño basado en características (feature-based design), reconocimiento de características (feature recognition) e identificación interactiva de características (Ref. [1,5]).

La identificación interactiva de características es básicamente manual: el ingeniero de manufactura debe marcar de alguna manera cuáles son las entidades que componen cada característica. Esto es engorroso y no aporta asistencia alguna al usuario.

El diseño basado en características ha recibido bastante atención en los últimos años, pero las investigaciones se enfocan principalmente en la simplificación y agilización de las actividades de diseño, y no en el apoyo de la manufactura.

Además la comunidad de investigación en esta área está de acuerdo en que no existe un único conjunto de características que sirvan tanto para el diseño como para la manufactura (Ref. [1]). Por este motivo, en general se requiere cierto proceso de conversión de características (que generalmente involucra algún mecanismo de reconocimiento)

Así, el principal enfoque utilizado para generar modelos de características de manufactura es el denominado "reconocimiento de características". En este enfoque, se toma como entrada el diseño CAD de una pieza, y se reconocen en él las características presentes.

2.4 *Reconocimiento de características*

La idea básica del reconocimiento de características es identificar patrones geométricos correspondientes a elementos característicos, generalmente de maquinado.

Existen 3 grandes tipos de técnicas dentro de este enfoque: técnicas basadas en grafos (graph-based techniques), descomposición volumétrica (volumetric decomposition techniques) y razonamiento basado en pistas (hint-based reasoning techniques).

En el contexto del reconocimiento de características, son 2 los problemas principales que se enfrentan: las features que se intersectan y la existencia de múltiples interpretaciones del mismo sólido en términos de sus elementos característicos.

Dado que las características de maquinado corresponden a volúmenes de material removido, cuando 2 ó más características se intersectan algunas de sus partes pueden desaparecer, dificultando su reconocimiento. Por otro lado, existen múltiples combinaciones de características que darían como resultado el mismo modelo sólido, y dado que los planes de proceso dependen del modelo de características, puede ser necesario generar varios de éstos modelos para encontrar un plan de procesos óptimo, según algún criterio.

Las técnicas basadas en grafos representan la topología del modelo sólido de las piezas a fabricar en forma de grafo, donde los nodos del grafo representan las caras de la pieza, y las aristas del mismo representan las aristas de la pieza (Ref. [6,7]). Estos grafos también pueden ser enriquecidos con información adicional, como la concavidad de las aristas o la forma de las caras.

Las características se modelan también como grafos, y se almacenan en una biblioteca de características (feature library). Durante el proceso de reconocimiento, se buscan estos patrones como subgrafos de la representación de la pieza. Este enfoque es muy sensible a la intersección de características.

La descomposición volumétrica consiste en dividir iterativamente el volumen total a remover de la materia prima en sub-volúmenes, para luego identificar características en estos volúmenes. La descomposición puede basarse en volúmenes poliédricos o bien en celdas de tamaño fijo, que luego se recombinan de diversas maneras para recomponer los volúmenes.

A pesar de que estos métodos son robustos ante la intersección de características, el problema del primer caso es que se limita a objetos poliédricos, mientras que en el segundo caso la cantidad de formas de recombinar las celdas es tan grande que produce una explosión combinatoria.

Finalmente los enfoques basados en "pistas" se apoyan en la idea de que, aún cuando las características interactúen entre sí, alguna parte de las mismas debe permanecer en el modelo sólido de la parte terminada. Por lo tanto, estos enfoques buscan estas "partes" en la pieza final, en lugar de buscar las características completas, por lo cual son robustos ante la interacción entre características.

2.5 *CAPP generativa basada en características*

En el contexto de la CAPP generativa basada en características se han propuesto diversas técnicas, incluyendo sistemas basados en el conocimiento, particularmente sistemas expertos y sistemas basados en reglas de producción (ej: Ref. [8,9]), planificadores de propósito específico basados en búsqueda (ej: Ref. [10]), y en menor medida otros enfoques menos convencionales como ser redes neuronales, algoritmos evolutivos, etc. (ej: Ref. [11]).

De los enfoques mencionados, los más prominentes son los 2 primeros: sistemas expertos o basados en reglas, y planificadores de propósito específico basados en búsqueda.

Los sistemas basados en el conocimiento tienen la ventaja de la facilidad de expansión y adaptación, apoyados principalmente en la declaratividad de los lenguajes de representación del conocimiento. Salvo muy pocas excepciones (como Ref. [12]), la gran mayoría adopta enfoques de sistemas expertos o algún otro enfoque basado en reglas, el cual requiere que se codifiquen manualmente las reglas de generación de planes de proceso.

El problema es que el mismo resultado final puede lograrse mediante una gran cantidad de posibles combinaciones de procesos de manufactura, por lo cual se deben crear grandes bases de conocimiento. Además estas técnicas no están enfocadas en la optimización, y es muy difícil (si no imposible) la evaluación de diferentes opciones para lograr el mismo objetivo.

Por otro lado, los planificadores de propósito particular tienen la ventaja de que pueden realizar búsquedas en el espacio de soluciones, lo cual permite la evaluación de diversas opciones, e incluso la implementación de búsqueda de soluciones óptimas, según algún criterio (como tiempos de manufactura, costos, consumo de energía, una combinación de éstos, etc.).

El inconveniente de éste último enfoque es que en general estos sistemas son "procedurales", es decir que no son declarativos ni se basan en lenguajes de representación de conocimiento, por lo cual cada vez que las condiciones básicas de búsqueda cambian (por ejemplo por la incorporación de nuevas capacidades de manufactura a la planta), se deben modificar los algoritmos procedurales, lo cual es más engorroso y consume más tiempo que el caso de los sistemas basados en el conocimiento.

En este contexto, la planificación de propósito general aparece como una alternativa atractiva al combinar lo mejor de los 2 anteriores: permite realizar búsquedas a la vez que representa sus objetivos, estados iniciales y operadores mediante lenguajes formales (Ref. [13,14]).

3 MODELO PROPUESTO

En el contexto de los sistemas generativos de CAPP propuestos hasta el momento, existen algunos aspectos principales que pueden ser mejorados, a saber: permitir extensibilidad y adaptabilidad a diversos dominios de manufactura en forma sencilla, permitir la evaluación de múltiples opciones teniendo en cuenta algún criterio de optimización, y finalmente lograr lo anterior mediante algún mecanismo que requiera una cantidad razonable de trabajo para poner a punto el sistema.

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, en este trabajo se presenta un sistema de CAPP generativa, basado en planificación de inteligencia artificial (artificial intelligence planning), que permite el modelado del dominio de manufactura mediante un lenguaje de representación de conocimiento declarativo, y a la vez permite (potencialmente) la evaluación de múltiples planes de proceso y la optimización según algún criterio.

El tipo de técnica propuesto tiene además la ventaja de que la combinatoria de planes que pueden elaborarse, resulta de la generación y análisis de combinaciones de procesos de manufactura, la cual se realiza en forma automática durante el proceso de solución, por lo cual no se requiere la codificación de estas "reglas de combinación" en forma manual, sino que sólo requiere que se modelen las capacidades de manufactura de la planta, como se verá en las secciones siguientes.

3.1 *Arquitectura del sistema*

El sistema propuesto está formado por varios componentes. Las entradas al sistema son archivos CAD en formato ISO 10303-203 (STEP AP 203). Este estándar utiliza la representación de contornos (BRep, Boundary Representation), como formalismo para modelar los diseños CAD.

Estos archivos son importados dentro del sistema mediante un componente que hace las veces de interfaz STEP, y que genera un modelo de objetos interno del sistema, el cual puede ser posteriormente manipulado por el resto de los componentes del mismo.

El sistema cuenta también con un preprocesador, encargado de traducir el modelo BRep leído por la interfaz STEP en un modelo de planificación, utilizable por el reconocedor de características (feature recognizer) y luego por el planificador de procesos (process planner). La arquitectura se muestra en la Fig. 1.

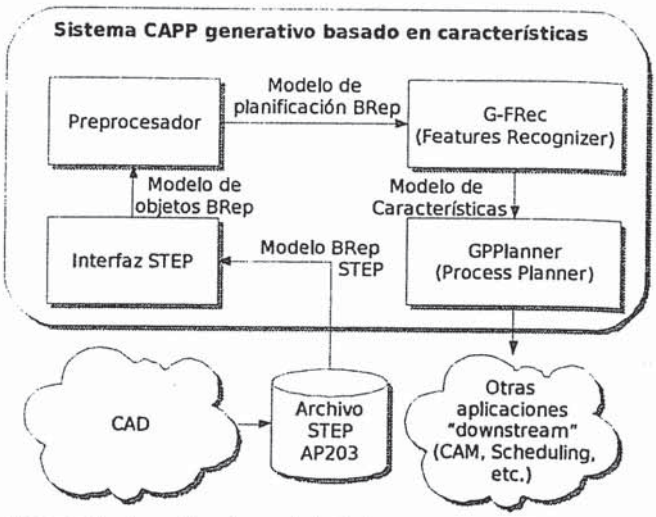


Figura 1. Arquitectura del sistema propuesto

Tanto el componente de reconocimiento de características como el de planificación de procesos (G-FRec y GPPlanner respectivamente), están basados en planificación de inteligencia artificial. Por lo tanto, el preprocesador traduce el modelo de objetos en un problema de planificación, que al ser resuelto por el reconocedor de características produce el feature model.

Este feature model, a su vez, constituye otro problema de planificación, que es resuelto entonces por el planificador de procesos para generar el plan de procesos de manufactura final.

3.2 *Planificación de inteligencia artificial*

En inteligencia artificial, el problema de planificación se puede definir de la siguiente manera: dado un estado inicial I, un conjunto de objetivos G, y un conjunto de esquemas de acción A, encontrar una secuencia de acciones S tal que G se logra ejecutando S in I.

En este trabajo se utilizó un planificador de tipo "generativo", en particular el planificador Graphplan (propuesto en Ref. [13]). Este planificador se basa en una estructura de datos denominada grafo de planificación, en el cual los nodos corresponden a hechos y acciones, mientras que las aristas corresponden a relaciones causa-efecto entre hechos y precondiciones de acciones. El algoritmo alterna entre 2 tipos de actividades: expansión del grafo y búsqueda de la solución.

Durante la expansión del grafo, Graphplan incluye todas las posibles instanciaciones de esquemas de acción cuyas precondiciones son satisfechas en el estado correspondiente, y agrega todos los correspondientes efectos de las acciones incluidas.

Finalmente asocia los efectos y precondiciones de las acciones mediante las aristas del grafo. En la Fig. 2 se muestra un ejemplo simple de un grafo de planificación.

Así, graphplan parte desde el estado inicial, agrega las acciones "aplicables" (acciones cuyas precondiciones son satisfechas en este estado), agrega los efectos de estas acciones al grafo, y se continúa de esta manera hasta que el grafo se "estabiliza".

Este proceso de expansión es alternado con la búsqueda de soluciones. Cada vez que se extiende el grafo en una "etapa" más (cada vez que se agregan las acciones aplicables en un estado determinado, y sus efectos), se intenta hallar una solución dentro del grafo generado. En caso de no hallarla, se intenta expandir nuevamente el grafo, y el proceso continúa hasta que no pueden agregarse más acciones (en ese punto se dice que el grafo se "estabiliza").

A su vez, durante el proceso de expansión del grafo, se calculan las restricciones que se producen entre acciones. Así, si dos acciones tienen precondiciones o efectos que entran en conflicto, estas restricciones se agregan al grafo. Estas restricciones permiten reducir el espacio de búsqueda al momento de intentar encontrar una solución, mejorando el rendimiento del sistema.

La representación de los estados inicial y final, así como la representación de los operadores (esquemas de acción), se basa en un lenguaje "tipo STRIPS", el cual es un lenguaje declarativo, constituido por una versión restringida de la lógica de primer orden.

Algunas de las restricciones del lenguaje son el hecho de que no se permiten disyunciones, todas las variables del dominio se consideran cuantificadas existencialmente, etc. Además de esto, los operadores no pueden crear ni destruir objetos, por lo que los objetos o entidades existentes en el dominio deben ser declarados como parte del estado inicial.

La Fig. 3 presenta un ejemplo de la representación de estados y operadores en este lenguaje.

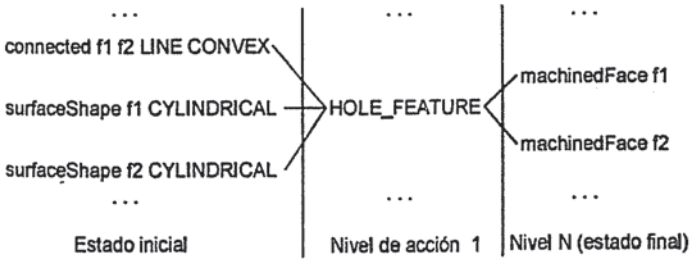


Figura 2. Ejemplo de un grafo de planificación

```
(FACE1 ADVANCED_FACE)
(FACE2 ADVANCED_FACE)
...
(LINE EDGE_SHAPE)
(CONVEX EDGE_CONVEXITY)
...
```

(a) Definición de objetos

```
(preconds
(surfaceShape F1 PLANE)
(connection F1 F2 LINE CONVEX)
...
)
```

(b) Estado inicial parcial

```
(effects
(machinedFace FACE1)
(machinedFace FACE2)
...
)
```

(c) Estado final parcial

```
(operator CYLINDRICAL_BOSS
  (params
   (<face1> ADVANCED_FACE)
   ...
  )
  (preconds
   (surfaceShape <face1> PLANE) ...
   (connection <face1> <face2>
               CIRCLE CONVEX) ...
   ...
  )
  (effects
   (machinedFace <face1>)
   (machinedFace <face2>)
   ...
  )
)
```

(d) Modelo de operador parcial

Figura 3. Modelo parcial de un dominio STRIPS

3.3 *Reconocimiento de características*

A fin de que G-FRec pueda reconocer las características de maquinado presentes en una parte, el preprocesador genera un dominio tipo STRIPS que representa la geometría de dicha parte. En este modelo, los objetos o entidades presentes en el dominio son las caras del modelo sólido de la parte que se proporciona como entrada.

Las características se modelan como operadores del dominio. Cada característica está compuesta por un nombre, un conjunto de parámetros, una lista de precondiciones y una lista de efectos. Los parámetros son las caras del modelo sólido que están vinculadas con el elemento característico.

Las precondiciones son aspectos geométricos y topológicos de la pieza. Los aspectos geométricos incluyen la forma de la superficie de las caras (ej: PLANE, CYLINDRICAL_SURFACE, , etc), la forma de las aristas de la pieza (ej: CIRCLE, LINE, etc.) y la concavidad o convexidad de las mismas. Los aspectos topológicos incluyen básicamente la interconexión de caras a través de las aristas.

La forma de las superficies de las caras se representa mediante el predicado "surfaceShape", el cual tiene como parámetros la cara y la forma correspondiente.

El resto de los aspectos (la forma de las aristas, la topología de interconexión entre caras y la convexidad o concavidad de estas conexiones), se modelan mediante el predicado "connection", el cual tiene como argumentos las 2 caras adyacentes, la forma de la arista compartida por ellas y la convexidad de la conexión.

Los efectos de los operadores que representan las características se representan mediante el predicado "machinedFace", el cual tiene como único argumento la cara que resulta maquinada para que la

característica exista en pieza (una característica puede tener asociadas varias caras que deben ser maquinadas). Puede ocurrir que no todas las caras relacionadas con la característica deban necesariamente ser maquinadas para que ésta exista. Por ejemplo, como se verá en la sección 4, para la detección de un agujero no sólo deben existir las caras cilíndricas que conforman los bordes del agujero (y que deben ser maquinadas), sino también los bordes en los extremos del mismo.

El estado objetivo del problema de planificación se representa mediante un conjunto de caras que deben ser maquinadas para que existan las características de la pieza. Así, todas las caras del modelo sólido de la pieza a fabricar deben estar asociadas a alguna de las características identificadas.

Puede ocurrir que algunas caras no se asocien con características por diversos motivos, como ser que realmente la cara no forma parte de una característica de maquinado, o bien que la biblioteca de características no está completa. Teniendo en cuenta que es deseable que aún en estos casos el sistema devuelva al menos un modelo parcial, se incluyó un operador de planificación especial, que no tiene precondiciones, y cuyo efecto es el maquinado de una cara.

Este operador tiene una preferencia baja en relación con los demás, por lo que G-FRec lo utiliza sólo en caso de que no se pueda asociar una cara determinada con una característica.

El resultado del reconocimiento es un conjunto de características, junto con las caras a ellas asociadas.

3.4 *Planificación de procesos*

Una vez que se ha obtenido el modelo de características, se tiene una representación semántica de la pieza a fabricar. El planificador de procesos es entonces el encargado de crear un plan de procesos de manufactura, capaz de producir todas estas características, a fin de obtener la pieza terminada.

El plan de procesos resultante puede entonces ser utilizado ya sea por el personal de la planta, para realizar la fabricación, o por otras aplicaciones, denominadas "downstream" (CAM, scheduling, etc). Por ejemplo, a partir del plan de procesos y de la geometría de la pieza, es posible generar los programas para máquinas CNC por medios automatizados o manuales (un programador).

La versión actual (reportada por primera vez en Ref. [15]), planifica la hoja de ruta de la pieza, y soporta una planificación de setups limitada, como se verá más adelante.

```
CYLINDRICAL.HOLE(#316-FACE9 #116-FACE4
                 #99-FACE3 #286-FACE8 )
CYLINDRICAL.POCKET(#586-FACE20 #646-FACE22
                   #655-FACE23 #624-FACE21)

...

(LATHE MACHINE)
(DRILL MACHINE)
(MILLING_MACHINE MACHINE)

...

(NO_TOOL TOOL)
(END_MILLING_CUTTER TOOL)
(DRILL_BIT TOOL)
```

Figura 4. Entidades del dominio de GPPlanner

En GPPlanner las características incluidas en los modelos generados por G-FRec se modelan como entidades del dominio. Las máquinas y herramientas que pueden ser utilizadas para fabricar también se representan como entidades del dominio. La Fig. 4 muestra algunos ejemplos de estas entidades.

En general, las piezas a fabricar requieren que la máquina que se utilizará sea "puesta a punto" (esto es lo que se llama "setup" de la máquina). Entre los parámetros que deben ser configurados, están la colocación de la herramienta de corte adecuada en la máquina, la carga del programa (en el caso de máquinas CNC), la fijación de la materia prima o de la pieza en proceso de fabricación, etc.

Desde el punto de vista de la planificación de setups, la versión actual de GPPlanner sólo tiene en cuenta el montado de las herramientas adecuadas en las máquinas correspondientes.

Los setups se modelaron mediante un operador de planificación, denominado SETUP, el cual tiene como parámetros una máquina y 2 herramientas. La Fig. 5 muestra el código del operador.

```
(operator
 SETUP 1
 (params
  (<machine> MACHINE)
  (<currentLoadedTool> TOOL)
  (<newLoadedTool> TOOL))
(preconds
  (loadedTool <machine> <currentLoadedTool>)
)
(effects
  (loadedTool <machine> <newLoadedTool>)
  (del loadedTool <machine> <currentLoadedTool>)
)
)
```

Figura 5. Operador de planificación para setup

```
(operator
 DRILLING
 (params
  (<face2> ADVANCED_FACE) (<face3> ADVANCED_FACE)
  (<feature> MACHINING_FEATURE)
 )
 (preconds
  (loadedTool DRILL DRILL_BIT)
  (featureType <feature> CYLINDRICAL.HOLE)
  (machinedFor <face2> <feature>)
  (machinedFor <face3> <feature>)
 )
 (effects
  (machinedFace <face2>) (machinedFace <face3>)
 )
)
```

Figura 6. Operador para un proceso de manufactura

El operador requiere que una de las herramientas de sus parámetros esté actualmente montada en la máquina, y su efecto es que la nueva herramienta reemplaza a la anterior en la máquina.

Los procesos de manufactura que pueden utilizarse para producir las características de las piezas, se modelaron también mediante operadores de planificación. Los parámetros de estos operadores son básicamente las partes de la característica producida (las caras de la característica), además de la característica misma.

Las precondiciones de estos operadores incluyen el requerimiento de que esté montada la herramienta necesaria en la máquina adecuada, y que la característica para la cual se realiza el proceso sea del tipo correcto (pueden existir varias instancias del mismo tipo de característica, ej: múltiples agujeros).

El efecto de estos operadores es la fabricación (total o parcial) de la característica. La fabricación parcial se produce en aquellos casos en los que la característica requiere más de una operación de manufactura. La Fig. 6 muestra un ejemplo.

4 CASO DE ESTUDIO

Para ilustrar el uso del modelo propuesto, se presenta como caso de estudio la pieza mostrada en la Fig. 7 (obtenida de Ref. [16]).

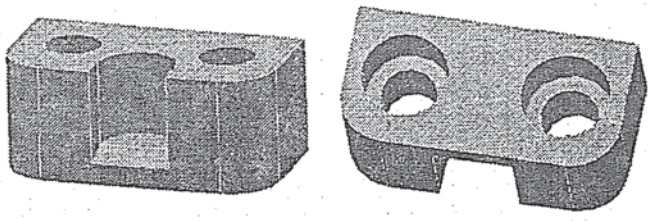


Figura 7. Pieza utilizada como caso de estudio

```
1 SETUP
  MILLING.MACHINE NO.TOOL END.MILLING.CUTTER
1 SETUP
  DRILL NO.TOOL DRILL.BIT
2 END.MILLING
  PRISMATIC.ROUNDED.CONV.ENDED.NONTHROUGH.SLOT1
2 DRILLING
  CYLINDRICAL.HOLE1
2 END.MILLING
  CIRCULAR.CONVEX.OPEN.ROUNDED.CORNER2
2 END.MILLING
  CYLINDRICAL.POCKET2
2 DRILLING
  CYLINDRICAL.HOLE2
2 END.MILLING
  CYLINDRICAL.POCKET1
2 END.MILLING
  CIRCULAR.CONVEX.OPEN.ROUNDED.CORNER1
2 END.MILLING
  FLAT.CLOSED.STEP1
```

Figura 8. Plan de procesos del caso de estudio

Esta pieza presenta dos agujeros cilíndricos, dos depresiones cilíndricas ("pockets"), una ranura no pasante, un escalón ("step"), y dos bordes redondeados ("fillets"). La Fig. 8 muestra una vista simplificada del plan de procesos obtenido con GPPlanner.

5 CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

En este trabajo se presentó un modelo de CAPP basado en el conocimiento, apoyado en un sistema de planificación de inteligencia artificial. La propuesta tiene la ventaja de tener un enfoque declarativo, reduciendo la cantidad de conocimiento a representar, facilitando la adaptación y extensión del sistema a nuevos productos e industrias, y permitiendo la potencial evaluación y optimización de planes de proceso alternativos.

Este trabajo es parte de un proyecto de investigación más grande, enfocado en la obtención de un sistema de CAPP con iniciativa mixta, con el cual se está desarrollando un agente inteligente para apoyar al ingeniero de manufactura en sus tareas, mediante la inferencia automática de sus intenciones (plan recognition), y la síntesis de alternativas para la toma de decisiones (mediante el planificador de procesos generativo, GPPlanner). Se ha diseñado una arquitectura para este sistema (Ref. [17, 18]), y se han implementado algoritmos de aprendizaje para reconocimiento de intenciones (Ref. [19, 20]).

La consideración de las direcciones de acceso en la planificación de setups, el cálculo de parámetros de fabricación (velocidades y avances) y la consideración de criterios de optimización se tratarán en trabajos futuros.

REFERENCIAS

[1] J. Han, 3D Geometric reasoning algorithms for feature recognition. PhD Thesis, University of Southern California, 1996.

[2] J. Shah, P. Sreevalsan & A. Mathew, Survey of CAD/feature-based process planning and NC programming techniques, Computer-Aided Engineering Journal, Vol. 8 N° 1, 1991, 25–33.

[3] S. Kalpakjian & S.R. Schmid, Manufactura: Ingeniería y Tecnología, Pearson, 2002.

[4] A. Mukerjee & N. Kumar Jain, A Feature-less Approach to Process Planning. En Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation. 1997.

[5] J. Han, M. Pratt & W. Regli, Manufacturing feature recognition from solid models: a status report, IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol. 16, N° 6, 2000, pp 782-796.

[6] S. Joshi & T.C. Chang, Graph-Based heuristics for recognition of machined features from a 3D solid model, Computer-Aided Design, Vol 20, N° 2, 1988, pp 58-66.

[7] S. Gao & J.J. Shah, Automatic recognition of interacting machining features based on minimal condition subgraph, Computer-Aided Design, Vol 30, N° 9, 1998, pp 727-739.

[8] D. N. Sormaz & B. Khoshnevis, Knowledge representation for automated process planning, Proc. IEEE International Symposium on Assembly and Task Planning, 1995.

[9] M. Kumar & S. Rajotia, Development of a Generative CAPP System for Axisymmetric Components for a Job Shop Environment, Int. Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol 27, 2005, pp 136-144.

[10] D. Nau, S. Gupta & W. Regli, AI Planning versus manufacturing-operations planning: a case study, Proceedings of the Fourteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence, IJCAI 95, 1995, pp 1670-1676.

[11] X. Zhou, Y. Qiu, G. Hua, H. Wang & X. Ruan, A feasible approach to the integration of CAD and CAPP, Computer-Aided Design, Vol 39, 2007, pp 324-338.

[12] F. Deák, A. Kovács, J. Váncza & T. Dobrowiecki, Hierarchical knowledge-based process planning in manufacturing, Proceedings of the IFIP TC5 / WG5.2 & WG5.3 11th International PROLAMAT Conference on Digital Enterprise, 2001.

[13] A.L. Blum & M.L. Furst, Fast planning through planning graph analysis, Artificial Intelligence, Vol. 90, 1997, pp 281-300.

[14] J.S. Penberthy, D.S. Weld, UCPOP: A Sound, Complete, Partial Order Planner for ADL, Proc. of Third International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning, 1992, pp 103-114.

[15] M. Marchetta, R. Forradellas, Artificial intelligence planning for generative computer aided process planning, Aparecerá en Proc. 19th International Conference on Production Research, Valaparaíso, Chile, 2007.

[16] National Design Repository. http://www.designrepository.org/

[17] M. Marchetta & R. Forradellas, Agentes inteligentes para manufactura integrada por computadora, EnIDI, 2006.

[18] M. Marchetta & R. Forradellas, A mixed-initiative approach to computer aided process planning, 12° Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC), 2006.

[19] M. Marchetta & R. Forradellas, A new model for automatic generation of plan libraries for plan recognition, Proc. 3° International Conference on Production Research, Americas' Region, 2006.

[20] M. Marchetta & R. Forradellas, Supporting interleaved plans in learning hierarchical plan libraries for plan recognition, Inteligencia Artificial – Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial, 10-32, 2006, pp 47-56.

ABSTRACT

Computer Aided Process Planning (CAPP) has been recognized as the bridge to fill the gap between Computer-Aided Design (CAD) and Computer-Aided Manufacturing (CAM). Several approaches and techniques for CAPP systems have been proposed and implemented. Most of these works, however, have the drawback of being difficult to extend in order to support a wider range of products, and to adapt to different industries. In this work a knowledge-based model is presented, that reduces these drawbacks and gives at the same time similar application possibilities.

Key Words: CAPP – Artificial Intelligence – Planning

Estimación del tiempo de procesamiento paralelo para el cálculo de series y matrices

O. Marianetti & O. León & C. García Garino & C. Catania

omarianetti@itu.uncu.edu.ar & oleon@itu.uncu.edu.ar & cgarcia@itu.uncu.edu.ar & ccatania@itu.unucu.edu.ar

Instituto Tecnológico Universitario & LAPIC, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo.

RESUMEN: Los diagramas de dependencia son una herramienta útil que permiten tener a priori una idea del comportamiento de un sistema paralelo y además permiten estimar el número de procesadores óptimo para una aplicación dada, lo cual resulta de utilidad ya que no siempre se aceleran los procesos cuando se aumentan los procesadores en un sistema paralelo. En este trabajo se discute la aplicación de los diagramas de dependencia a un par de problemas sencillos, y se obtiene una expresión para estimar el tiempo de procesamiento paralelo, el cual se compara con resultados obtenidos sobre un cluster, obteniéndose buena concordancia. La expresión obtenida se aplica, de manera empírica, al caso de productos matriciales y cálculo de series. De la comparación con los resultados obtenidos en dos clusters diferentes surge que la expresión brinda estimaciones con un rango del 10% de error.

Palabras clave: paralelización – secuencia – dependencia – trapecio

1 INTRODUCCIÓN

Caracterizar la arquitectura de un sistema paralelo es una tarea relativamente sencilla, pero no sucede lo mismo con la medición de su rendimiento. Entre las mediciones más comunes se encuentran :

- Tiempo paralelo: el tiempo total absoluto que requiere un programa para su ejecución en un sistema paralelo.
- Speedup (aumento de velocidad o aceleración): la relación entre el tiempo que se requiere para la ejecución de un programa en un procesador secuencial y el tiempo paralelo.

A partir de esta definición de Speedup surge la mejora la velocidad de procesamiento de un sistema paralelo respecto de un sistema secuencial. Por otra parte, no todos los procesos pueden descomponerse de manera sencilla para utilizar todas los recursos de cálculo disponibles, como se muestra mediante la ley de Amdahl [1], que expresa el aumento de velocidad (S) en función de la cantidad de procesadores (p) y la cantidad de operaciones que deben ejecutarse en forma secuencial (f). Esta última se indica como fracción, es decir la porción del algoritmo que no se puede paralelizar.

$$S = \frac{1}{f + \frac{1-f}{p}} \quad (1)$$

Si se tiene que ejecutar en forma secuencial el 20 % de las operaciones (f= 20%) el aumento de la velocidad S no puede ser mayor a 5 veces, independientemente del números de procesadores que se utilicen. Para p= 20 , S= 4,16. Para p = infinito, S = 5

- Eficiencia: la relación entre S y el número p de procesadores.

$$E = \frac{S}{p} \quad (2)$$

En el ejemplo anterior, eficiencia 4,16/20 = 0,20, es decir un 20%.

2 PARALELIZACIÓN DE UN ALGORITMO

La utilización de procesadores en paralelo no garantiza obtener una gran mejora del tiempo de cálculo respecto del caso secuencial. Los diagramas de dependencia [1] resultan de utilidad para determinar cuanto se mejora la velocidad de ejecución de un proceso en un sistema paralelo y también son útiles para encontrar un número de procesadores óptimo para una aplicación. Mediante un análisis de dependencias se puede obtener en primera instancia una aproximación a la relación entre el tiempo secuencial y el tiempo paralelo. Utilizando los diagramas de secuencia de control y de dependencia se obtiene a la ecuación (3) [2].

$$Tp = \frac{NT}{P} \cdot FTs + \log 2P \cdot Tc \quad (3)$$

Donde: FTs es la fracción de tiempo de ejecución secuencial (número de pasos por tiempo de cálculo), NT es el número de términos de la serie, P es el número de procesadores considerados y Tp y Tc son los tiempos paralelo y de comunicación, respectivamente.
Con el objetivo de verificar la validez de la ecuación (3) para diferentes casos se considera una aplicación numérica que responde a un algoritmo que conduce a un código similar al de una serie, como resulta el método de los trapecios para realizar la integración numérica de integrales definidas:

$$[f(x_0)/2 + f(x_n)/2 + f(x_1) + f(x_2) + \ldots + f(x_{n-1})] \quad (4)$$

Para implementar el problema se propone el siguiente código secuencial:

```
1   h = (b –a) /n ;
2   integral = ( f (a) + f (b) ) /2.0;
3   x = a;
    for ( i =1; i <= n – 1; i ++) {
4           x = x + h;
5           integral = integral + f(x);
        }
6   integral = integral * h;
```

Donde n es el número de puntos en los cuales se muestrea la función a integrar , a y b son los puntos finales y h es el ancho de la base del trapecio.

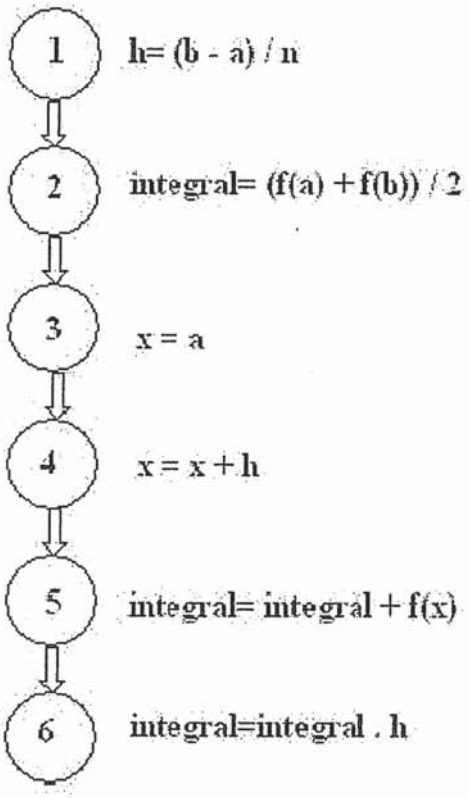


Figura 1. Diagrama de secuencia de control.

Aplicando los diagramas de secuencia y dependencias [3] a este algoritmo se observa que los pasos 1, 2, 3 y 6 son de ejecución en serie o secuencial, mientras que los pasos 4 y 5 se pueden paralelizar. Ver Fig. 1 y Fig. 2.
Se obtiene un tiempo estimado para este problema a partir de la ecuación (3), según los diagramas de secuencia y de dependencia obtenidos para los

diagramas de secuencia y de dependencia para el método del trapecio. Se adopta NT = 536870912 y un tiempo de cálculo de 10 nseg. por operación (en este caso 6 pasos en el diagrama de secuencia de control) y 1000 nseg. para el tiempo de comunicación, con lo cual se obtienen los valores de la Tabla 1.
Estos valores de tiempo se toman como referencia para un procesador ficticio pero se pueden extender a procesadores paralelos reales. [4] [5]

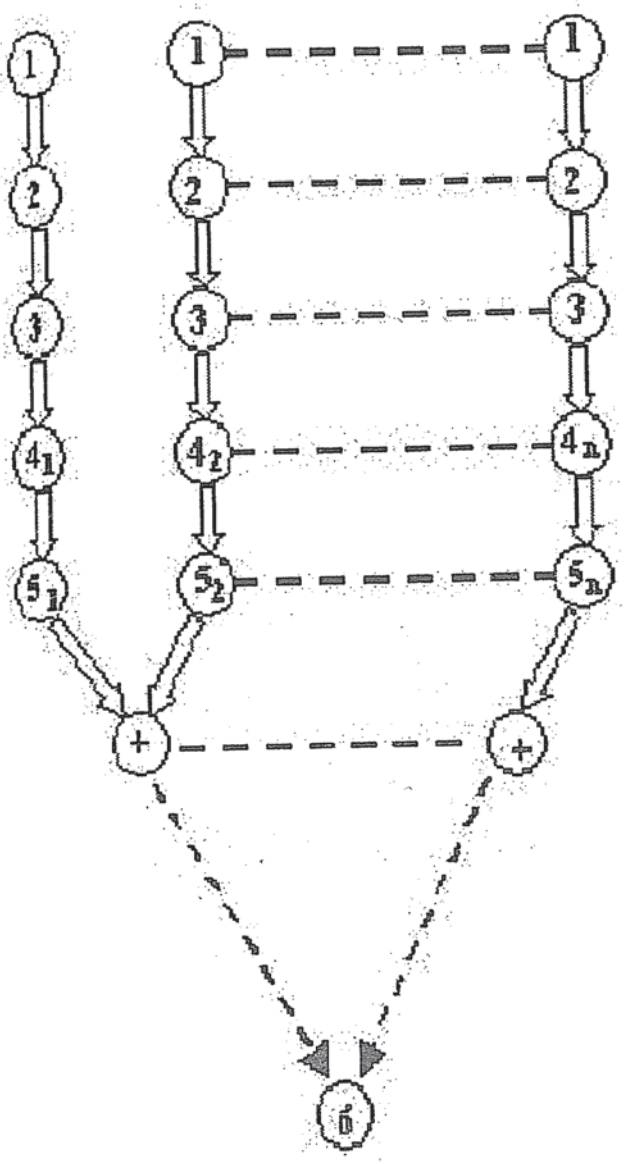


Figura 2. Diagrama de dependencia

3 EXPERIENCIAS Y MEDICIONES

Para validar la expresión obtenida, se realizaron experiencias numéricas en un cluster conformado por un nodo maestro y 12 PC's Pentium IV a 3 Ghz, 1GB de memoria RAM y placas de red Ethernet de 1 Gb/s, bajo Linux ejecutando MPICH [6]. En dicho cluster se procesó el método del trapecio para distintos valores de NT (desde 65536 hasta 1144866347) y utilizando desde 1 a 12 procesadores.
Los tiempos de procesamiento medidos se presentan en las Tablas 2, 3, 4, 5 y 6, y se ilustran en la Figura 3 las correspondientes a las Tablas 3, 4, 5 y 6.

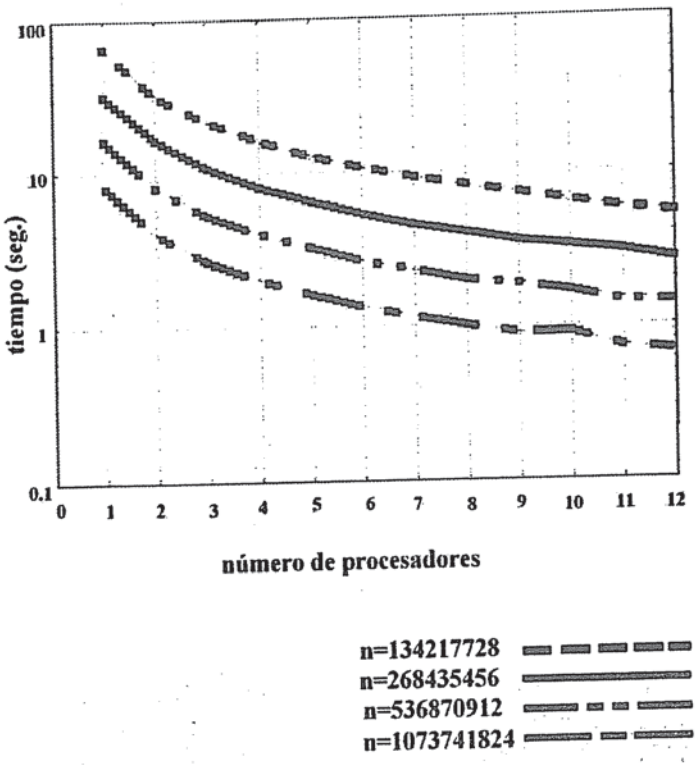


Figura 3: Tiempos de procesamientos para distintos valores de NT y P

Tabla 1. Resultados del cálculo teórico del tiempo paralelo para el método del trapecio para nt= 536870912.

P	Tp (seg.)
1	32,212255
2	16,106128
3	10,737420
4	8,053066
5	6,442453
6	5,368712
7	4,601753
8	4,026535
9	3,579143
10	3,221229
11	2,928390
12	2,684358

La expresión propuesta se aplica de manera empírica al caso del producto de matrices, para lo cual se comparan las aceleraciones (speedup) teóricas y las medidas para matrices cuadradas de orden 512, como se muestra en la Tabla 7.
Como surge de la Tabla 8 el error relativo del 9,78% es una aproximación aceptable ya que la expresión que se está aplicando se dedujo para la resolución de series. Estos resultados confirman experiencias previas de los autores llevadas a cabo en otro cluster [7], donde se ejecutó el mismo código. (ver Fig. 4)

Tabla 2. Resultados de las mediciones del tiempo paralelo para el método del trapecio para nt =67108864.

P	Tp (seg.)
1	3.991338
2	1.990632
3	1.334209
4	1.008841
5	0.798460
6	0.666270
7	0.573570
8	0.600468
9	0.444739
10	0.408436
11	0.366238
12	0.342355

Tabla 3. Resultados de las mediciones del tiempo paralelo para el método del trapecio para nt =134217728 .

P	Tp (seg.)
1	7.979246
2	3.998915
3	2.670383
4	2.000104
5	1.596557
6	1.332319
7	1.150128
8	0.993555
9	0.888544
10	0.899338
11	0.732483
12	0.669234

Tabla 4. Resultados de las mediciones del tiempo paralelo para el método del trapecio para nt =268435456.

P	Tp (seg.)
1	15.954228
2	7.999580
3	5.319061
4	4.006925
5	3.195920
6	2.661875
7	2.286225
8	1.999529
9	1.872605
10	1.696534
11	1.462902
12	1.435451

Tabla 5. Resultados de las mediciones del tiempo paralelo para el método del trapecio para nt =536870912.

P	Tp (seg.)
1	15.954228
2	7.999580
3	5.319061
4	4.006925
5	3.195920
6	2.661875
7	2.286225
8	1.999529
9	1.872605
10	1.696534
11	1.462902
12	1.435451

4 CONCLUSIONES

La expresión propuesta en el trabajo, deducida a partir de los diagramas de secuencia y dependencia se ha validado con resultados experimentales obtenidos sobre un cluster, obteniéndose una aproximación relativamente buena entre los resultados estimados y los medidos, para el caso de series y otros aplicaciones de estructura algorítmica semejante.

Tabla 6. Resultados de las mediciones del tiempo paralelo para el metodo del trapecio para nt= 1073741824 .

P	Tp (seg.)
1	63.826718
2	31.857550
3	21.307856
4	15.952465
5	12.746254
6	10.663567
7	9.128410
8	7.980186
9	7.197360
10	6.392217

Tabla 7. Comparación de los tiempos paralelos medidos y los tiempos obtenidos teóricamente para n = 536870912 .

P	Tp medido (seg.)	Tp teórico (seg.)
1	31.949458	31.949458
2	15.946154	15.975729
3	10.647348	10.654104
4	7.983630	7.989364
5	6.402727	6.392214
6	5.332024	5.327495
7	4.550950	4.567016
8	4.001756	3.996682
9	3.548625	3.553110
10	3.300247	3.198268
11	3.001043	2.907956
12	2.669803	2.666040

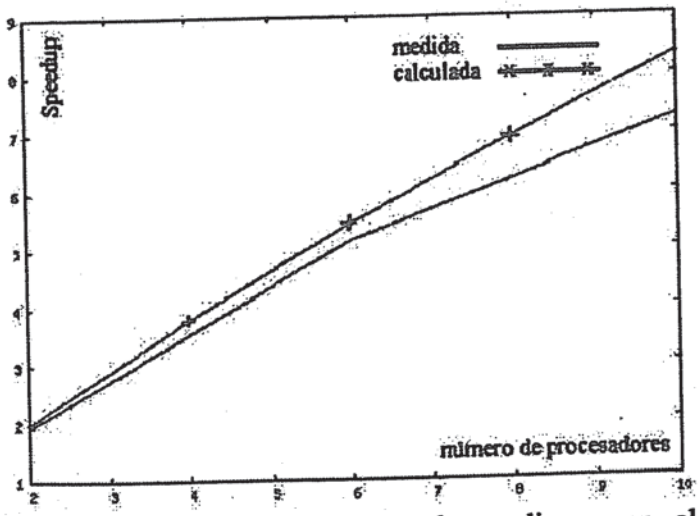


Figura 4: Speedup resultante de mediones en el cluster y de aplicar la fórmula.

Por otra parte, dicha expresión se ha utilizado de manera empírica en el caso de producto de matrices, obteniéndose en este caso un error del 10%. Además los resultados obtenidos y la validación de la expresión [3] son una herramienta para la asignación de procesadores en un entorno de cluster como el utilizado en las experiencias aquí descriptas, ya que permiten calcular el speedup y la eficiencia para diferentes números de procesadores asignados. Con esta información se decide la opción más conveniente para el sistema.

Tabla 8. Comparación de las aceleraciones medidas y teóricas para resolución de productos de matrices de 512 elementos .

P	Speedup medida	Speedup teórica
2	0,81608966	1,22347864
4	2,27350445	2,44695728
6	3,71635742	3,67043592
8	4,54658436	4,89391455
10	5,50523318	6,11739317

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo financiero recibido de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT), mediante el Proyecto PICTR 184.

REFERENCIAS

[1] Day K., Tripathi A., A Comparative Study of Topological Properties of Hypercubes and Star Graphs, IEEE Trans. Parallel and Distributed Systems, vol. 5, no. 1, pp. 31-38, Jan. 1994.

[2] O Marianetti., O. León, C. Garcia Garino, Eficiencia en los Sistemas de Procesamiento Paralelo, 33-39, Vol 1, ENIDI 2005.

[3] P. Pacheco, Parallel Programming With MPI, Morgan Kaufmann Publishers, 1997.

[4] Vikram S. Adve & Mary K. Vernon, Parallel Program Performance Prediction Using Deterministic Task Graph Analysis, ACM Transactions on Computer Systems, Vol. 22, No. 1, February 2004.

[5] M. J. Murcocca & V. P. Heuring, Principles of Computer Architecture, Prentice Hall, 2000.

[6] www.mcs.anl.gov/mpi/mpich/.

[7] O. A. León & C. Garcia Garino, Cálculo matricial en ambiente paralelo, EMCI 2005.

ABSTRACT

The dependency diagrams are a useful tool that allow to have an idea of the behavior of a parallel system and to consider the optimal number of processors for a given application, which is important since not always the processes are accelerated when the processors in a parallel system are increased. In this work the application of the diagrams of dependency is discussed to a pair of simple problems, and an expression is obtained to consider the time of parallel processing, which is compared with results obtained on cluster, obtaining good agreement. The obtained expression is applied, of empirical way, to the case of matrix products and calculation of series. From the comparison with the results obtained in two clusters different arises that the expression offers estimations a rank of 10% of error.

Key Words: to parallel - sequence - dependency - trapeze

µMACAW: procotolo para redes inalámbricas ad-hoc orientado a microcontroladores de 8 bits.

R. González & D. J. Scokin

rodvalez@fim.utn.edu.ar & daniel_scokin@yahoo.com.ar
Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Redes de Datos y Telecomunicaciones,
Departamento de Electrónica, Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional

RESUMEN: En los últimos años el uso de tecnologías inalámbricas en redes de computadoras ha tenido un auge notorio. Hoy en día es común ver este tipo de redes funcionando en espacios públicos o grandes empresas, ganando día a día más adeptos entre redes hogareñas y de oficina. Sin embargo, la implementación de este tipo de tecnologías en aplicaciones industriales es poco común. Nuestro trabajo está basado en el desarrollo de un protocolo de capa de enlace que se adapta a este tipo de aplicaciones y en su implementación utilizando microcontroladores de 8 bits, en los cuales los recursos computacionales son escasos. Para esto fueron tomados conceptos del protocolo de acceso al medio MACAW, adaptándolo a nuestras necesidades e introduciendo algunas mejoras respecto al algoritmo de recepción de marcos repetidos que este último propone. Conceptos de otros trabajos de investigación también fueron considerados.

Palabras clave: red – inalámbrica – ad-hoc – microcontrolador - embebido

1 INTRODUCCIÓN

El uso de tecnologías inalámbricas se hace cada día mas presente en nuestras vidas. Palabras como teléfono celular o móvil, Bluetooth y WiFi son prácticamente de público conocimiento. Pero el gran auge que tienen las comunicaciones inalámbricas en productos de consumo masivo no es correspondido en aplicaciones industriales. Por esto se decidió desarrollar el protocolo de control de acceso al medio (MAC) de una red inalámbrica diseñada para ambientes industriales, por lo cual dicho protocolo debía ser confiable y estable, y totalmente implementado en un sistema embebido, en particular en microcontroladores de 8 bits.

Se determinó que la red debía ser del tipo ad-hoc ya que este tipo de arquitectura es totalmente descentralizada, con lo cual la red gana fiabilidad al no depender su funcionamiento de la existencia de un nodo central, ya que si el nodo central funciona mal, toda la red funciona mal.

El protocolo de control de acceso al medio MACAW (Multiple Access with Collision Avoidance for Wireless) [1] data del año 1994. El mismo plantea y soluciona en parte algunos de los problemas inherentes a las redes inalámbricas. El interés principal de MACAW es el del reparto ecuánime del canal de comunicación entre los nodos que participan de la red, característica muy deseable en redes ad-hoc, donde el uso del canal no está controlado por una estación base, como lo es, por ejemplo, en una red de telefonía celular.

Debido a esto se decidió tomar a MACAW como puntapié inicial para el desarrollo e implementación de nuestro protocolo, motivo por el cual decidimos nombrarlo µMACAW (MACAW para microcontroladores).

2 METODOLOGÍA DE DESARROLLO

La misma se basa en el modelo de referencia hibrido planteado en [2], el cual surge a partir de una mezcla de los modelos de redes OSI y TCP/IP. Este modelo divide a una red en cinco capas y una subcapa (Fig. 1), las cuales deben prestar un servicio determinado a su capa superior, a través de una interfaz clara con la misma. Estas tareas las lleva a cabo el protocolo de la capa. Al conjunto de protocolos que integran el sistema de la red se lo denomina pila de protocolos.
El proyecto abarcó el desarrollo de las dos primeras capas, es decir, las capas física y de enlace, incluida la subcapa de acceso al medio. Se tuvo que contemplar el uso de una capa de aplicación simple para demostrar el correcto funcionamiento de la red. También fue necesario desarrollar un programa para la depuración, análisis y monitoreo de la pila de protocolos. El mismo tiene un funcionamiento similar a lo que en el mundo de las redes de computadoras se conoce como un programa sniffer.

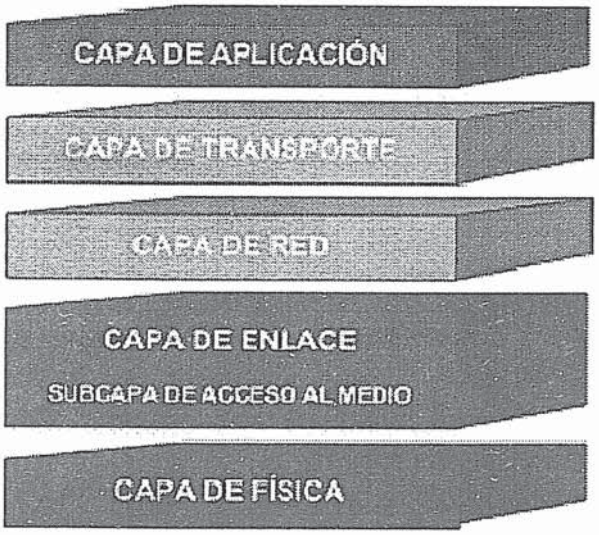


Figura 1. Pila de protocolos

Se fijó como política de desarrollo que la capa física debía tener total independencia de la capa de enlace, por lo que esta última no podía estar basada en protocolos del tipo CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance), en los cuales es imprescindible que la capa física, en particular la radio, tenga la propiedad de poder verificar la presencia de una portadora antes de transmitir para de esta forma evitar colisiones.
Tampoco se deseaba usar un protocolo donde es necesario modificar la potencia de la señal de radio para también evitar colisiones, como el propuesto en [3]. Esta independencia entre capas se logra usando MACAW.
A continuación se detalla el funcionamiento de la red especificando por separado las características de cada una de las capas desarrolladas.

3 CAPA DE ENLACE

Su tarea principal es tomar el medio de transmisión en bruto y transformarlo en una línea que parezca libre de errores de transmisión para la capa superior. También debe resolver el problema provocado por los marcos dañados, perdidos y duplicados [2].

3.1 *Protocolo de la capa de enlace*

El diagrama de estados de la Fig. 2 y el de la Fig. 3 explican el funcionamiento del protocolo de la capa de enlace, sin tener en cuenta el funcionamiento del protocolo de la subcapa de acceso al medio, el cual se explicará en detalle más adelante.

3.2 *Estructura de los marcos*

Todos los marcos tienen cinco campos en común. Estos son:

- Preámbulo: su objetivo es el de sincronizar la rutina de recepción del receptor con los bits enviados por el transmisor ya que, inherentemente, la comunicación entre ellos es asincrónica.
- Control: indica el tipo de marco.
- Nodo origen: indica la dirección del nodo transmisor del marco.
- Nodo destino: indica la dirección del nodo para el cual es el marco enviado.
- CRC: utilizado para verificar, mediante el algoritmo CRC (Cyclic Redundancy Check), que el marco recibido no fue corrupto por ruido mientras permaneció en el canal.

3.2.1 Marcos RTS (Request To Send) y RTR (Request To Retransmit)

El objetivo del marco RTS es el de informar al receptor que se desea enviarle un marco de datos. El marco RTR es enviado cuando no se tiene certeza de que un marco de datos previamente enviado haya llegado a su destinatario. La función del campo Cantidad de RTS transmitidos se explica más adelante.

Pre ambulo	Control	Origen	Destino	Cantidad de datos	Cant. RTS transmitidos	CRC

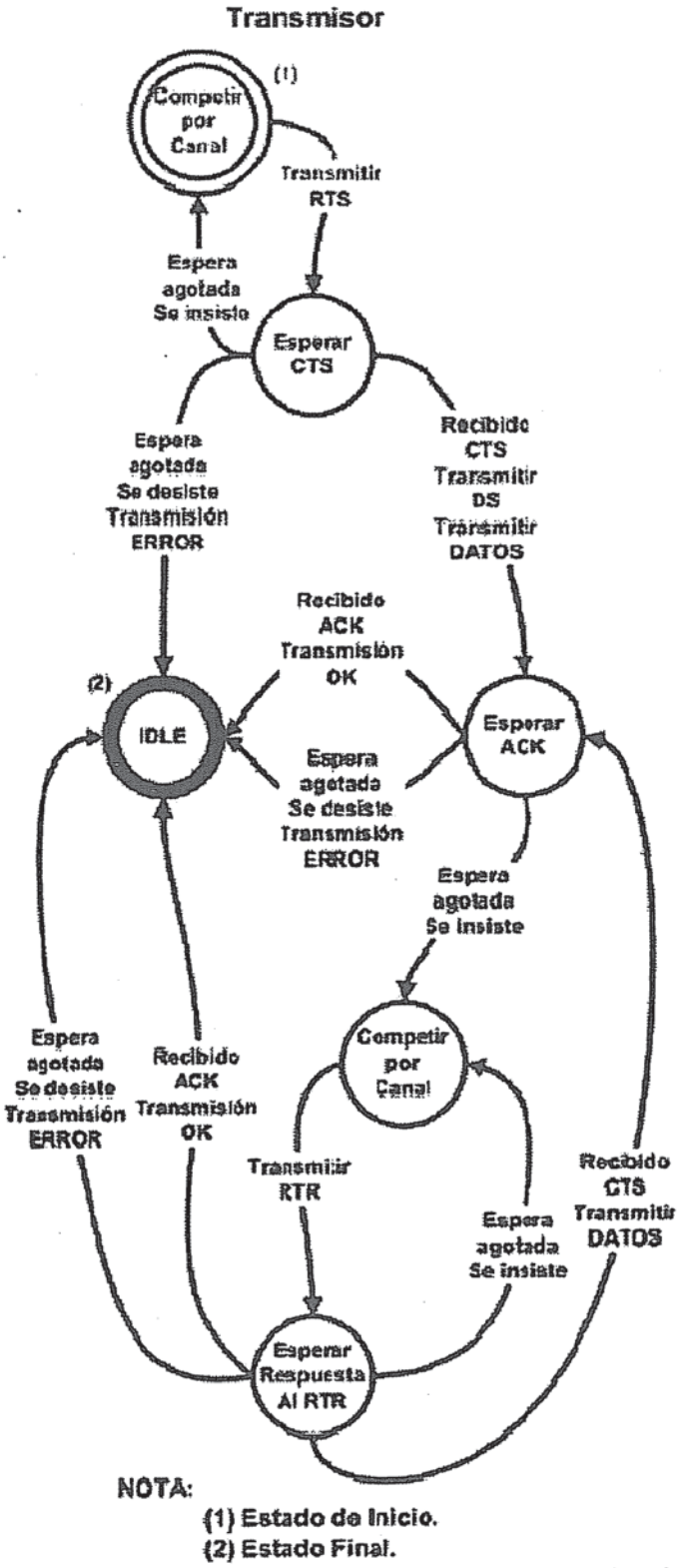


Figura 2. Diagrama de estados del protocolo de transmisión de la capa de enlace.

3.2.2 Marco CTS (Clear To Send)

Este marco se envía para reconocer de recepción de un marco RTS o RTR, indicando que se está dispuesto a recibir el marco de datos. La función del campo Calidad del backoff & backoff se detalla más adelante.

Pre ambulo	Control	Origen	Destino	Cantidad de datos	Calidad del BO & BO	CRC

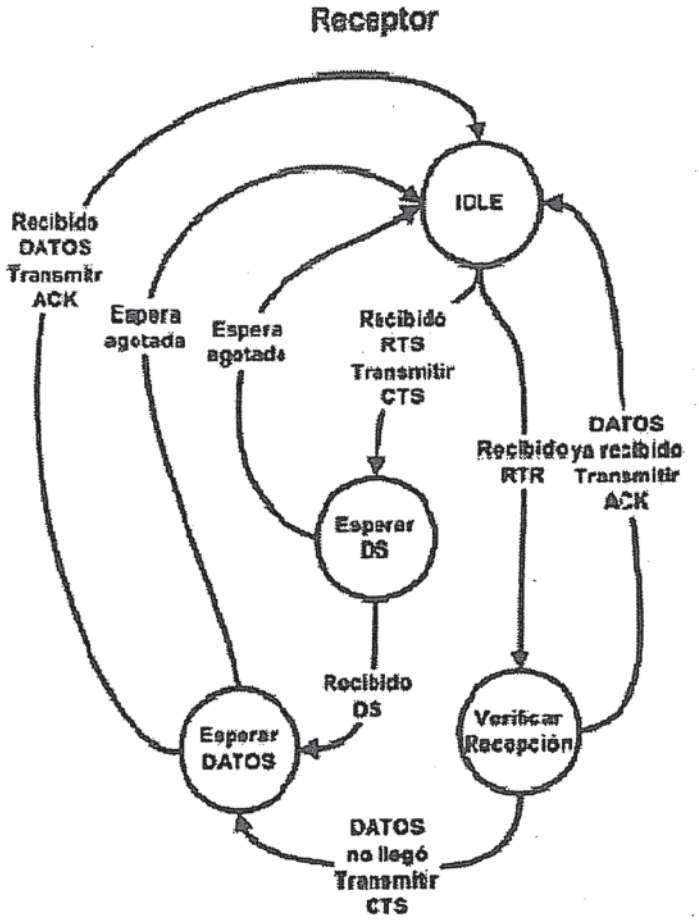


Figura 3. Diagrama de estados del protocolo de recepción de la capa de enlace.

3.2.3 Marco DS (Data Sending)

El objetivo del envío de este marco es el de advertir a los nodos vecinos del transmisor que se está a punto de enviar un marco de datos. Los mismos deben evitar transmitir. El quinto campo de este marco no contiene información útil, pero debe existir debido a que se requiere que el marco DS tenga el mismo tamaño que el marco RTS. Esto es así porque cuando un nodo receptor espera recibir un marco DS, luego de haber enviado un marco CTS, puede recibir un marco RTS si es que el nodo transmisor no escuchó su marco CTS. De esta forma

el receptor acepta como válido el marco RTS y retransmitirá otro marco CTS

Preambulo	Control	Origen	Destino	Cantidad de datos	SIN USO	CRC

3.2.4 Marco de datos

Contiene los datos que se desean transmitir al receptor. La probabilidad de que un marco sea corrupto por ruido mientras está en el canal es proporcional a la cantidad de bits que este posee [2], por lo que fue prioridad tratar de que los marcos tuvieran la menor cantidad de bits posibles. Además, en general la mayoría de las aplicaciones industriales no requieren altas tasas de transferencia de información. Por todo esto se decidió fijar el largo del campo Datos en 256 bytes como máximo.

Preambulo	Control	Origen	Destino	Datos [máx 256 bytes]	CRC

3.2.5 Marco ACK (Acknowledge)

Marco corto utilizado para confirmar la correcta recepción de un marco de datos.

Preambulo	Control	Origen	Destino	CRC

3.3 *Manejo de los marcos repetidos*

La idea de cómo solucionar el problema de los marcos de datos repetidos fue un aporte novedoso al protocolo de la capa de enlace, ya que el protocolo MACAW no ofrece una solución clara a este inconveniente.

MACAW establece que cada vez que un nodo transmisor no reciba un marco ACK en respuesta al previo envío de un marco de datos, enviará un marco RTS al nodo receptor anunciando que retransmitirá el marco de datos. Entonces ¿cómo sabe el nodo receptor si se le está enviando un marco RTS por un marco de datos nuevo o por un marco de datos que se desea retransmitir? Se intuye que MACAW debe usar un número de secuencia por cada marco de datos. Para implementar números de secuencia en los marcos de datos se requiere agregar un campo más a todos los marcos, aumentando la probabilidad de que los marcos sean corruptos por ruido en el canal, y utilizar como mínimo 1 byte de memoria RAM del microcontrolador por cada nodo presente en la red.

Una salida más práctica y sencilla al uso de números de secuencia fue definir al protocolo de la capa de enlace como de ventana corrediza de 1 bit [2]. Para ello se creó un nuevo tipo de marco: el marco RTR, el cual no es parte de MACAW. Además, en cada microcontrolador se implementó un registro que sólo necesita 1 bit por cada nodo presente en la red, mediante el cual cada nodo lleva un historial de los marcos de datos recibidos desde otros nodos. Con esto se logró un ahorro importante de memoria en cada microcontrolador y se evitó colocar dicho bit en los marcos a transmitir. El algoritmo para el manejo de marcos repetidos funciona de la siguiente forma:

- Cada vez que un nodo recibe el primer marco RTS da por sentado que el nodo transmisor está tratando de enviarle un marco de datos nuevo, por lo que pone en 0 el bit correspondiente al nodo transmisor.
- Cuando un nodo recibe el marco de datos anunciado pone en 1 el bit que corresponde al número del nodo transmisor y envía un marco ACK.
- Si el siguiente marco que recibe desde este mismo nodo transmisor es un marco RTR (debido a que el nodo transmisor no recibió su marco ACK), el nodo receptor verifica el bit correspondiente al nodo transmisor. Como este vale 1, se percata de que el nodo transmisor está intentando enviarle un marco de datos que ya recibió, por lo que le envía nuevamente un marco ACK. En el caso de que el nodo receptor no haya recibido un marco de datos, al recibir un marco RTR verificará que el bit que corresponde al nodo transmisor vale 0, por lo que le envía un marco CTS a dicho nodo, comenzando nuevamente todo el proceso.
- Ahora, supongamos que el nodo transmisor envió un marco de datos, nunca recibió un marco ACK y agotó todos los intentos de envío de marcos RTR por los cuales tampoco recibió respuesta. En este caso la capa de enlace informará a la capa superior que el envío no fue exitoso. Si la capa superior exige que se siga insistiendo con el envío de los datos, entonces la capa de enlace deberá comenzar el protocolo enviando un marco RTR al nodo receptor.

4 SUBCAPA DE ACCESO AL MEDIO

Esta subcapa es parte de la capa de enlace. Controla el acceso de cada nodo al canal ya que, como en toda red ad-hoc, el canal de comunicación es compartido. El diseño del protocolo de esta subcapa está basado en [1] y [4]. De [1] se tomó el mecanismo de funcionamiento básico de este protocolo y de [4], el algoritmo para determinar si hubo o no colisiones en la red, el cual tiene sustanciales mejoras comparado con el utilizado en [1].

4.1 *Protocolo de la subcapa de acceso al medio*

El funcionamiento del mismo se divide en cinco secciones para una mejor explicación.

4.1.1 Algoritmo de retroceso

El objetivo de dicho algoritmo es el de evitar colisiones ocasionadas por la transmisión simultánea de marcos, lo cual se logra haciendo dos cosas:

- Cuantificando el congestionamiento que existe en todo momento a través del valor de un número entero al que se llama backoff, el cual es directamente proporcional a la congestión estimada.
- Haciendo que los nodos antes de transmitir compitan por el canal, en un sentido figurado.

En una red inalámbrica ad-hoc, a diferencia de una red cableada como puede ser Ethernet, los nodos que la integran pueden no estar en condiciones de escucharse todos entre sí, ya que el alcance de transmisión y recepción de los mismos es limitado. Debido a esto, no se puede hablar de congestión en la red, sino de congestión en un vecindario dado. La determinación de colisiones de marcos en redes inalámbricas no es una tarea sencilla debido a que las mismas están en función de la posición espacial de los nodos [5]. Por ejemplo, si un intercambio RTS-CTS falla, el nodo transmisor no sabe si esto se debió a que el marco RTS enviado por él colisionó en el nodo receptor o si el marco CTS enviado en respuesta colisionó localmente. Por ende, el algoritmo de retroceso debe ser capaz de distinguir entre colisiones locales y colisiones remotas [6], lo cual se lleva a cabo de la siguiente forma:

- El nodo transmisor lleva la cuenta de la cantidad de marcos RTS enviados a un nodo receptor determinado para el mismo pedido de transmisión de un marco de datos. Pone este valor en el marco RTS, más precisamente el campo Cantidad de RTS transmitidos.
- El nodo receptor lleva la cuenta de la cantidad de marcos RTS recibidos desde un nodo transmisor determinado para una misma petición de envío. Cada vez que recibe un marco RTS compara ambos valores.
- Si dichos valores son iguales a 1, asume que no han habido colisiones locales ni remotas y disminuye su número backoff.
- Si dichos valores son desiguales, asume que han habido colisiones en la recepción del RTS (colisión local) e incrementa su número backoff.
- Si dichos valores son iguales, pero mayores a 1 implica que han habido colisiones en el transmisor (colisión remota), por lo que disminuye su número backoff.

Cuando se dice que un nodo está compitiendo por el canal lo que realmente está haciendo es generando una espera variable antes de transmitir un marco RTS o un marco RTR. Se elige un número entero en forma aleatoria dentro del intervalo [4, backoff]. El extremo superior de dicho intervalo es el número backoff, el cual puede tener un valor mínimo igual a 4 y un valor máximo igual a 255. Una vez elegido un número entero dentro del intervalo se hace una espera proporcional al mismo. Finalizada dicha espera, el nodo enviará el marco.

Debe quedar claro que con todo este mecanismo se producen dos cosas:

- Se evita prácticamente que los nodos transmitan a la vez evitando colisiones. La posibilidad de que dos nodos generen una espera idéntica en el mismo instante existe, pero es remota.
- Si un vecindario de la red experimenta mucho tráfico, podemos asumir que se producirán colisiones, por lo que el número backoff de cada nodo de dicho vecindario aumentará rápidamente para que dichos nodos produzcan en general una espera más larga al competir por el canal y así evitar futuras colisiones.

4.1.2 Algoritmo MILD

La cantidad en que se varía el número backoff está determinada por el algoritmo MILD (Multiplicative Increase Linear Decrease), siendo este una versión más moderada del algoritmo BEB (Binary Exponential Backoff), utilizado por Ethernet para realizar esta tarea. Con MILD se logra un reparto del canal más equitativo que con BEB [3]. El algoritmo MILD establece que cada vez que el nodo receptor disminuye el número backoff lo hace en 1, y cada

vez que incrementa el número backoff, lo multiplica por un factor igual a 2.

4.1.3 Divulgación del número backoff

Algo muy beneficioso para el funcionamiento de la red sería que la determinación del número backoff fuera una empresa colectiva de los nodos que integran el vecindario. Si todos los nodos dentro de un vecindario tuvieran el mismo número de backoff se lograría que la competencia por el canal fuera más equitativa, lo que implicaría que todos los nodos tendrían la misma probabilidad de adquirir el canal. Esto se lleva a cabo haciendo que un nodo receptor divulgue su número backoff en un marco CTS, colocando dicho número en los primeros cinco bits del campo Calidad de backoff & backoff. El marco CTS será tomado por los nodos cercanos al nodo receptor y harán suyo el número backoff del receptor según la calidad que tenga el mismo.

4.1.4 Determinación de la calidad del número backoff

La calidad de número backoff es un valor que indica la experiencia que tiene un nodo receptor en determinar la congestión en el vecindario, es decir, la cantidad de veces que ha recalculado el número backoff. La calidad del número backoff se determina de la siguiente manera:

- Cada vez que el receptor recalcula el número backoff, incrementa en 1 la calidad del número backoff.
- Dicho valor es puesto en los tres últimos bits del campo Calidad de backoff & backoff en un marco CTS y compartido con los nodos que están en su vecindario.
- Cuando los nodos en el vecindario reciben el marco CTS enviado por el nodo receptor, comparan la calidad del número backoff de este último con la calidad de su número backoff.
- Si la calidad del nodo receptor es mayor a la propia, hacen suyo el número backoff del receptor. Si es igual o menor, conservan su número backoff.

Al estar representado por tres bits evidentemente la calidad del número backoff sólo puede tomar valores entre 0 y 7. Si vale 7 y se lo incrementa, pasará a valer 0. De esta manera se evita que un nodo se convierta en el "dueño de la verdad" respecto a la colisión de marcos que se está experimentando en su vecindario; por lo que cada nodo podrá esporádicamente aportar su visión respecto a la congestión existente.

4.1.5 Diferimiento

Para explicar el funcionamiento de este mecanismo, utilizaremos la Fig. 4:

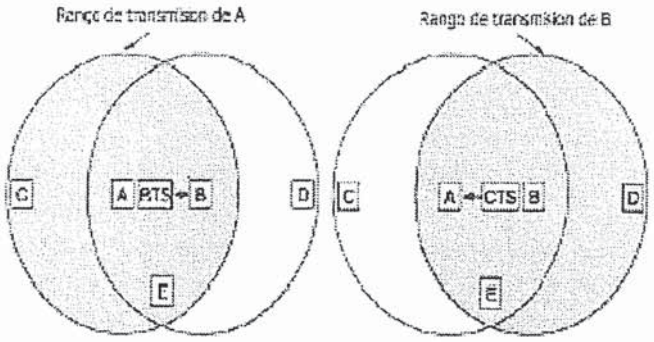


Figura 4. Ejemplo del mecanismo de diferimiento.

- El nodo A envía un marco RTS al nodo B. El nodo C escucha dicho marco, difiere transmitir y deja de escuchar el canal un tiempo equivalente al tiempo promedio que toma un intercambio de marcos RTS-CTS. El nodo C no escucha el marco CTS que envió el nodo B por estar fuera del alcance de este último, por lo cual no sabe si el establecimiento de la comunicación entre los nodos A y B fue exitosa.
- Al recibir un marco DS del nodo A, el nodo C sabe que la comunicación se ha establecido y difiere de transmitir y deja de escuchar el canal un tiempo proporcional a la cantidad de datos que el nodo A intentará transmitirle al nodo B más el tiempo que tardará el nodo B en enviar un marco ACK al nodo A. De esta forma se logra una optimización en el uso del canal, ya que si el nodo C no recibe un marco DS desde el nodo A luego de recibir un marco RTS, sabe que está en condiciones de competir por el canal y de esta forma no pierde tiempo difiriendo su transmisión por un marco de datos que no se enviará.
- El nodo D, el cual no puede escuchar al nodo A, al recibir un marco CTS del nodo B, difiere transmitir y deja de escuchar el canal un tiempo determinado equivalente a la cantidad de datos que el nodo A intentará transmitirle al nodo B más el tiempo que tardará el nodo A en enviar un

marco DS al nodo B, más el tiempo que le lleva al nodo B enviarle un marco de ACK al nodo A.

- Si un nodo durante la competencia por el canal recibe un marco RTS o un marco RTR, cuyo destinatario no es él, esto implica que otro nodo le ha ganado de mano en el uso del canal. El nodo vencido deberá desistir la transmisión de su marco RTS o RTR siguiendo las reglas anteriores. Una vez liberado el canal por el nodo ganador, volverá a competir por el mismo.
- Si un nodo durante la competencia por el canal recibe un marco RTS o un marco RTR cuyo destinatario es él, deberá momentáneamente desistir de transmitir su marco RTS o RTR y atender el pedido de envío que acaba de recibir. Una vez finalizada la recepción volverá a competir por el canal.

5 CAPA FÍSICA

La capa física está formada basicamente por un microcontrolador de 8 bits (ATMEL, T59C51AC2) y una radio transceptora (LINX, modulación FM, 916 Mhz, -96 dBm de sensibilidad, 150 metros de alcance al aire libre), con su respectiva antena.
El paquete de datos a transmitir en forma inalámbrica se recibe por la UART del microcontrolador a 19.2 Kbps. Dicho paquete contiene la dirección del nodo receptor y los datos propiamente dichos. La velocidad de transmisión alcanzada en el aire es de 30 Kbps.
La pila de protocolos está implementada en lenguaje ANSI C, utilizandose 2,4K líneas de código.
En la Fig. 5 se puede ver la fotografía de uno de los cuatro prototipos que fueron armados para verificar el correcto funcionamiento de la red.

6 CONCLUSIONES

Tomando lo mejor de ciertos trabajos de investigación y aportando ideas propias se logró cumplir con el objetivo propuesto: desarrollar e implementar una red inalámbrica ad-hoc orientada a microcontroladores de 8 bits. Mediante pruebas exhaustivas µMACAW ha demostrado ser un protocolo cuyas principales caracteristicas son confiabilidad y justa distribución del canal de comunicación entre los nodos que participan de la red. La velocidad de transmisión obtenida es adecuada para aplicaciones industriables o de control, donde las tasas de transferencia de datos suelen rondar las decenas de kilobits por segundo.
Cabe agregar que es posible utilizar el protocolo de comunciación ModBus, el cual es prácticamente un estándar para comunicar sistemas SCADA, sobre µMACAW logrando que este último sea transparente para aplicaciones que se comunican a través de ModBus.

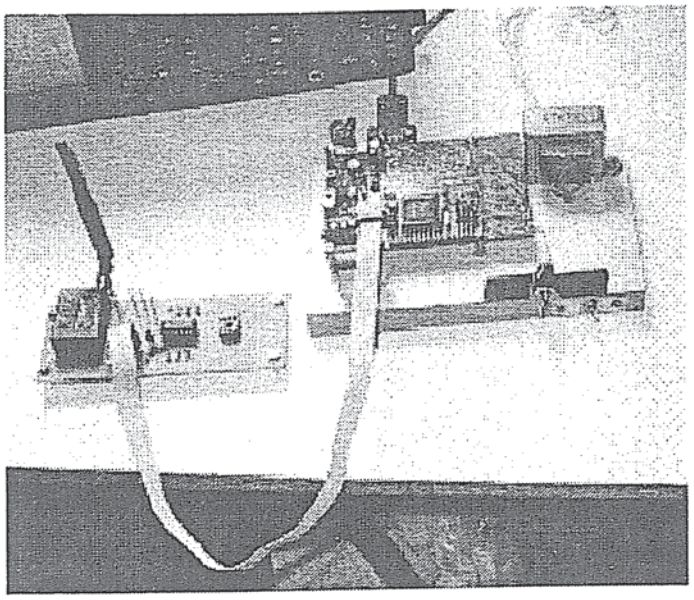


Figura 5. Fotografía de prototipo.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el patrocinio económico de la empresa Ibañez-Soler Ingeniería por habernos provisto de los principales componentes electrónicos para el armado de los prototipos, de sus instrumentos de medición y de sus instalaciones, logrando de esta forma fomentar la investigación y desarrollo en Mendoza. Agradecemos también el apoyo académico incondicional de los profesores del Departamento de Electrónica durante el desarrollo de este trabajo.

REFERENCIAS

[1] V. Bharghavan, A. Demers, S. Shenker, L. Zhang, MACAW: a media access protocol for wireless LAN's, Proceedings of the conference on Communications architectures, protocols and applications, 1994.

[2] A. S. Tanenbaum, Redes de computadoras, Cuarta edición, Editorial Prentice-Hall, 2003.

[3] E. Jung, N. H. Vaidya. Power Control MAC Protocol for Ad Hoc Networks, Wireless Networks. Springer Netherlands, 2005.
[4] V. Bharghavan, Performance Evaluation of Algorithms for Wireless Medium Access. In Proceedings of IEEE International Computer Performance and Dependability Symposium, 1998.
[5] P. Santi. Topology Control in Wireless Ad Hoc and Sensor Networks. John Wiley & Sons Ldt. 2005.
[6] T. Nandagopal, T. Kim, X. Gao, V. Bharghavan, Achieving MAC layer fairness in wireless packet networks. Proceedings of the 6th annual international conference on Mobile computing and networking, 2000.

ABSTRACT

In the last few years, usage of wireless network technologies have notoriously increased. Nowadays it is common to find this type of networks deployed both in outdoor public areas and at big companies, with an ever increasing acceptance among home and SoHo computer networks. In spite of this, implementantion of wireless networks is rare in the industrial applications field. Our work was based both in the development of a link layer protocol adapted to such applications and in its implementation using an 8-bit microcontroller based embedded system, in which computing resources are scarce. We basicaly started adapting media access protocol MACAW to our needs. Improvements in the repeated frames reception algorithm were introduced. Also ideas from another research works were considerate.

Key Words: wireless – networks – ad-hoc – embedded – microcontroller

JEM: Una herramienta de administración para grid computing.

J.C. Monetti, C. García Garino, O. León, S. Salinas & C. Catania
{jmonetti,cgarcia,oleon,ssalinas,ccatania}@itu.uncu.edu.ar
LAPIC, Instituto Tecnológico Universitario, UNCuyo

RESUMEN: en el presente trabajo se propone una herramienta para la administración de *Grid Computing*. La misma satisface los requisitos usuales a la vez que facilita el acceso a la Grid a los usuarios finales. Las políticas globales de la Organización Virtual que estructura la Grid deben conciliar distintos ítems como resultan las políticas de los propietarios de los recursos disponibles con la eficiencia y robustez que la herramienta debe ofrecer. En este sentido se discute un modelo de tres capas que sintetiza los roles y/o funciones de administración general de la Grid, administración de aplicaciones y administración de recursos. La aplicación discutida, escrita en lenguaje JAVA complementa las herramientas de gestión que provee el Globus Toolkit, con el fin de añadir capacidades y funcionalidades de administración y gestión.

Palabras clave: Grid Computing – administración - sistemas distribuidos - clusters

1 INTRODUCCION

El objetivo de *Grid Computing* [1][2] es lograr el acceso a recursos de computación a través de un conjunto de nodos distribuidos geográficamente, sin que importe como se obtienen los recursos o donde se ejecutan las tareas.

Por definición una *grid* carece de una administración centralizada. Luego deben establecerse mecanismos para gestionar de manera cooperativa los recursos disponibles. Para ello se debe contar con herramientas que permitan la gestión colectiva del conjunto de recursos, su control, catalogación, etc.

Por otra parte los propietarios de los recursos de la *grid* administran sus nodos según sus políticas. La administración global de la grid, debe respetar esta decisión a la hora de ofrecer los recursos a los usuarios de la misma.

En general la ejecución de aplicaciones en la Grid surge de comparar los requisitos de las mismas con los recursos disponibles.

En suma, la administración de la Grid debe contemplar y conciliar aspectos de seguridad, intereses de los usuarios, políticas de los propietarios de los recursos, etc. Luego la administración de la *grid* debe tener en cuenta, entre otras consideraciones: *quién administra la ejecución distribuida de la aplicación, en qué parte del sistema se deben colocar las tareas de sincronización y control, cómo se administra la seguridad, cómo se monitorea la ejecución de la aplicación en tiempo real.*

Estos requisitos deben satisfacerse en forma transparente al usuario, especialmente en los casos en los que no se posee formación disciplinar relacionada con entornos distribuidos.

Se debe tener en cuenta que el conjunto de recursos componentes de una *grid* puede ser tan heterogéneo y variado como el conjunto de dispositivos, periféricos, etc. que son susceptibles de ser compartidos a través de una red informática. No obstante, en este trabajo se discute únicamente el uso de recursos de procesamiento que conforma la infraestructura Grid disponible.

Para el conjunto de experimentos llevados a cabo en el laboratorio LAPIC (Instituto Tecnológico Universitario de la UNCuyo), se han utilizado distintas aplicaciones, algunas de carácter numérico[3] , las cuales requieren ser ejecutadas en forma paralela, y otras que con cambios relativamente pequeños se adecuan a la Grid y toman ventaja de la característica inherentemente paralela de algunas simulaciones [4]. En este trabajo se propone una herramienta de gestión de Grid con el fin de cumplir con los requisitos discutidos. En la sección 2 se presenta la infraestructura disponible en LAPIC para llevar a cabo los experimentos computacionales. En la sección 3 se discuten las tareas de administración de una *grid* en sentido genérico, y de acuerdo a las características observadas en el Globus Toolkit [5]. Se analiza especialmente en esta sección la administración de seguridad, para lo cual se describe el esquema de seguridad utilizado por las *grids* más conocidas en el ambiente de la computación distribuida.
La sección 4 hace referencia a la arquitectura de software de la aplicación de gestión propuesta, y las tareas de monitoreo y control en tiempo real que la misma provee.

2 INFRAESTRUCTURA DE LA GRID

2.1 *Infraestructura de Hardware*

La *grid* utilizada para los experimentos está compuesta por diferentes subredes LAN (Ver Fig. 1), visualizadas también como diferentes dominios de administración.
En primer lugar se cuenta con una red de área local con nueve nodos Pentium 4 destinadas a prácticas de alumnos, las cuales son utilizadas como nodos de la *grid* cuando presentan tiempos ociosos de procesamiento. Se cuenta también con un *cluster* dedicado de 12 nodos y su correspondiente nodo *master*. Eventualmente se pueden utilizar estaciones de trabajo dispersas a lo largo del campus, las cuales deben contar con el *software de middleware* correspondiente y tener accesibilidad a través de la red informática para conformar un nodo más de la *grid*.
La Fig. 1 ejemplifica la interacción dada entre los diferentes nodos de la *grid*. Se puede observar una estación coordinadora (glapic) encargada de recibir las solicitudes de los usuarios finales. Esta estación conforma la *puerta de entrada* a la *grid*, resultando la misma adecuada para contener el *software* de gestión de recursos y administración de usuarios.
El nodo *master* del cluster (estación *reloaded:* Ver Fig. 1) a su vez conforma la puerta de entrada al mismo, para lo cual la estación coordinadora le envía las solicitudes de ejecución, encargándose este de remitir las solicitudes a cada una de las 12 estaciones del cluster. La estación coordinadora envía directamente la solicitud de ejecución a los nodos del laboratorio de alumnos.

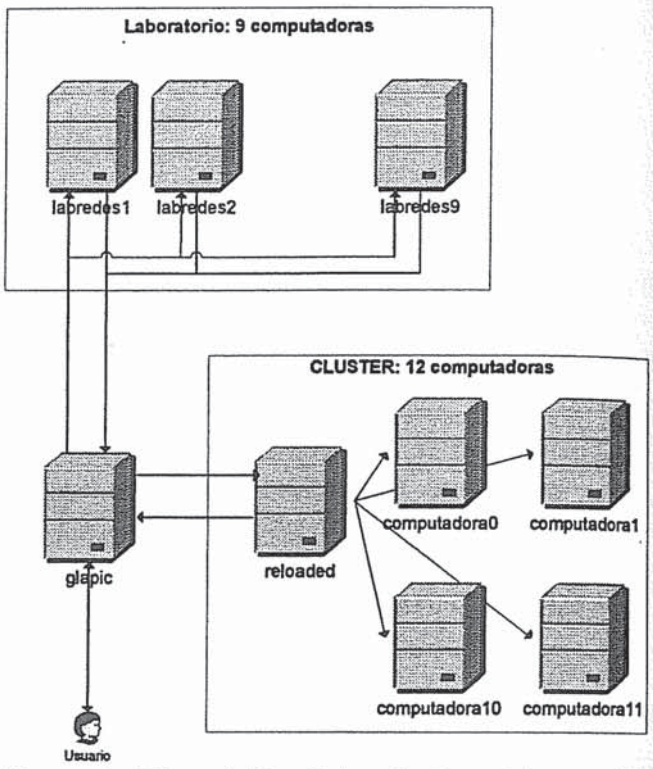


Figura 1. Disposición física de la *grid*: estación coordinadora, laboratorio de alumnos y cluster de computadoras dedicado.

2.2 *Infraestructura de Software*

El software utilizado como *middleware* está compuesto por aplicaciones, servicios y protocolos destinados a satisfacer las necesidades de comunicación, seguridad, transferencia de datos, etc. entre los diferentes nodos de la *grid*. Estos componentes de *software* están provistos por el Globus Toolkit y presentes en cada nodo de la *grid*.
El objetivo del *middleware* es que la aplicación del usuario final sea ejecutada en los nodos adecuados, de acuerdo a las características de los mismos y los requerimientos de la aplicación, de la forma más eficiente y segura posible. En resumen, la tarea del *middleware* es organizar e integrar los recursos

digitales X.509, los cuales en posesión del usuario final permiten autenticar y autorizar al mismo para el uso de recursos de un nodo determinado. Estas credenciales son firmadas digitalmente por el *administrador general* de la *grid*. Para ello se utiliza el *script* de la infraestructura GSI, *grid-ca-sign*, el cual es invocado en el nodo coordinador *glapic* por el usuario del sistema *globus*.

Los recursos disponibles en una *grid* son reconocidos a través de índices distribuidos a lo largo de la misma, entre los cuales se puede citar al MDS [8] provisto también por el Globus Toolkit.

El Globus Toolkit provee también el protocolo GRAM, el cual está encargado tanto de la administración de recursos de procesamiento, como así también cuenta con servicios de monitoreo de tareas que están siendo ejecutadas en forma remota.

Al montar una *grid* con un fin específico, deben ser satisfechas como mínimo las funciones antes descritas, ateniéndose a los estándares que gobiernan el uso de *grids*. Esta situación se torna difícil cuando se intenta la ejecución de aplicaciones seriales clásicas en el ambiente distribuido de una *grid*, ya que la ejecución distribuida generalmente supone una conciliación de los datos obtenidos a lo largo de la *grid*, tareas de sincronización, tareas de particionado de datos, etc.

4 JEM: JAVA EXECUTION MODULE

En este trabajo se propone una herramienta de gestión, denominada *JEM* para la automatización del conjunto de tareas necesarias para obtener los resultados ejecutados en un nodo de la *grid*.

Se dota a la aplicación *JEM* de toda la funcionalidad necesaria para satisfacer requerimientos de mas alto nivel no provistos directamente por el *middleware*, como resultan las tareas de recuperación ante fallos, reacomodamiento del orden de ejecución de tareas, etc.

Esta aplicación ha sido codificada en lenguaje Java y utiliza las librerías CoG-Kit [9].

Las funciones de bajo nivel de *grid* para la ejecución de tareas, transferencia de archivos, monitoreo, etc. están finalmente provista por el *middleware* a través del Globus Toolkit.

4.1 *Funciones de administración de la grid*

Como se ha señalado en la introducción de este trabajo, la administración de la Grid debe conciliar distintos requisitos, que en general dan lugar a diferentes funciones de administración como se ilustra en la Fig. 2.

La administración del conjunto de recursos esta a cargo de la función de *administración general*. A través de la misma se hace uso de metainformación del sistema: estado de los recursos, estado de las tareas que están siendo ejecutadas, información sobre los usuarios que requieren recursos, etc. Esta información es utilizada por la aplicación gestora *JEM*. La función de *administración general* tiende a garantizar la cantidad de ejecuciones requeridas de la aplicación del usuario final en tiempo y forma.

Otra función o rol de interés es la *administración de la aplicación*, generalmente a cargo del usuario de la misma, que a veces es el mismo desarrollador. El usuario y/o el desarrollador tienen a su cargo realizar los ajustes necesarios en la aplicación para garantizar el correcto particionado de datos, posterior conciliación de los diferentes juegos de datos, etc. Se debe considerar que la aplicación, al ser migrada a un entorno distribuido, es potencialmente descompuesta en subprogramas. El usuario puede descomponer la aplicación en forma funcional, donde cada nuevo componente (subprograma) desarrolla una tarea distinta sobre cada nodo. O bien puede ejecutar la misma aplicación en cada nodo sobre un conjunto de datos diferentes.

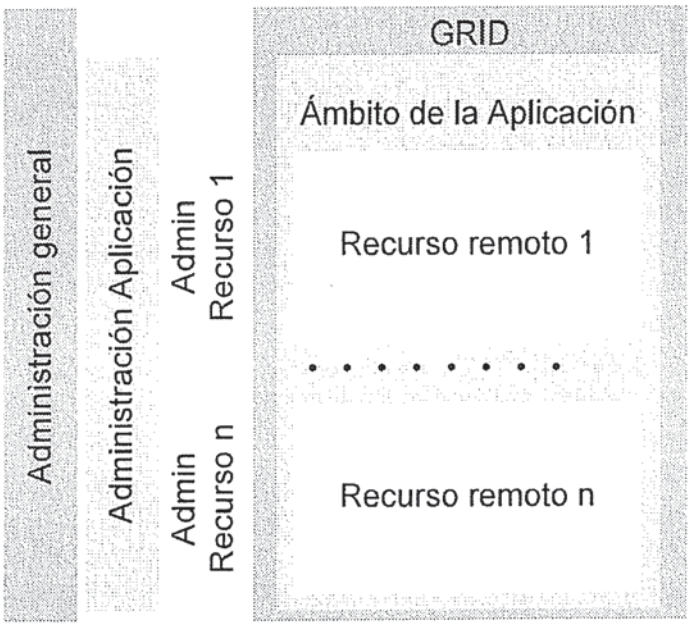


Figura 2. Diferentes niveles de administración sobre la *grid*.

La función de *administración del recurso*, tiene en cuenta las políticas de los propietarios de los nodos remotos (proveedores de recursos para la Grid),

computacionales heterogéneos de la *grid* en un todo coherente.

En cualquiera de los dos casos de ejecución descritos en la sección anterior (cluster o nodos estándar), la estación coordinadora utiliza el protocolo GRAM [6] provisto por el *middleware* para realizar la solicitud de ejecución de la aplicación en el nodo remoto. GRAM proporciona un servicio en este nodo de procesamiento que recibe la solicitud de ejecución del cliente e instancia la aplicación del usuario en dicho nodo.

El cliente GRAM a su vez proporciona un *script* (*globusrun*) el cual utiliza un lenguaje de descripción de recursos (RSL: *Resource Specification Languaje*) para describir la ejecución remota. La descripción contiene como mínimo el nombre del programa ejecutable, teniendo la posibilidad de definir parámetros, variables de ambiente a configurar en destino, directorio de trabajo, etc.

Al diseñar la estructura de software utilizada para materializar la *grid*, se debió decidir entre la utilización del conjunto de aplicaciones provistas por el Globus Toolkit o el desarrollo de rutinas en algún lenguaje flexible que permitiera la integración de todos los componentes de *software* que conforman el sistema. Al intentar automatizar la ejecución de las diferentes instancias de la aplicación, se debe tener en cuenta la transferencia de ficheros ejecutables hacia los nodos remotos (a través del protocolo GridFtp), su posterior ejecución (a través del *script globusrun*) y finalmente la recuperación de los ficheros resultantes de la ejecución.

La utilización de los *scripts* provistos por Globus requiere que los mismos se invoquen desde *bash-scripts* del sistema operativo Linux o algún medio similar, con el objeto de asegurar el paralelismo en las invocaciones. Este método resulta muy conveniente por su simplicidad y transparencia; pero se torna sumamente problemático para desarrollar tareas que requieren mayor complejidad algorítmica. (Por ejemplo, en el caso de una reasignación de tareas ante la falla de un determinado nodo).

Aunque la tecnología *Grid* se encuentra aún en pleno desarrollo, existe una considerable discusión en el ámbito de la ingeniería de software sobre como deben ser estructurados los componentes de software. Como un ingeniero civil construye un puente, los ingenieros de software deben especificar el diseño de la aplicación distribuida en forma integral antes de comenzar el trabajo.

2.3 *Aplicaciones*

Los autores han experimentado con diferentes tipos de aplicaciones. En un trabajo previo [3] se discutió la extensión de un código paralelo al entorno Grid, señalando las características de una aplicación fuertemente acoplada. Recientemente los autores han abordado la *gridificación* de aplicaciones relacionadas en este caso con Inteligencia Artificial.

Se dice que una aplicación esta *gridificada* o es Grid Enabled cuando se adecuan aplicaciones existentes, generalmente en producción, para ser ejecutadas sobre una *grid*. Tales aplicaciones deberían ser modificadas lo menos posible.

De esta manera las aplicaciones Grid Enabled toman ventaja de los recursos distribuidos y de la naturaleza inherentemente paralela de los procesos de interés que permiten la ejecución simultánea e independiente de distintas tareas, en general variando algunos parámetros en cada ejecución o procesando con distintos juegos de datos. Ya que el conjunto de recursos de procesamiento generalmente es menor que la cantidad de ejecuciones necesarias se debe disponer de metodologías de rotación de recursos, tolerancia a fallos, etc, con el objeto de reasignar dinámicamente los recursos en tiempo real.

3 GESTION DE GRID COMPUTING

En [1] se discute en detalle tanto las características estructurales que debe poseer una *grid* (anatomía), como así también el comportamiento de sus componentes (fisiología). Teniendo en cuenta esta división en la representación de una *grid* se analizan las posibles tareas de gestión que la misma debe poseer.

Por un lado se deben proveer funciones de administración de la estructura y sus componentes estáticos (protocolos, recursos de procesamiento, etc). Por otro lado, se debe administrar la forma de explotación de tales recursos a través de políticas de uso, autorización de usuarios, etc.

Con respecto a la seguridad, el Globus Toolkit 4.0, utilizado en los experimentos del laboratorio LAPIC, provee la infraestructura GSI [7] por la cual se asegura tanto una comunicación protegida a través de los diferentes nodos componentes de la *grid*, como así también funciones de autenticación y autorización de usuarios. GSI está basado en la infraestructura PKI (*Public Key Infrastructure*) para asegurar la comunicación a través de una comunicación encriptada, entre otras cosas. En situaciones normales, se hace uso de certificados

computacionales heterogéneos de la *grid* en un todo coherente.
En cualquiera de los dos casos de ejecución descritos en la sección anterior (cluster o nodos estándar), la estación coordinadora utiliza el protocolo GRAM [6] provisto por el *middleware* para realizar la solicitud de ejecución de la aplicación en el nodo remoto. GRAM proporciona un servicio en este nodo de procesamiento que recibe la solicitud de ejecución del cliente e instancia la aplicación del usuario en dicho nodo.
El cliente GRAM a su vez proporciona un *script* (*globusrun*) el cual utiliza un lenguaje de descripción de recursos (RSL: *Resource Specification Languaje*) para describir la ejecución remota. La descripción contiene como mínimo el nombre del programa ejecutable, teniendo la posibilidad de definir parámetros, variables de ambiente a configurar en destino, directorio de trabajo, etc.
Al diseñar la estructura de software utilizada para materializar la *grid*, se debió decidir entre la utilización del conjunto de aplicaciones provistas por el Globus Toolkit o el desarrollo de rutinas en algún lenguaje flexible que permitiera la integración de todos los componentes de *software* que conforman el sistema. Al intentar automatizar la ejecución de las diferentes instancias de la aplicación, se debe tener en cuenta la transferencia de ficheros ejecutables hacia los nodos remotos (a través del protocolo GridFtp), su posterior ejecución (a través del *script globusrun*) y finalmente la recuperación de los ficheros resultantes de la ejecución.
La utilización de los *scripts* provistos por Globus requiere que los mismos se invoquen desde *bash-scripts* del sistema operativo Linux o algún medio similar, con el objeto de asegurar el paralelismo en las invocaciones. Este método resulta muy conveniente por su simplicidad y transparencia; pero se torna sumamente problemático para desarrollar tareas que requieren mayor complejidad algorítmica. (Por ejemplo, en el caso de una reasignación de tareas ante la falla de un determinado nodo).
Aunque la tecnología *Grid* se encuentra aún en pleno desarrollo, existe una considerable discusión en el ámbito de la ingeniería de software sobre como deben ser estructurados los componentes de software. Como un ingeniero civil construye un puente, los ingenieros de software deben especificar el diseño de la aplicación distribuida en forma integral antes de comenzar el trabajo.

2.3 *Aplicaciones*

Los autores han experimentado con diferentes tipos de aplicaciones. En un trabajo previo [3] se discutió la extensión de un código paralelo al entorno Grid, señalando las características de una aplicación fuertemente acoplada. Recientemente los autores han abordado la *gridificación* de aplicaciones relacionadas en este caso con Inteligencia Artificial.
Se dice que una aplicación esta *gridificada* o es Grid Enabled cuando se adecuan aplicaciones existentes, generalmente en producción, para ser ejecutadas sobre una *grid*. Tales aplicaciones deberían ser modificadas lo menos posible.
De esta manera las aplicaciones Grid Enabled toman ventaja de los recursos distribuidos y de la naturaleza inherentemente paralela de los procesos de interés que permiten la ejecución simultánea e independiente de distintas tareas, en general variando algunos parámetros en cada ejecución o procesando con distintos juegos de datos. Ya que el conjunto de recursos de procesamiento generalmente es menor que la cantidad de ejecuciones necesarias se debe disponer de metodologías de rotación de recursos, tolerancia a fallos, etc, con el objeto de reasignar dinámicamente los recursos en tiempo real.

3 GESTION DE GRID COMPUTING

En [1] se discute en detalle tanto las características estructurales que debe poseer una *grid* (anatomía), como así también el comportamiento de sus componentes (fisiología). Teniendo en cuenta esta división en la representación de una *grid* se analizan las posibles tareas de gestión que la misma debe poseer.
Por un lado se deben proveer funciones de administración de la estructura y sus componentes estáticos (protocolos, recursos de procesamiento, etc). Por otro lado, se debe administrar la forma de explotación de tales recursos a través de políticas de uso, autorización de usuarios, etc.
Con respecto a la seguridad, el Globus Toolkit 4.0, utilizado en los experimentos del laboratorio LAPIC, provee la infraestructura GSI [7] por la cual se asegura tanto una comunicación protegida a través de los diferentes nodos componentes de la *grid*, como así también funciones de autenticación y autorización de usuarios. GSI está basado en la infraestructura PKI (*Public Key Infrastructure*) para asegurar la comunicación a través de una comunicación encriptada, entre otras cosas. En situaciones normales, se hace uso de certificados

digitales X.509, los cuales en posesión del usuario final permiten autenticar y autorizar al mismo para el uso de recursos de un nodo determinado. Estas credenciales son firmadas digitalmente por el *administrador general* de la *grid*. Para ello se utiliza el *script* de la infraestructura GSI, *grid-ca-sign*, el cual es invocado en el nodo coordinador *glapic* por el usuario del sistema *globus*.

Los recursos disponibles en una *grid* son reconocidos a través de índices distribuidos a lo largo de la misma, entre los cuales se puede citar al MDS [8] provisto también por el Globus Toolkit.

El Globus Toolkit provee también el protocolo GRAM, el cual está encargado tanto de la administración de recursos de procesamiento, como así también cuenta con servicios de monitoreo de tareas que están siendo ejecutadas en forma remota.

Al montar una *grid* con un fin específico, deben ser satisfechas como mínimo las funciones antes descritas, ateniéndose a los estándares que gobiernan el uso de *grids*. Esta situación se torna difícil cuando se intenta la ejecución de aplicaciones seriales clásicas en el ambiente distribuido de una *grid*, ya que la ejecución distribuida generalmente supone una conciliación de los datos obtenidos a lo largo de la *grid*, tareas de sincronización, tareas de particionado de datos, etc.

4 JEM: JAVA EXECUTION MODULE

En este trabajo se propone una herramienta de gestión, denominada *JEM* para la automatización del conjunto de tareas necesarias para obtener los resultados ejecutados en un nodo de la *grid*.

Se dota a la aplicación *JEM* de toda la funcionalidad necesaria para satisfacer requerimientos de mas alto nivel no provistos directamente por el *middleware*, como resultan las tareas de recuperación ante fallos, reacomodamiento del orden de ejecución de tareas, etc.

Esta aplicación ha sido codificada en lenguaje Java y utiliza las librerías CoG-Kit [9].

Las funciones de bajo nivel de *grid* para la ejecución de tareas, transferencia de archivos, monitoreo, etc. están finalmente provista por el *middleware* a través del Globus Toolkit.

4.1 *Funciones de administración de la grid*

Como se ha señalado en la introducción de este trabajo, la administración de la Grid debe conciliar distintos requisitos, que en general dan lugar a diferentes funciones de administración como se ilustra en la Fig. 2.

La administración del conjunto de recursos esta a cargo de la función de *administración general*. A través de la misma se hace uso de metainformación del sistema: estado de los recursos, estado de las tareas que están siendo ejecutadas, información sobre los usuarios que requieren recursos, etc. Esta información es utilizada por la aplicación gestora *JEM*. La función de *administración general* tiende a garantizar la cantidad de ejecuciones requeridas de la aplicación del usuario final en tiempo y forma.

Otra función o rol de interés es la *administración de la aplicación*, generalmente a cargo del usuario de la misma, que a veces es el mismo desarrollador. El usuario y/o el desarrollador tienen a su cargo realizar los ajustes necesarios en la aplicación para garantizar el correcto particionado de datos, posterior conciliación de los diferentes juegos de datos, etc. Se debe considerar que la aplicación, al ser migrada a un entorno distribuido, es potencialmente descompuesta en subprogramas. El usuario puede descomponer la aplicación en forma funcional, donde cada nuevo componente (subprograma) desarrolla una tarea distinta sobre cada nodo. O bien puede ejecutar la misma aplicación en cada nodo sobre un conjunto de datos diferentes.

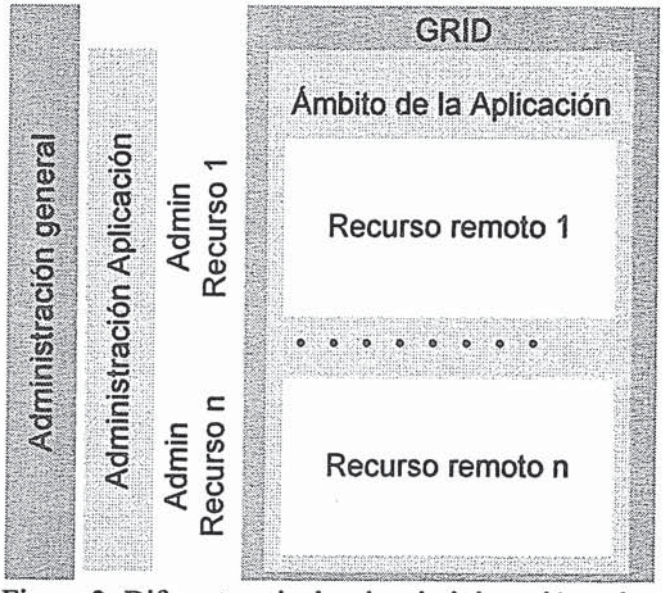


Figura 2. Diferentes niveles de administración sobre la *grid*.

La función de *administración del recurso*, tiene en cuenta las políticas de los propietarios de los nodos remotos (proveedores de recursos para la Grid),

quienes establecen los límites de uso de los componentes. Esta políticas locales se consideran en el diseño y formulación de las políticas de uso globales que establece la *Organización Virtual* que estructura la utilización del sistema distribuido.
Por último, está el usuario final de la aplicación, el cual debe contar con los permisos necesarios y satisfacer las políticas de uso previamente establecidas.
La Fig. 2 muestra los diferentes alcances de administración planteados en el presente trabajo y que definen un modelo de Administración de tres capas. La función de *administración general* del sistema supone una visión global de la *grid*, con lo cual tiene como alcance la administración colectiva de recursos, como por ejemplo, mantener una lista de los mismos y asegurar su permanente actualización. También a través de esta función se define la organización virtual dada por el conjunto de usuarios de la aplicación y el conjunto de recursos destinados a satisfacer la ejecución de la misma.
El alcance de la función de *administración de la aplicación* es acotada, ya que en este caso la aplicación *desconoce* que está siendo ejecutada en un ambiente distribuido. Es responsabilidad de esta, entre otras cosas, dotar al sistema de módulos que permitan la conciliación de los resultados obtenidos en los diferentes nodos de cálculo y su correcta comunicación al usuario final.

4.2 *Administración de Seguridad*

JEM utiliza la credencial digital X.509 obtenida por el usuario final, quien solicita su ejecución, y de acuerdo al procedimiento descrito en la sección 3 para el uso de credenciales digitales. A continuación, esta aplicación puede realizar requerimientos de ejecución en los nodos de la *grid*, transferencia de ficheros entre nodos, etc. De esta forma se concluye que la aplicación *JEM* actúa en nombre del usuario final.
Se utiliza el archivo *grid-mapfile* requerido por GSI, definido en el momento de la conformación de la organización virtual, y en dominio del *administrador del recurso* (nodo de procesamiento) para registrar localmente el conjunto de usuarios finales a los cuales se les brinda el servicio de procesamiento. Este archivo contiene datos de las diferentes credenciales digitales reconocidas dentro de la organización virtual.

4.3 *Acceso a la Grid*

Cada usuario final accede a la infraestructura a través de la estación coordinadora por intermedio del protocolo SSH, a través de una simple autenticación login-password. A continuación el mismo invoca la ejecución de la aplicación *JEM*, encargada de enviar las distintas instancias de trabajo a los diferentes nodos de la *grid*. Como se especificó en la subsección 4.2, el usuario final debe disponer de una credencial digital para poder hacer uso de los recursos de la *grid*, en este caso a través de la invocación de *JEM*.

4.4 *Arquitectura de Sistema*

En función del software de base de la *grid* y la aplicación del usuario final se conforma la arquitectura de software mostrada en la Fig. 3.

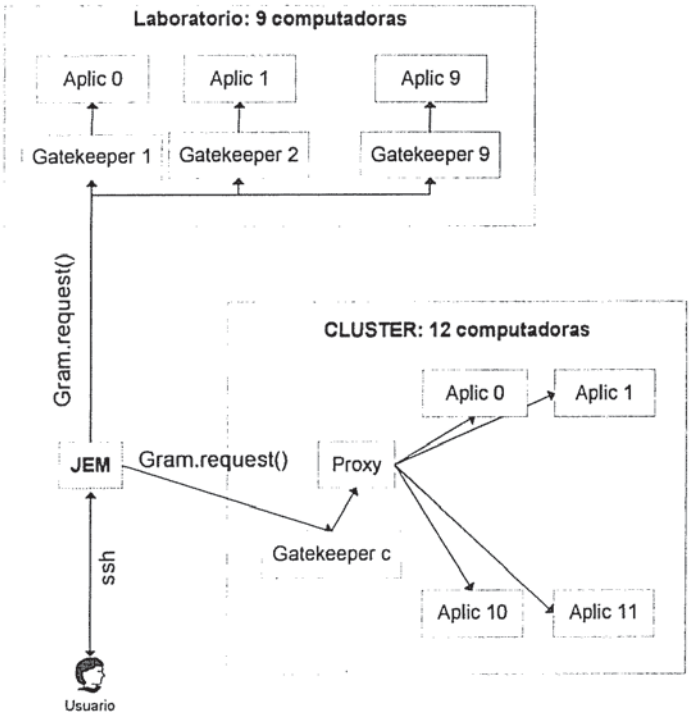


Figura 3. Arquitectura de software: *JEM* como aplicación coordinadora solicitando la ejecución a cada servicio *gatekeeper*.

JEM es una aplicación que administra diferentes subprogramas, dispuestos como hilos de ejecución, cada uno encargado de la interacción con un nodo diferente de la *grid*. Cada hilo de ejecución está plasmado en un objeto de JAVA, el cual permite contener toda la información referida a la ejecución remota.
El lenguaje JAVA permite lanzar cada hilo de ejecución en forma casi simultánea, garantizando así

invocar la ejecución remota en forma paralela. A continuación cada hilo es responsable de la administración de su propia tarea.
También forman parte de este esquema todos aquellos demonios *gatekeeper* residentes en los nodos servidores, y encargados de recepcionar la solicitud de ejecución de acuerdo a lo marcado por el protocolo GRAM.
En el caso del cluster se dispone de una aplicación *Proxy* encargada de interactuar a través de GRAM con la estación coordinadora, y posteriormente derivar los trabajos hacia los nodos componentes del mismo. Esta aplicación representa un complemento de *JEM*, necesaria para crear una interfaz entre GRAM (solicitud por parte del cliente) y el conjunto de nodos del cluster.

4.5 *Administración de recursos*

La información sobre los recursos de computación disponibles en la *grid* es la observada en la Fig. 4: nombre FQDN del recurso, tipo de sistema operativo, programa ejecutable asociado a este, cantidad de CPUs con las que cuenta. Este conjunto de datos es complementado por atributos de estado pertenecientes al hilo de ejecución encargado de administrar dicho recurso.

```
labredes01.labredes.ryt.itu.uncu.edu.ar
        <TIPO>WS</TIPO>
        <EJ>/usr/local/eject1.run</EJ>
        <MANAG>G</MANAG>
        <NCPU>1</NCPU>
labredes05.labredes.ryt.itu.uncu.edu.ar
        <TIPO>WS</TIPO>
        <EJ>/usr/local/eject1.run</EJ>
        <MANAG>G</MANAG>
        <NCPU>1</NCPU>
glapic2.uncu.edu.ar
        <TIPO>WS</TIPO>
        <EJ>/usr/local/eject1.run</EJ>
        <MANAG>C</MANAG>
        <NCPU>1</NCPU>
reloaded.ryt.itu.uncu.edu.ar
        <TIPO>CL</TIPO>
        <EJ>/usr/local/eject2.run</EJ>
        <MANAG>G</MANAG>
        <NCPU>12</NCPU>
```

Figura 4. Fichero *jem.res*. Contiene la descripción de recursos disponibles.

En el presente trabajo se utiliza una lista de recursos suministrada y actualizada a través de la función de *administración general*. Esta lista toma la forma de un simple fichero de texto con formato XML (Ver Fig. 4) denominado *jem.res*. El mismo se encuentra ubicado en la estación coordinadora de la *grid* y permite clasificar y describir cada uno de los recursos computacionales disponibles en un momento dado.
Como se observa en la Fig. 4, cada recurso puede ser descrito en función de su tipo (WS: workstation o CL: cluster).
El par de etiquetas <EJ> y </EJ> permiten asociar al recurso disponible el programa ejecutable.
A través de la sección <MANAG> se informa a *JEM* sobre el manejador de trabajos remoto que ejecutará la aplicación final, para que esta disponga la forma de acceder al mismo.
Por último, es posible detallar la cantidad de CPUs disponibles para cada recurso. Obsérvese que en el caso del cluster se informan 12 CPUs. Este dato permite estimar tiempos de ejecución globales del sistema, definir políticas de rotación de equipos, etc.

4.6 *Ejecución remota de tareas*

Como se mencionó en párrafos anteriores, y al encontrarnos frente a un conjunto de tareas distribuidas, las cuales preferentemente deben ser ejecutadas en forma paralela, es necesario disponer de funciones de sincronización, encolamiento, etc.
En general, se utiliza Globus para la ejecución de tareas en forma conjunta con aplicaciones complementarias encargadas de realizar tareas de encolamiento sobre diferentes recursos.
JEM permite a través de la información dinámica obtenida del fichero *jem.res* determinar la forma de invocación de ejecución de acuerdo a las características del manejador de trabajos en destino (*gatekeeper* en el caso de Globus).
Una de las responsabilidades fundamentales de la administración de tareas es la reasignación de las mismas en caso de fallos. Esta acción se toma a través de la observación del tiempo estimado de ejecución relacionado con cada tarea (atributo TIME_ de cada hilo de ejecución).
De lo anterior se concluye que existe una mayor cantidad de datos que se puede asociar a cada instancia de ejecución, los cuales por una cuestión de simplificación no están ejemplificados en la Fig. 4. Estos datos están relacionados con la metainformación del sistema, los que permiten, entre otras cosas, asegurar la calidad de servicio global.
Al dotar a *JEM* de una mayor "inteligencia", es posible el reacomodamiento de tareas en forma dinámica decidiendo sobre la mejor opción para

ejecutar una tarea, dada la información sobre la misma.
La interacción entre cliente y servidor se ilustra en las Fig. 3 y 5. El proceso cliente, encargado de la solicitud de ejecución remota, está materializado por la invocación del método request() de la clase *Gram* (invocación Gram.request) provista por las librerías CoG-Kit.

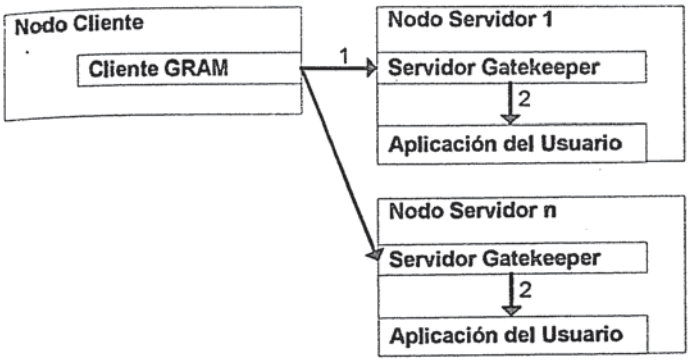


Figura 5. Interacción de nodos a través de GRAM.

En cualquier caso, ya sea a través del conjunto de aplicaciones provistas por Globus Toolkit (*globusrun, globus-url-copy*, etc.) o por una aplicación desarrollada *ad hoc* para la invocación de ejecución, el cliente hace uso de GRAM para acceder al servicio *gatekeeper* (1 en Fig. 5). A continuación, este servicio es encargado de instanciar la aplicación del usuario final en forma local (2 en Fig. 5).

4.7 *Recuperación de resultados*

Una vez finalizada la ejecución de la tarea en el nodo remoto, se realiza la recolección de ficheros resultantes. La aplicación *JEM* tiene la posibilidad de emular el comportamiento del protocolo GridFTP de Globus Toolkit provista para tal fin.
Para poder comenzar la recolección de ficheros es necesario establecer el momento en que la tarea finalizó la ejecución. (esta última función se detalla en la sección 4.8).

4.8 *Monitoreo y tolerancia a fallos*

Existe un hilo de ejecución principal en *JEM* encargado de inspeccionar una variable de estado (atributo STATUS_) perteneciente a cada hilo de ejecución, la cual contiene el estado actual de la tarea (0: ejecutando, 1:terminada). Eventualmente se pueden considerar otros estados de la tarea, pero no son tenidos en cuenta en el presente trabajo.

La inspección permanente de las tareas que están siendo ejecutadas por el administrador remoto es una condición para la reasignación de procesadores en caso de fallos.
Es responsabilidad de cada hilo de ejecución exponer el estado de su tarea en tiempo real (ejecutando, terminada, fallo, etc.).
JEM, a través de la funcionalidad provista por las librerías CoG-Kit, cuenta con métodos destinados a observar eventos remotos, como por ejemplo la finalización de la tarea en el nodo de procesamiento.
El hilo principal de *JEM* cuenta con un lazo que itera hasta que todos hilos reportan la variable STATUS_=1 (cada tarea finalizó en forma satisfactoria).

5 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

El presente trabajo surge a partir de las dificultades encontradas al utilizar las aplicaciones provistas por el Globus Toolkit. Se indagó respecto a las alternativas que provee para la administración de un conjunto de nodos, y la organización virtual que deriva del uso de estos.
El uso de aplicaciones de carácter numérico que requieren ejecución en forma paralela, obliga a automatizar mucha de las funciones primitivas provistas por el *middleware*.
Se complementó esta funcionalidad a través de la programación de una aplicación de más alto nivel, la que conforma una interfaz más transparente para el usuario final. Este último simplemente decide sobre la cantidad de instancias de su aplicación que se ejecutarán sobre la *grid*, delegando a la herramienta de gestión la responsabilidad sobre el tratamiento de fallas en destino, transferencia de resultados obtenidos, etc.
De esta forma se han obtenido tiempos de ejecución menores al quedar automatizadas las tareas de remisión de trabajos.
También se consiguió a través de este trabajo el uso conjunto de recursos heterogéneos: cluster de computadoras y nodos estándar, a través de una única herramienta de gestión.
En el futuro se ampliará el conjunto de dominios de administración, integrando otras redes que incorporarán nuevos conjuntos de nodos a la *grid*.
Por otro lado, se continuará enriqueciendo a *JEM* para el manejo de funciones de *schedulling*. Estas funciones utilizarán mayor cantidad de datos relacionados con cada tarea a ejecutar, lo que permite tomar mejores decisiones en cuanto a la

reasignación de tareas a diferentes nodos, políticas de rotación, etc.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo financiero recibido de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT), mediante el Proyecto PICTR 184.

REFERENCIAS

[1] I. Foster, C. Kesselman & Steven Tuecke: The Anatomy of the Grid: Enabling Scalable Virtual Organizations. International Journal of High Performance Computing Applications, vol 15, Issue 3. 200-222. ISSN: 1094-3420, 2001.

[2] J. Monetti & C. García Garino, Mallas Computacionales. Conceptos y Experiencias. Segundo Congreso Internacional de Informática CIDI-Cuyo. Mendoza. 13 al 15 de abril de 2005.

[3] J. Monetti, C. García Garino & O. Leon, Diseño y programación de aplicaciones para grid computing, 69-76, ENIDI 2006, S. Rivera y J. Nuñez Mc Leod (compiladores), Fac. de Ingeniería, UNCuyo y Fac. Regional Mza, UTN, Mendoza, ISBN 987-575-044-1, 2006.

[4] C. Catania, J. Monetti, C. García Garino, S. Salinas, P. Martinez & O. León. Grid Enabled Tool for Network Traffic Classification. Enviado al 19th International Symposium on Computer Architecture and High Performance Computing (SBAC-PAD), Brasil 2007

[5] Globus Toolkit. http://www.globus.org.

[6] Globus Toolkit. Execution Management en http://www.globus.org/toolkit/docs/4.0/execution/

[7] Globus Toolkit. GSI: Grid Security Infrastructure. http://www.globus.org/Security/

[8] Globus Toolkit. Information Services en http://www.globus.org/toolkit/docs/4.0/info/

[9] G. von Laszewsky, I. Foster, J. Gawor, and P. Lane. A java commodity grid kit. Concurrency and Computation: Practice and Experience., 13(8-9),2001. Disponible en : http://www.globus.org/cog/java.

ABSTRACT

In this work a grid management tool is proposed. This tool satisfies the usual requeriments as well as let an easy access to the grid. The global policies that rule the Virtual Organization that encompass the Grid have to consider different criteria. In this sense resources owners restrictions are a compromise with efficiency and robustness issues expected to be offered by the Grid. In the paper a three layers model, which summarize grid management policies, is discussed. The proposed application, coded in JAVA, enhance the management tools included in the Globus Toolkit, with the aim to add new management capabilities to the Grid.

Key Words: grid computing - grid management - distributed systems - clusters

Sistemas de descubrimiento de servicios y recursos

S. A. Salinas & C. García Garino
ssalinas@itu.uncu.edu.ar & cgarcia@itu.uncu.edu.ar &
LAPIC, Instituto Tecnológico Universitario, UNCuyo

A. Zunino
azunino@exa.unicen.edu.ar
ISISTAN, Facultad de Ciencias Exactas, UNICEN

RESUMEN: Uno de los aspectos más importantes de la administración de sistemas distribuidos débilmente acoplados es el descubrimiento de recursos y servicios. El presente trabajo describe el estado del arte del problema en general y discute en particular los sistemas basados en agentes y en redes P2P. De esta manera se brinda una visión global del descubrimiento de servicios y recursosmediante la discusión de protocolos y sistemas que funcionan en redes LAN, Internet y Grid Computing. En la literatura se observan numerosos sistemas propuestos para el descubrimiento de servicios y recursos. En el trabajo se han relevado los más representativos, en base a aspectos de diseño e implementación que incluyen sistemas y protocolos basados en agentes, arquitecturas existentes de Internet, redes P2P, frameworks de programación y sistemas de Workflow. A partir de los trabajos relevados se contempla proponer un sistema basado en agentes y redes P2P, actualmente en desarrollo en el contexto de la tesis doctoral del primer autor.

Palabras clave: Descubrimiento de Recursos – Sistema de Administración de Recursos – Descubrimiento de Servicios – Condor – Grid Computing

1 INTRODUCCIÓN

La creación de Internet permitió compartir e intercambiar datos a nivel mundial mediante la interconexión de diversos recursos computacionales. Esta interconexión fue posible mediante la creación de una arquitectura de protocolos para la comunicación entre los recursos que forman parte de la red computacional. La evolución de Internet ha permitido compartir información y aplicaciones denominadas servicios. Para poder acceder a información y servicios distribuidos en la red es necesario registrar la ubicación de los mismos y contar con mecanismos de búsqueda para localizarlos y accederlos [1]. La distribución geográfica de los recursos forma parte de una de las limitaciones más importantes a la hora de localizar información y servicios.

Por otra parte la evolución de los entornos de computación distribuida continúa, los entornos de Grid Computing no sólo permiten compartir información y servicios sino también acceder a recursos computacionales diversos. Este nuevo paradigma plantea nuevos requerimientos, estrategias, desarrollos, arquitecturas y protocolos [2]. Las tendencias en el desarrollo de soluciones a este nuevo desafío se fundamentan en gran medida en la arquitectura existente de Internet. Los entornos de Grid Computing dieron origen a una nueva figura en la computación distribuida: las Organizaciones Virtuales. Se define una Organización Virtual como un conjunto de individuos y / o instituciones con reglas definidas respecto al acceso de recursos compartidos. Ejemplos de organizaciones virtuales son: proveedores de servicios de aplicación, proveedores de servicios de almacenamiento de datos, proveedores de procesamiento, consultores que evalúan escenarios financieros mediante simulación, miembros de una industria que diseña un nuevo avión, un equipo de administración de

crisis, miembros de un grupo de físicos colaborando en estudios de fenómenos físicos de alta-energía [2]. Los recursos pertenecientes a una Organización Virtual requieren de un sistema de administración de recursos desde una perspectiva de software. Dicho sistema generalmente está compuesto por: el sistema de scheduling, sistema de monitoreo, sistema de descubrimiento de recursos y servicios y políticas para soportar tolerancia a fallos. El sistema de administración de recursos (SAR) se encarga de gestionar la ejecución de un trabajo en un entorno de Grid Computing, en términos generales involucra: localizar los recursos necesarios para realizar el trabajo, coordinar las instancias de trabajo vs. los recursos disponibles, ejecutar el trabajo en cada nodo computacional, aplicar políticas de tolerancia de fallos y reunir los resultados.

En el presente trabajo se analizan algunos sistemas y protocolos de descubrimientos de servicios utilizados en Internet y algunos sistemas de descubrimiento de recursos y servicios utilizados en entornos de Grid Computing. En la sección 2 se exponen los protocolos utilizados para el descubrimiento de servicios SLP (Service Location Protocol), Jini, UPnP (Universal Plug and Play), y Gnutella. En la sección 3 se presentan los sistemas de descubrimiento de recursos en entornos de Grid Computing y en la sección 4 se exponen algunos ejemplos. En la sección 5 se mencionan las tendencias en el desarrollo de sistemas de descubrimiento. Finalmente en la sección 6 se indican las conclusiones del trabajo.

2 DESCUBRIMIENTO DE SERVICIOS

El descubrimiento de servicios constituye la génesis para el sistema de descubrimiento de recursos en entornos de Grid Computing. El descubrimiento de servicios surge en el escenario que se describe a continuación. Por un lado existe un incremento importante de los servicios disponibles en Internet. Por otra parte los usuarios buscan localizar servicios que cumplan con determinados requerimientos. Así mismo se espera que el uso del servicio no requiera reconfigurar el sistema local donde se invoca el servicio. Bajo estas condiciones surgen los protocolos de descubrimiento de recursos como por ejemplo SLP, Jini, UPnP y Gnutella. Los protocolos y sistemas mencionados son los más representativos dentro de los sistemas de descubrimiento de servicios, se presentan a continuación:

2.1 *Service Location Protocol (SLP)*

SLP [3] es un protocolo desarrollado por IETF e intenta ser un estándar independiente del vendedor. Está diseñado para redes TCP/IP y es escalable a redes de amplio alcance. La arquitectura consiste de tres componentes:

1. Agentes de usuario: lleva a cabo el descubrimiento de recursos en el lado del cliente.
2. Agentes de servicio: publica la localización y características de servicios.
3. Agentes de directorio: reúnen direcciones de servicios e información recibida de los agentes de servicios en sus bases de datos y responden a consultas realizadas por los agentes de usuarios.

Antes de que un agente de usuario o servicio pueda contactar a un agente de directorio debe ser capaz de localizarlo. Hay tres métodos diferentes para descubrirlo: estático, activo y pasivo. Con el descubrimiento estático los agentes obtienen la dirección utilizando DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol). En el caso de descubrimiento activo los agentes envían solicitudes de servicios a direcciones de grupo multicast SLP (239.255.255.253). Un agente de directorio que escucha en esta dirección responderá a la solicitud contactando directamente al agente solicitante. Por último en el descubrimiento pasivo los agentes de directorio envían periódicamente publicaciones multicast de sus servicios. Los agentes de usuario y de servicio registran las direcciones publicadas para poder contactar a los agentes de directorio [4]. Este protocolo se desarrolló utilizando el concepto de agentes, y se propuso originalmente para ser utilizado en Internet. En la sección 4.1, se discute el empleo de agentes en entornos de Grid Computing la utilización de agentes para el descubrimiento de recursos.

2.2 *Jini*

La tecnología Jini [5] desarrollada por Sun Microsystems es una extensión del lenguaje de programación Java para tratar temas tales como conectar dispositivos para formar una red ad hoc denominada comunidad Jini y lograr que estos dispositivos provean servicios a otros dispositivos en la red. Se presume que cada dispositivo cuenta con una máquina virtual de Java. Los dispositivos y aplicaciones se registran en una red Jini utilizando un proceso denominado Descubrimiento y Alistamiento. Para unirse a una red Jini un

dispositivo o aplicación se registra en una tabla de búsqueda en un servidor de búsqueda el cuál contiene una base de datos de todos los servicios de la red. La tabla de búsqueda puede almacenar punteros a servicios o código Java de servicios. Cuando un cliente desea utilizar un servicio el código objeto se copia desde la tabla de búsqueda al cliente y se ejecuta en la máquina virtual del cliente. Las especificaciones de Jini son de código abierto y pueden utilizarse libremente. Para el desarrollo de aplicaciones comerciales basadas en Jini se realiza el pago de una tarifa determinada.

2.3 *Universal Plug and Play (UPnP)*

UPnP es una extensión de la tecnología Plug and Play de Microsoft para el caso en el cual los dispositivos son localizados a través de una red TCP/IP. Se propone su uso en redes pequeñas de oficinas donde se utilizan mecanismos P2P para la autoconfiguración de dispositivos, descubrimiento y control de servicios. No existe un registro central de servicios, en lugar de ello se utiliza el Protocolo de Descubrimiento de Servicios Simple (SSDP) el cual utiliza HTTP sobre UDP [3,6]. Este protocolo es representativo del descubrimiento de dispositivos en redes LAN.

2.4 *Protocolo Gnutella*

El protocolo Gnutella es un protocolo abierto de búsqueda y membresía de grupos descentralizado utilizado principalmente para compartir archivos. Gnutella se construye en la capa de aplicación del modelo OSI y constituye una red virtual con sus propios mecanismos de enrutamiento [7]. Una computadora que participa en una red Gnutella actúa como cliente y servidor, el término para denominar un nodo es servent. Cada nodo es capaz de enviar solicitudes y ver los resultados de búsquedas, aceptar solicitudes de otros servents, verificar si la solicitud se puede responder a partir de la información registrada en el nodo y responder con los correspondientes resultados.

Para unirse al sistema un nodo se conecta con alguno de los nodos conocidos del sistema que se encuentran disponibles en por ej. gnutellahosts.com. Una vez que se contacta algún nodo se envían mensajes para interactuar con otros nodos. Los mensajes pueden enviarse mediante broadcast o simplemente back-propagated. Cada mensaje tiene un identificador generado aleatoriamente. Cada nodo mantiene una pequeña memoria de los mensajes que han sido enrutados por dicho nodo, que se utilizan evitar re-broadcasting y para implementar back-propagation. Los mensajes son marcados con un campo TTL (time-to-live) y un campo para contabilizar los saltos realizados.

Ejemplos de aplicaciones que utilizan el protocolo Gnutella son como BearShare [8] y Limewire [9] .

El protocolo brinda los mecanismos básicos para localizar recursos basado en el envío de mensajes. Esta posibilidad se puede llevar a cabo utilizando redes P2P [10].

3 SISTEMAS DE DESCUBRIMIENTO DE RECURSOS EN GRID COMPUTING

En un entorno de Grid Computing el sistema de descubrimiento de recursos (SDR) es uno de los componentes principales del sistema de administración de recursos. El descubrimiento de recursos involucra localizar recursos computacionales o servicios. En el primer caso se considera la ejecución de una tarea que requiere un número *n* de nodos computacionales de características determinadas por el usuario. En el segundo caso un sistema de workflow requiere la localización y listado, por ej. mediante un portal de los servicios requeridos por el usuario.

A diferencia del descubrimiento de servicios mencionado en la sección 2, en un entorno de Grid Computing se deben tener en cuenta consideraciones adicionales:

Accesibilidad: en un entorno Grid los nodos computacionales se utilizan como medios de procesamiento. El acceso a los nodos requiere definir y aplicar políticas de seguridad, autorización y autenticación.

Disponibilidad: los nodos computacionales tienen asociado un estado que determina su disponibilidad para su utilización.

Políticas de calidad de servicio: localizar recursos puede responder a políticas de calidad de servicio requeridas para la ejecución de un trabajo.

Meta información: los recursos y servicios requieren meta información inherentea los mismos. Esta meta información se utiliza por el sistema de descubrimiento de recursos.

Vigencia de meta información: la información respecto de un recurso puede cambiar desde el momento en que se obtiene y el momento en que es informada a quién la solicita.

Dispersión geográfica: los recursos se encuentran dispersos geográficamente atravesando distintos dominios administrativos.
Dinamismo: los recursos y servicios pueden cambiar de ubicación en la red.
Independencia de plataforma: en un entorno de Grid Computing cada nodo computacional debe brindar capacidad de cómputo independiente de la plataforma del nodo.
Tráfico de red: debido al número de recursos participantes se debe disminuir el tráfico de paquetes en la red.
Tolerancia a fallos: los recursos computacionales pueden fallar sin finalizar su tarea.

4 EJEMPLOS DE SDR EN GRID COMPUTING

En este apartado se discuten los sistemas de descubrimiento de recursos que utilizan, entre otros entonos, Condor, UNICORE, MDS, GeneGrid, LCG/EGEE, Legion y Taverna.

4.1 *Condor*

Condor es un sistema de administración de recursos para trabajos de computación intensiva. Condor adopta un modelo de scheduling centralizado mediante la implementación de un sistema Administrador Central.
Existe un lenguaje de especificación denominado ClassAd que permite la especificación de los recursos y de los trabajos a ejecutar. El funcionamiento obtenido con ClassAd es similar a los avisos clasificados en los diarios. Los recursos libres que pueden aceptar trabajos y los usuarios que buscan recursos disponibles publican sus avisos.
Los recursos en Condor se representan por medio de un Agente propietario del recurso. Cada Agente verifica periódicamente el estado de su recurso y construye un ClassAd del mismo. El ClassAd incluye el estado del recurso y políticas de uso del propietario. Una vez elaborado, el ClassAd se envía al sistema de Administración Central. El sistema de scheduling de Condor puede descubrir nuevos recursos o actualizar el estado de los recursos existentes cuando recibe un ClassAd por parte de cada recurso [2,11].

4.2 *UNICORE*

UNICORE provee un conjunto de componentes de software integrados verticalmente diseñados para soportar definición de trabajos y una submisión segura a recursos de computación distribuidos. La arquitectura incluye el cliente, el gateway, el supervisor de trabajos de red y la interfase de sistema destino. El nodo cliente permite al usuario crear, enviar y controlar trabajos desde cualquier computadora en Internet. Con el fin de validar mediante mecanismos de hardware y software un nodo genérico se conecta a un gateway. Luego se contacta a los servidores UNICORE los cuales administran los trabajos enviados. Los host locales ejecutan tareas mediante un subsistema batch nativo. Las tareas a ejecutarse en sitios remotos se transfieren a otros gateways [11].

4.3 *Monitoring and Discovery System (MDS)*

El sistema de monitoreo y descubrimiento MDS[12] de Globus Toolkit implementa una interfase estándar de Servicios Web para una variedad de herramientas de monitoreo y otras fuentes de información.
MDS4 es un conjunto de protocolos para acceder a información sobre el estado de los recursos basado en el esquema XML. Se basa en protocolos de consulta, suscripción, notificación e interfases definidas por WS Resource Framework [13] y el conjunto WS Notification [14].
Sobre este esquema se implementan proveedores de servicios utilizados para obtener información de recursos específicos. Estos componentes pueden comunicarse con otras herramientas y sistemas tales como Ganglia [15], PBS [16] y el sistema de scheduling de Condor.
MDS4 también provee dos servicios de alto nivel. El servicio de Índice el cuál reúne y publica información sobre recursos. El servicio Trigger que reúne información y ejecuta acciones cuando se presentan ciertas condiciones. Estos servicios se construyen sobre una infraestructura de Framework de agregación común que provee interfaces comunes y mecanismos para trabajar con fuentes de datos.
Por último, existe una interfase de usuario basada en Web denominada WebMDS la cuál presenta, en forma visual información sobre recursos computacionales.

4.4 *GeneGrid*

GeneGrid [17] es un entorno de Grid Computing basado en un proyecto de bioinformática. GeneGrid permite la integración de aplicaciones heterogéneas y conjuntos de datos distribuidos en múltiples dominios administrativos ubicados en distintas partes del mundo. Presenta al científico una simple interfase de usuario. Los usuarios en general desconocen los recursos y servicios disponibles en una Organización Virtual, por esta razón descubrimiento y monitoreo de recursos y servicios existentes es vital para el proyecto GeneGrid.

GeneGrid consiste de cinco componentes que cooperan entre sí, Administrador de Datos, Administrador de Aplicaciones, Administrador de Workflow, Administrador de Recursos y Portal.

El sistema de administración de recursos en GeneGrid es responsable del descubrimiento y monitoreo de servicios. El sistema está compuesto por el servicio de Registración de Recursos y Aplicaciones y adaptadores presentes en cada nodo denominados Monitor de Nodos GeneGrid.

Todos los nodos disponibles para GeneGrid cuentan con un agente encargado de recolectar información relacionada con el nodo al cuál pertenece. Los agentes transmiten la información reunida sin importar la disponibilidad de los recursos o servicios en el nodo.

El Registro de Recursos y Aplicaciones es el servicio central que mediante descubrimiento de servicios publica información de servicios disponibles en GeneGrid. Este componente del sistema registra la información recibida de los agente en los nodos. La información se almacena en una base de datos MySQL y se puede consultar a través de un portal. Clientes como el sistema de Workflow contactan al servicio de Registro de Recursos y Aplicaciones para localizar servicios y recursos.

4.5 *LCG/EGEE*

El proyecto de LHC Computing Project (LCG) [11] es una aplicación Grid de gran escala desarrollada para el proyecto Enabling Grids for E-scienceE (EGEE). El sistema de información del Framework LCG/EGEE está basado en el Sistema de Descubrimiento y Monitoreo MDS2 perteneciente a Globus Toolkit 2. De la misma forma que en MDS2 en LCG se adopta un esquema jerárquico. En cada nodo el Servicio de Información de Recursos Grid (GRIS) [18] responde a consultas sobre recursos de computación y almacenamiento del nodo. Por otra parte el Servicio de Índice de Información Grid (GIIS) [18] se utiliza para reunir y combinar información provista por los sitios donde se ubica el servicio GRIS. El modelo de información LDAP [19] es utilizado para publicar información estática y dinámica generada por los archivos de configuración y otras herramientas. En LCG el índice de información de base de datos Berkeley (BDII) se ubica en la parte superior de la jerarquía GRIS/GIIS. El BDII realiza consultas a los servicios GIIS en una organización virtual y almacena la información provista en una base de datos. Los usuarios y otros servicios Grid realizan consultas a BDII para obtener información sobre el estado de la Grid y buscar los recursos requeridos.

4.6 *Legion*

Legion [20] es un sistema operativo basado en objetos para entornos de Grid Computing. El sistema está compuesto de objetos por ej. HostClass, LegionClass entre otros. Para poder visualizar como funciona el mecanismo de descubrimiento de recursos presentamos brevemente el mecanismo de administración de recursos en Legion [21]. La filosofía del sistema se basa en negociaciones de servicios entre diferentes agentes autónomos, uno actuando en la parte de la aplicación (consumidor) y otro actuando en la parte del recurso o sistema (proveedor). El modelo de administración de recursos está compuesto por los recursos básicos, base de datos de información (Colección), el subsistema de scheduling (Enactor) y un monitor de ejecución. La interacción de los componentes a un alto nivel es la siguiente:

1. Se actualiza la base de datos (colección) con información descriptiva de los recursos.
2. El sistema de scheduling consulta la colección de acuerdo a los recursos disponibles y los requerimientos, luego realiza la asignación de tareas.
3. El resultado de la asignación se envía al Enactor el cuál interactúa con los host y obtiene reservas de los recursos.
4. Luego de obtener las reservas el Enactor confirma al sistema de scheduling la asignación de recursos.
5. Las clases objetos en los host reportan el estado de los trabajos al Enactor el cuál reporta el resultado al sistema de scheduling.

El esquema utilizado para el descubrimiento de recursos involucra objetos implementados en los hosts. Estos objetos cumplen tres grupos de funciones: administración de reservas, administración de procesos y reporte de información. Los métodos de reporte permiten la construcción de colecciones. Las colecciones contienen información descriptiva de los recursos. La base de datos se actualiza mediante consultas a los host para determinar su estado actual. Por otro lado los objetos del host periódicamente actualizan sus atributos que describen su estado actual, arquitectura, sistema operativo, carga de trabajo, memoria disponible. La base de datos es pasiva y contiene información estática accedida por el sistema de scheduling mediante consultas.

4.7 *Taverna*

Taverna [22] es un sistema de workflow utilizado para confeccionar experimentos in silico por grupos de investigación de las ciencias de la vida.
Un workflow es un conjunto de tareas para llevar a cabo un experimento in silico determinado. Cada tarea puede involucrar la ejecución de un servicio disponible en el entorno de Grid Computing. Para confeccionar un workflow los usuarios deben disponer de una lista de servicios disponibles. Taverna utiliza un entorno visual para la confección de workflows y cuenta con una herramienta visual para listar servicios disponibles. Para crear la lista de servicios utiliza una variedad de diferentes mecanismos para el descubrimiento de servicios desde esquemas livianos hasta registros complejos por ej.
Registros públicos: un ejemplo son los registros UDDI utilizados para registrar servicios Web.
GRIMOIRES: es un prototipo enriquecido del servicio de registro UDDI desarrollado por el proyecto MyGrid capaz de almacenar meta información semántica sobre los servicios.
En el caso de entornos de Grid Computing que ejecutan workflows adquiere una importancia relevante un aspecto del descubrimiento de recursos y servicios, la descripción del servicio. En sistemas de workflow como Taverna encontramos diferentes tipos de servicios que resuelven el mismo problema. La población de servicios disponibles es elevada. El usuario científico debe ser capaz de describir los requerimientos del experimento a ejecutar mediante servicios. Para poder seleccionar los servicios requeridos es necesario contar con una descripción adecuada. Compatibilizar la expresividad descriptiva del lenguaje humano con la capacidad de descripción de los recursos informáticos es una tarea sumamente difícil. El campo de la inteligencia artificial denominado Ontología trata de crear un lenguaje común para describir universos de objetos. Aplicar Ontología a las ciencias de la computación provee herramientas y métodos sobre los cuáles se han desarrollado sistemas para describir y descubrir servicios por ej. el sistema FETA del proyecto ^{my}Grid [23] basado en un modelo de dominio complejo construido utilizando OWL-DL.

5 TENDENCIAS EN EL DISEÑO DE SDR

Una de las tendencias en el desarrollo de sistemas de descubrimiento de recursos es la combinación de tecnologías existentes. En este trabajo se mencionan arquitectura y modelos orientados a:
Redes P2P: en el descubrimiento de recursos se utilizan los modelos de redes P2P combinados con otras estrategias. Las ventajas que se obtienen son facilidad de implementación de una estructura jerárquica, disminución del tráfico de red y disminución de los tiempos de respuesta. El modelo de redes P2P puede ser estructurado o desestructurado para un estudio más profundo consultar [11].
Agentes: la construcción de unidades de software sigue el modelo Orientado a Objetos. Una forma de implementación de descubrimiento de recursos mediante agentes. Los agentes se conciben como proveedores de servicios, se organizan en una estructura jerárquica mediante la formación de federaciones. El registro, publicación y localización de servicios se realiza en cada federación y recorriendo la estructura jerárquica [24]. Las ventajas de este esquema es lograr una mayor escalabilidad, disminución de tráfico en la red y disminución del tiempo de respuesta.
Agentes móviles: los agentes móviles están provistos de la capacidad de ejecutar tareas en los nodos computacionales, detener la ejecución de la misma, localizar otro nodo computacional, desplazarse a este nodo y continuar la ejecución de la misma [25]. Este esquema ofrece las ventajas de la utilización de agentes con la capacidad adicional de administrar la tolerancia a fallos de manera eficiente.
Ontología: la definición de una taxonomía de servicios simplifica la creación de sistemas de descubrimiento de recursos [26,27]. Obtener una taxonomía de servicios facilita la descripción,

localización, búsqueda, simplificación, unicidad de los servicios disponibles.

Construcción de servicios Grid sobre servicios Web: gran parte de la arquitectura que soporta los servicios Web brinda las capacidades necesarias para la implementación de servicios Grid [28]. El descubrimiento de servicios se originó en la implementación de servicios Web en Internet. La utilización de la infraestructura de Internet para la implementación de sistemas de descubrimiento ofrece las ventajas de tecnologías experimentadas.

La combinación de estos elementos permite proponer nuevos SDR masivamente distribuidos y de bajo costo computacional que pueden eventualmente utilizarse de manera conjunta con SRD clásicos como MDS basados en arquitecturas clientes / servidor, para lo cual se deben diseñar las interfases correspondientes.

6 CONCLUSIONES

La evolución de los sistemas distribuidos ha generado nuevos requerimientos y nuevos desarrollos en respuesta. Algunos sistemas de descubrimiento combinan, amplían, modifican o se construyen sobre soluciones existentes. Originalmente sólo se intentaba descubrir recursos conectados a la red. Luego el desarrollo de software orientado al servicio requirió del descubrimiento y publicación de los mismos utilizando la arquitectura de Internet. Por último la aparición de Grid Computing ha originado requerimientos nuevos los cuales se ha intentado responder con las técnicas discutidas en este trabajo. Considerar la génesis del descubrimiento de información previa a los entornos de Grid Computing permite combinar protocolos y sistemas ya existentes para responder a los nuevos requerimientos de entornos de computación distribuida. En este caso el empleo conjunto de agentes y redes P2P en el diseño de un Sistema de Descubrimiento de Recursos, resulta factible a partir de la revisión del estado del arte realizada, y su implementación está en curso en el contexto de la tesis doctoral del primer autor.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo financiero recibido de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT), mediante el Proyecto PICTR 184.

REFERENCIAS

[1] L. Srinivasan & J. Treadwell, An Overview of Service-oriented Architecture Web Services and Grid Computing. Disponible en: http://h71028.www7.hp.com/ERC/downloads/SOA-Grid-HP-WhitePaper.pdf.

[2] F. Berman, G. Fox & T. Hey, Grid Computing Making the Global Infrastructure a Reality, ISBN-10: 0470853190 - ISBN-13: 978-0470853191. 2003.

[3] C. Bettstetter & C. Renner, A Comparison of Service Discovery Protocols and Implementation of the Service Location Protocol. In Proceedings EUNICE 2000, Sixth EUNICE Open European Summer School, Twente, Netherlands, September 2000.

[4] W. Zhao & H. Schulzrinne, Enhancing Service Location Protocol for efficiency, scalability and advanced discovery, Journal of Systems and Software. ISSN:0164-1212. 2005.

[5] Jini Architectural Overview Technical White Paper, Sun Microsystem 1999, Disponible en www.sun.com/software/jini/whitepapers/architecture.pdf

[6] UpnP Device Architecture 1.0, UPnP document version 1.0.1. Julio 2006. Disponible en: http://www.upnp.org/resources/documents.asp

[7] M. Ripeanu, I. Foster, & A. Iamnitchi, Mapping the gnutella network: Properties of large-scale peer-to-peer systems and implications for system design, IEEE Internet Computing Journal, 6(1), 2002.

[8] BearShare en http://www.bearshare.com/

[9] Limewire en http://www.limewire.com/

[10] C. R. Dunne, School of Computer Applications, Dublin City University, Dublin 9, Ireland, Using Mobile Agents for Network Resource Discovery in Peer-to-Peer Networks. ISSN:1551-9031. 2001.

[11] P. Trunfio, P. Fragonpoulou, M. Mordacchini, M. Pennanen, K. Popov & Vladimir Vlassov, Peer-to-Peer Models for Resource Discovery on Grids, CoreGRID Technical Report Number TR-0028. 2006.

[12] MDS4: The GT4 Monitoring and Discovery System. Disponible en: http://www.globus.org/toolkit/docs/4.0/info

[13] WS Resource Framework, Disponible en: http://www.globus.org/wsrf/

[14] WS Notification, Disponible en:

http://www.ibm.com/developerworks/library/ws-resource/ws-notification.pdf
[15] Ganglia, Disponible en: http://ganglia.sourceforge.net/
[16] PBS, Disponible en: https://www.grid.wayne.edu/WSU_Campus_Grid/Tutorials/PBS/
[17] S. Wasnik, M. Prentice, N. Kelly, P.V. Jithesh, P. Donachy, T. Harmer, R. Perrot, M. McCurley, M. Townsley, J. Johnston & Shane McKee, Resource Monitoring and Service Discovery in GeneGrid. Proceedings of the UK e-Science All Hands Conference 2005 website:http://www.allhands.org.uk/2005/, ISBN/ISSN: 1-904425-53-4.
[18] GIIS y GRIS, Disponible en: http://www.globus.org/toolkit/docs/4.0/
[19] LDAP, Disponible en: http://www.ldapman.org/articles/intro_to_ldap.html
[20] C. Kandagatla, University of Texas, Austin, Survey and Taxonomy of Grid Resource Management Systems, Available: http://www.cs.utexas.edu/users/browne/cs395f2003/projects/KandagatlaReport.pdf
[21] S. J. Chapin, D. Katramatos, J. Karpovich & A. Grimshaw, Resource Management in Legion, Disponible en: http://legion.virginia.edu/papers/legionrm.pdf
[22] T. Oinn, M. Greenwood, M. Addis, J. Ferris, K. Glover, C. Goble, D. Hull, D. Marvin, P. Li P. Lord, M. Pocock, M. Senger, A. Wipat & C. Wroe, Taverna: Lessons in creating a workflow environment for the life sciences, Concurrency and Computation: Practice & Experience, Special Issue on Scientific Workflows, 2005.
[23] J. Zhao, P. Lord, P. Alper, C. Wroe & C. Goble, The implications of Semantic Web technologies for support of the e-Science process, Disponible en: http://www.allhands.org.uk/2005/proceedings/papers/510.pdf
[24] J. Tang & M. Zhang, An Agent-Based Grid Computing Infrastructure, Lecture Notes in Computer Science, Volumen 3758/2005 DOI: 10.1007/11576235_64.
[25] Y. He, W. Wen, H. Jin & H. Liu, Agent-based Mobile Services Discovery in Grid Computing, The Fifth International Conference on Computer and Information Technology (CIT'05) 0-7695-2432-X/05, 2005.
[26] C. Zhu, Z. Liu, W. Zhang, W. Xiao & J. Huang, An Efficient Descentralized Grid Service Discovery Approach based on Service Ontology, IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence (WI'04) 0-7695-2100-2/04, 2004.
[27] C. Zhu, Z. Liu, W. Zhang, W. Xiao & J. Huang, An Efficient Decentralized Grid Service Discovery Appoach based on Service Ontology, Web Intelligence archive. Proceedings of the 2004 IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence. ISBN:0-7695-2100-2, 2004.
[28] A. Naseer & L. K. Stergioulas, Integrating Grid and Web Services: A Critical Assessment of Methods and Implications to Resource Discovery, 2nd Workshop on Innovations in Web Infrastructure 2005, Edinburgh, UK.

ABSTRACT

Service and resource discovery is one of the most important issues in computer networks. Resource and service discovery is one of the most important issues in loosely couple distributed systems management The state of the art in this field is described in general and systems based on agents and P2P networks are discussed in particular. A resource and service discovery overview is provided as well as the corresponding protocols and systems implemented in LAN, Internet and Grid Computing environments. An important number of systems are described in the literature of the subject. In this paper the most representative are addressed. Among another issues, design and implementation criteria, agent based on protocols, existing Internet architectures, P2P networks, programming frameworks, Workflow systems and so on are considered. From the discussed review a system based on agents and P2P networks is proposed, which is in progress in the context of the first author's PHD thesis.

Key Words: Resource Discovery – Resource Management System – Service Discovery – Condor – Grid Computing

Deformación de la corteza terrestre debido a movimientos de placas tectónicas y otros fenómenos. Primeros resultados obtenidos del Proyecto TAM.

M. H. Blanco

mblanco@cediac.uncu.edu.ar
CONICET - Instituto CEDIAC, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo

P. A. Euillades, L. D. Euillades, J. E. Núñez Mc Leod

peuillades@cediac.uncu.edu.ar, leuillades@cediac.uncu.edu.ar, jmcleod@cediac.uncu.edu.ar
Instituto CEDIAC, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo

B.A.Brooks

bbrooks@soest.hawaii.edu
School of Ocean & Earth Science & Technology University of Hawaii

RESUMEN: La geodesia satelital como disciplina de análisis y estudio de la deformación de la superficie terrestre ha sido la base del Proyecto TAM, cuyo objetivo es instalar y utilizar estaciones GPS para el estudio de los sistemas de fallas que se encuentran en la zona del Gran Mendoza. Los puntos desarrollados en este trabajo se centran principalmente en mostrar la distribución de puntos materializados en función de las fuentes posibles de actividad sísmica, el tipo de monumentación utilizado y el método de procesamiento utilizando un software libre. Por último se exponen los primeros resultados obtenidos a partir del procesamiento de los puntos en las cercanías del sistema de falla Melocotón y Cerro de La Gloria, en un proceso inter-sísmico y las observaciones del evento sísmico ocurrido el 5 de agosto del 2006 con epicentro en las cercanías del anticlinal Barrancas.

Palabras clave: Tectónica – GPS - Mendoza - Deformación Cortical - Proyecto TAM

1 INTRODUCCIÓN

El estudio geodésico de sismos surgió cuando Reid Ref. [1] empleó el desplazamiento de los puntos geodésicos al este y oeste de la falla de San Andrés para postular su teoría del rebote elástico en 1910. Los primeros trabajos se basaron en técnicas de triangulación y trilateración. Con la era satelital, la geodesia satelital se ha convertido en disciplina básica para el análisis y estudio de deformación de la corteza terrestre. Este tipo de estudios juegan un importante papel para entender el ciclo sísmico.

1.1 *Marco tectónico general*

El área de interés, en la cual se enmarca el presente trabajo, está centrada en la ciudad de Mendoza, e incluye importantes núcleos urbanos: Ciudad de Mendoza, Godoy Cruz, Guaymallén, Lujan de Cuyo, Maipú, Palmira, San Martín, Junín, Rivadavia y Las Heras. La región se localiza dentro del marco tectónico activo resultante de un contacto tipo convergente entre la placa de Nazca y la Sudamericana, que se manifiesta a lo largo de la fosa Peruano-Chilena. En este contacto, la placa de Nazca se desplaza hacia el este subduciendo a la Sudamericana.

La velocidad entre placas puede ser medida a través de técnicas de GPS(Global Positioning System). De ahí que el proyecto CAP Ref. [2] (Central Andes Project), que abarca Chile y Argentina, establecido inicialmente en 1993, se centró en el estudio de los ciclos de deformación provocados por terremotos a lo largo de la placa de Nazca en Sudamérica (sur de 18° S), a partir de la observación de procesos de deformación de la cordillera de Los Andes. El análisis de 16 estaciones continuas ha permitido determinar, en escala gruesa, el campo de velocidades para casi toda la Argentina y Chile, que incluye el sistema orogénico Andino activo y la placa Sudamericana estable. La velocidad horizontal, de 8 estaciones localizadas dentro de la placa Sudamericana es de 1.3 mm/año y de las estaciones localizadas sobre la placa de Nazca de 63.2 mm/año Ref. [3]. Las estaciones dentro de la placa Sudamericana sirven como marco de referencia para el resto de las mediciones de otros proyectos en la zona.

A nivel regional se han realizado estudios para la medición y modelado de campos de velocidad de deformación de la corteza. A través del proyecto MATE (Multidisciplinary Active Tectonics Experiment), el cual tiene por objetivo entender mejor los procesos de deformación intra-continental asociados a orogénesis Andina. La integración de una tasa de deformación geológica y geodésica en la precordillera Argentina y la zona de empuje. Teniendo como puntos de referencia el cratón fijo, la red MATE ha obtenido desplazamientos superficiales con tendencia hacia el este (vector medio 082°) a una velocidad entre 15 a 3 mm/año +/- 3 a 5 mm/año. Ref. [2]. En una escala local, se observa que el Gran Mendoza se encuentra sobre un complejo sistemas de pliegues y fallas, que han dado origen a numerosos sismos de gran magnitud. Claro ejemplo es el sismo de 1985 con una magnitud de 5.7 Ms, atribuido a la actividad de la falla del anticlinal Barrancas Ref. [4].

1.2 *Principales fuentes posibles de actividad sísmica superficial.*

Las fuentes posibles de actividad sísmica están asociadas a fallas geológicas activas, es decir aquellas que tienen mayor potencial de generar sismos. Varios estudios de superficie y de subsuelo han permitido detectar una serie de fallas. En la Tabla 1 se muestran las posibles fuentes de eventos sísmicos localizadas en la región. En base a estudios geológicos y sismológicos se obtuvieron los valores de magnitud máxima estimada e intervalos de recurrencia de las potenciales fuentes sísmicas, columna 4 y 5 respectivamente. La columna 6 muestra una estimación de la tasa de movimientos de estas fallas expresado en milímetros por año. En la Figura 1 se muestra la distribución de dichas fallas sobre una imagen satelital.

Tabla 1. Características de las Fuentes Sísmicas potenciales en el Área del Gran Mendoza Ref. [4] y [5]

N°	Falla	Tipo	M.(Ms)	Rec. (año)	T. mov.
1	Cerro la Cal	Inversa?	7.0	1300	0.2-4
2	Cerro de La Gloria	Inversa	6.5	10000	-
3	Barrancas	Inversa y anticlinal	7.0	600	1-5
4	Melocotón	Inversa	7.0	4000	0.2-1

En este escenario, se lleva a cabo el Proyecto TAM (Tectónica Activa de Mendoza), el cual tiene por objetivo:1) Obtener vectores de deformación actuales; 2) Relacionar estos vectores con el comportamiento geodinámico del suelo y subsuelo de Mendoza.

La importancia de la investigación de fallas activas se basa en dos razones, la primera, son fuentes potenciales de sismos y la segunda, son fuentes potenciales de ruptura superficial, con los problemas socio-económico que conllevan dichos eventos no deseados.

2 ÁREA DE INTERÉS Y ESTACIONES GPS

2.1 *Área de interés*

El área de estudio está centrada en la cuidad de Mendoza , que incluye varios núcleos poblacionales: Mendoza, Godoy Cruz, Guaymallén, Luján de Cuyo, Maipú, Palmira, San Martín, Junín, Rivadavia y Las

Heras. Los límites son: al norte el Cerro La Cal, al oeste el Dique Potrerillos, al sur el anticlinal Barrancas y al este la Ciudad de San Martín.

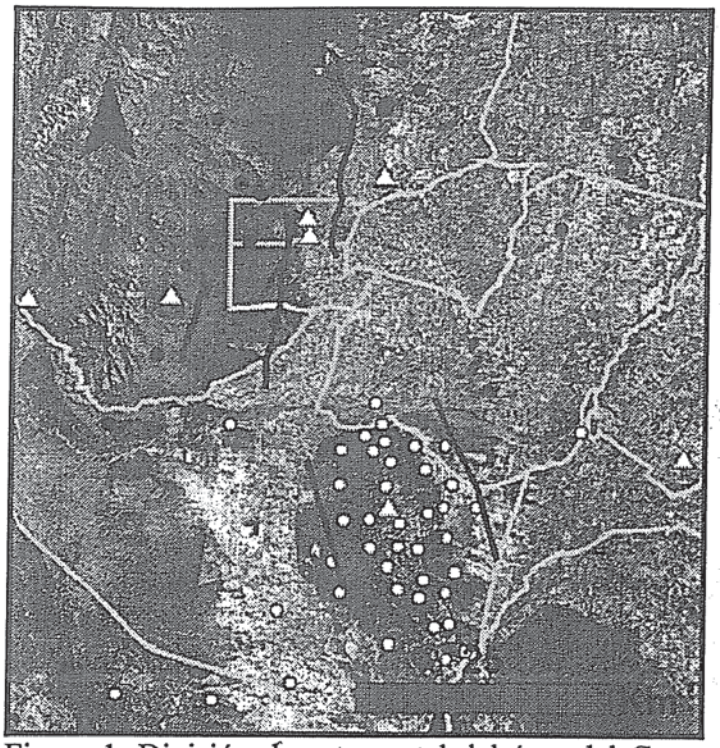


Figura 1. División departamental del área del Gran Mendoza, con las principales fuentes posibles de actividad sísmica, sobre una imagen Landsat 7 ETM+ del área de estudio. Las EP representadas con triángulos de color blanco, las ES del proyecto TAM en círculos de color negro y ES de proyectos internacionales círculos de color blanco.

2.2 *Estaciones GPS*

Dentro de AOI se encuentran distribuidas una serie de Estaciones Permanentes (EP) GPS y Estaciones Survey (ES) GPS (Fig. 1) en función de las fuentes posibles de actividad sísmica analizadas en la región.

Las EP mz01 (Yacimiento Barrancas), unc1 (Universidad Nacional de Cuyo) y mzac (CRICyT), comenzaron su funcionamiento antes del 2005. Las restantes empezaron a operar en el transcurso del proyecto TAM, como se muestra en la Figura 2. La última estación puesta en marcha es mz05 (Potrerillos), la cual comenzó a operar en marzo de 2007.

La Figura 2 muestran los puntos (para el caso de un EP prácticamente se visualiza una línea continua) representan los archivos rinex (Receiver Independent Exchange) conteniendo datos de un día de medición (24 horas).

Las estaciones ES suman más de 50, de las cuales 16 pertenecen al proyecto TAM. Las restantes a proyectos internacionales tales como: MATE, BODEGA (Barrancas Oilfield Dense GPS Array) y CAP.

2.3 *Monumentación de las estaciones GPS*

La materialización del punto juega un papel fundamental en el proyecto, ya que si se produce un movimiento del monumento tiene que ser debido a movimientos regionales (relacionados con la tectónica) y no a movimientos propios del monumento. El soporte de la antena receptora de señal GPS tiene que asegurar una estabilidad para minimizar las fuentes de error.

Las monumentaciones utilizadas hasta el momento para las ES se dividen en tres tipos dependiendo del tipo de suelo y del entorno: 1)Bevis Pin: Se utiliza en sitios donde existen afloramientos rocosos. El punto físico es un cilindro de 5/8" de diámetro y 15 cm de largo de acero inoxidable. En la cara superior se encuentra una muesca donde se asienta el mástil sobre el cual se instala la antena receptora al momento de realizar la medición en el sitio Ref. [6]; 2)Fisher: En sitios con afloramiento rocoso y ausencia de vegetación se utiliza este sistema. El mismo consiste en un taco metálico de 3/4" al cual se acopla un adaptador para la instalación de la antena, sin utilizar mástil y 3)Moo: Se utiliza en sitios donde no hay afloramientos rocosos. Consiste en un trípode enterrado construido con varillas de acero especial. Las varillas son clavadas con la ayuda de un martillo a explosión y luego soldadas a un tornillo. En el tornillo se acopla el mástil sobre el cual se instala la antena receptora al momento de realizar la medición. La longitud y el diámetro de las varillas dependen del tipo de terreno.

Las monumentaciones de EP, son más complejas y requieren de otro tipo de infraestructura. En la actualidad hay dos tipos de monumento: 1)Sobre afloramiento rocoso, utilizando tacos metálicos para anclar un soporte donde se enrosca la antena GPS (mz04); y 2)Suelo sin afloramientos rocosos, donde se utiliza una estructura reticulada en forma de trípode piramidal. Esta última se fija al terreno mediante tres patas de 3 o 4 metros de largo clavadas utilizando un martillo a explosión (similar al tipo Moo para ES). En la Figura 3 se muestra un fotografía de este tipo de monumentación.

2.4 *Datos GPS*

La recopilación de los datos comenzó a partir del 2002 hasta la fecha (aproximadamente 5.4 años). Del total de ES y EP, se utilizaron solamente un subconjunto de estaciones en el procesamiento. No se tuvieron en cuenta las estaciones con menos de dos ocupaciones. Tampoco se tuvieron en cuenta las estaciones con menos de un año de medición.
La primer ocupación de las ES del Proyecto TAM se realizó por un lapso de 72 hs consecutivas y las restantes ocupaciones por un lapso de por lo menos 48 hs.

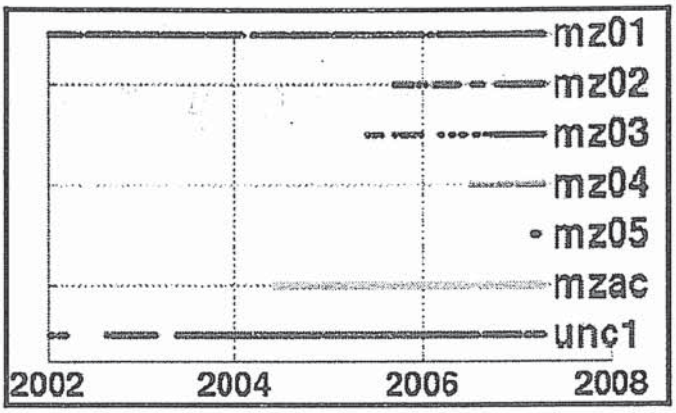


Figura 2. Distribución de datos de las estaciones EP desde el 2002 hasta la actualidad. En las ordenadas los nombres de las estaciones y abscisa las fechas expresadas en años.

3 METODOLOGÍA

El método utilizado consiste en la observación de por lo menos dos puntos físicos con receptores GPS tipo geodésicos (doble frecuencia) en forma simultánea y luego realizar el post-procesamiento. Esto se conoce como método diferencial. En geodesia, la distancia entre dos puntos se denomina Línea de Base . Para el análisis de la deformación superficial se deben considerar las coordenadas obtenidas de dos o mas épocas sucesivas(mediciones diarias para el caso de EP o mediciones esporádicas para el caso de ES), con la condición de que sean calculadas con el mismo sistema de referencia. La diferencia entre la línea de base de la primer medición con respecto a las sucesivas se obtienen los vectores de desplazamiento. La Figura 4 muestra un ejemplo de las mediciones geodésicas al observar

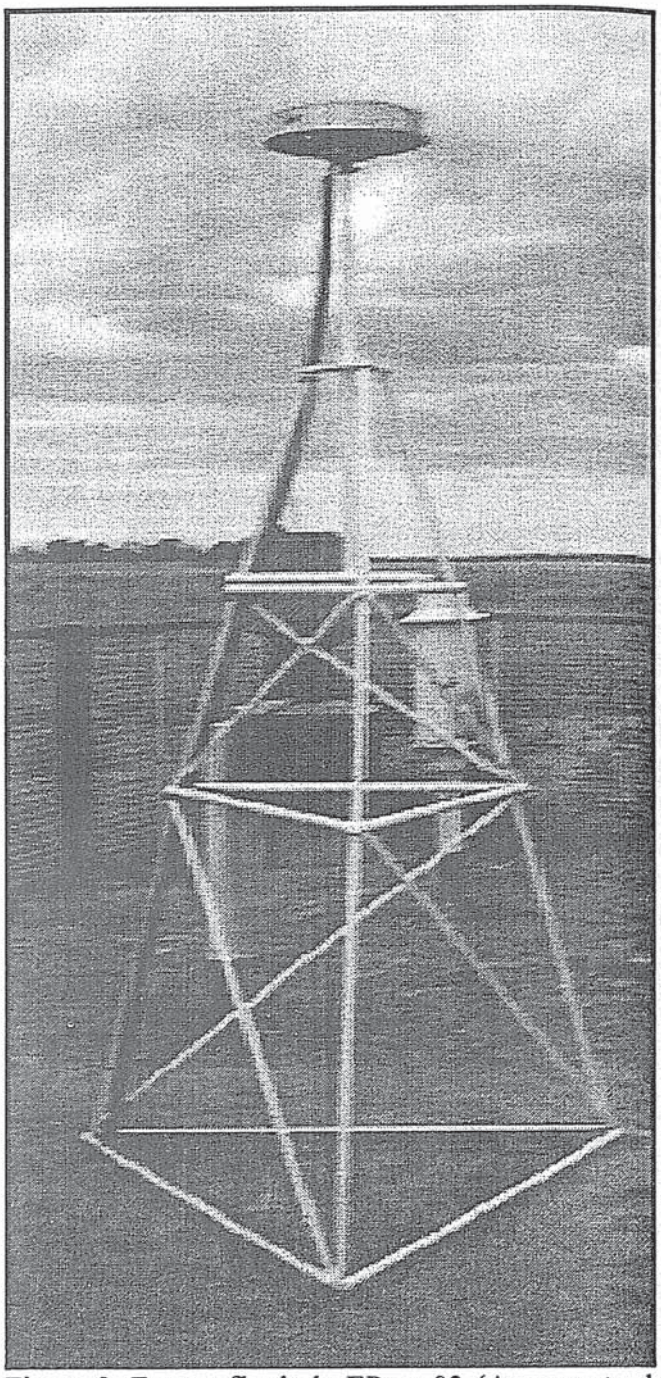


Figura 3. Fotografía de la EP mz03 (Aeropuerto de Mendoza). En la parte superior de la estructura se localiza la antena GPS.

y cuantificar los desplazamientos relativos en dos puntos (punto 3 y 4), respecto a otros dos (punto 1 y 2), mediante el establecimiento de una red de cuatro puntos, ubicados a ambos lados de una falla de rumbo. Conociendo el desplazamiento (del punto 3 al 3' y 4 al 4') y el tiempo en el cual ocurrió dicho movimiento, se puede calcular una velocidad promedio.
El software que se utilizó para el procesamiento de los datos GPS es el PAGE NT, desarrollado por

NGS (National Geodetic Survey), y que se distribuye de manera gratuita Ref. [7].
Se trabajó el software en línea de comando bajo entorno linux, utilizando una serie de scripts desarrollados, esto permitió aumentar notablemente la velocidad de procesamiento y optimizar recursos.

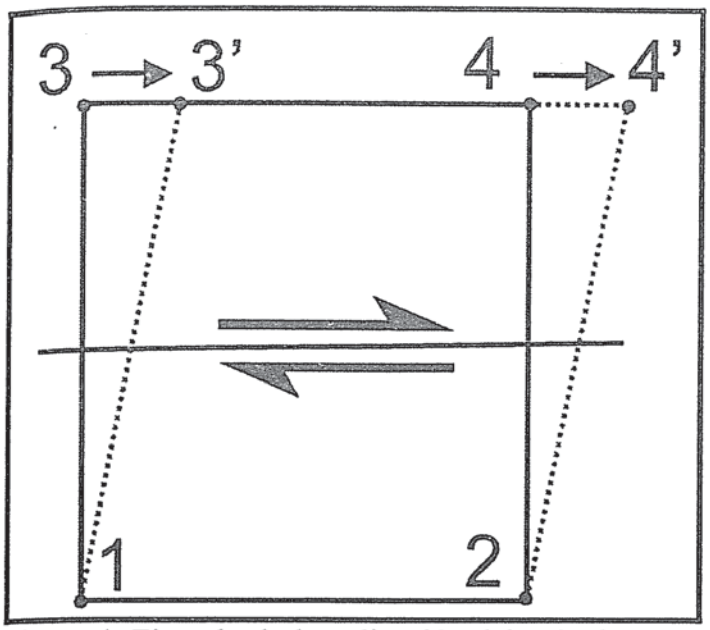


Figura 4. Ejemplo de la aplicación del método para la determinación de movimientos relativos en una falla de rumbo.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 *Resultados*

Dada la restricción de utilizar las estaciones con más de dos ocupaciones, se obtuvieron vectores de desplazamiento de algunas de ellas. En este contexto se muestran los vectores de desplazamiento luego de realizar un ajuste por mínimos cuadrados obtenidos en las cercanías de la falla del Melocotón y Cerro de La Gloria. En este procesamiento intervienen una EP y dos ES ubicada al Oeste (mz04, z006 y z020) de la falla. Al Este se encuentran dos EP (mzac y uncl). Entre las dos fallas se encuentra la ES z016 con 3 ocupaciones de más de 48 hs cada una, en un lapso de 3 años.
En este procesamiento se tomo un marco de referencia local, es decir, se consideró la EP mzac como fija (velocidad cero en las tres dimensiones), por lo tanto los vectores de velocidad mostrados en la Figura 5 son respecto a esta estación.

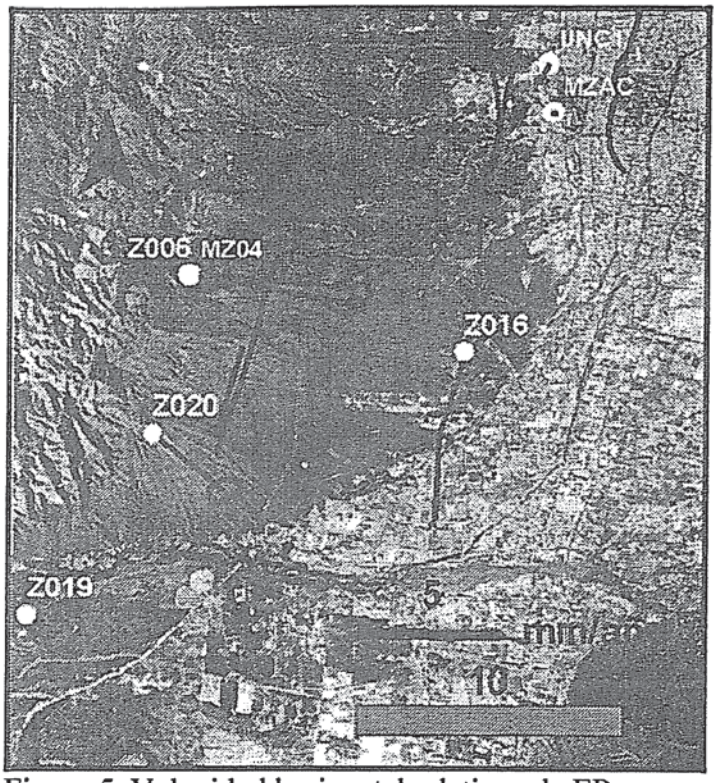


Figura 5. Velocidad horizontal relativa a la EP mzac. La localización de las estaciones en círculos de color blanco, sus vectores de velocidad en líneas negras con su correspondiente intervalo de confianza del 95% en elipse negra.

También se analizó el evento sísmico, en etapa co-sísmica, ocurrido el 5 de agosto de 2006. La información suministrada por el Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES) Ref. [8] fue de un sismo de 5.7 grados de magnitud (escala de Richter), a una profundidad de 33km. El epicentro se localizó al oeste del yacimiento Barrancas, a 33.23° S de latitud y 68.95° W de longitud. En la Figura 6 se muestra la localización aproximada del epicentro.
Se procesaron todas las EP del AOI, obteniendo como resultados las variaciones de las línea de base que se muestran en las Figuras 7 y 8. Se utilizó EP mz01 como referencia y se detectó una señal del evento sísmico en el vector mz01-mzac (vector 1) y mz01-mz04 (vector 2). Ambos vectores tienen respuestas similares. La señal es visible en el eje E (dirección este – oeste), y no hay señal clara en el resto de los ejes (N: dirección norte- sur; U: dirección vertical).

4.2 *Discusión*

Los resultados del procesamiento en etapa Inter.-sísmica muestra un patrón del acortamiento de la línea de base entre las estaciones ubicadas

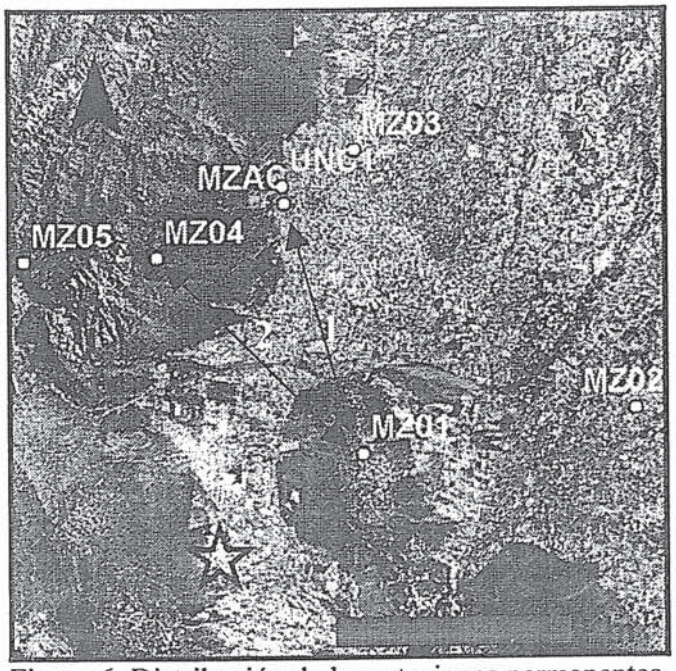


Figura 6. Distribución de las estaciones permanentes en AOI. La estrella, muestra la localización del epicentro del sismo analizado. El vector 1, representa la línea de base entre las estaciones mz01-mzac, el vector 2 representa la línea de base entre las estaciones mz01-mz04.

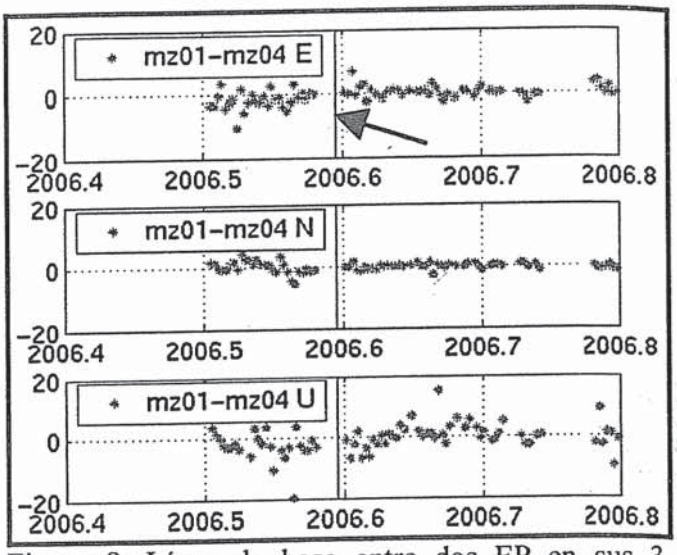


Figura 8. Línea de base entre dos EP en sus 3 componentes, en las ordenadas las diferencia de la línea de base entre las estaciones expresada en milímetros y las abscisas tiempo expresado en años. El gráfico mz01-mz04 E, muestra un escalón, esto se traduce en una variación de la longitud de la línea de base entre estaciones (vector 2).La flecha indica el día del evento sísmico analizado

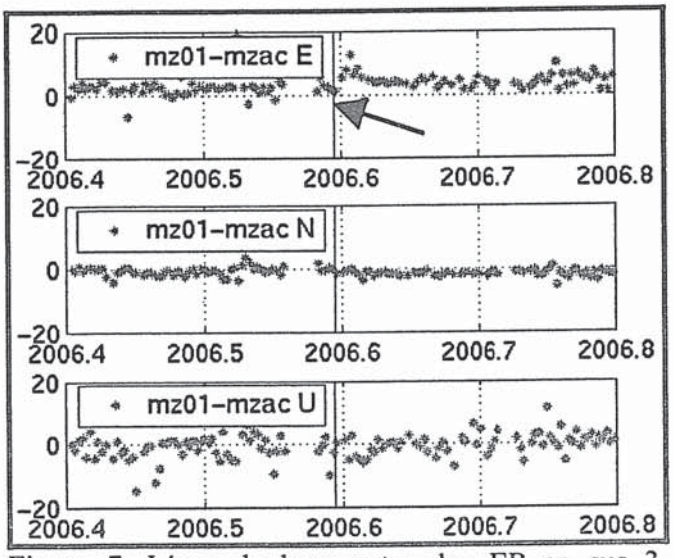


Figura 7. Línea de base entre dos EP en sus 3 componentes, en las ordenadas las diferencia de la línea de base entre las estaciones expresada en milímetros y las abscisas tiempo expresado en años. El gráfico mz01-mzac E, muestra un escalón, esto se traduce en una variación de la longitud de la línea de base entre estaciones (vector 1). La flecha indica el día del evento sísmico analizado.

al oeste de las fallas con respecto a las que se ubican al este.

También se puede observar que estos dos sistema de fallas, posiblemente no este afectando a la ES z019 ubicada al sur del río Mendoza, en la cual el vector de velocidad es prácticamente nulo con respecto a la estación de referencia.

A pesar de que la ES z006, tiene menor cantidad de datos (elipse de error mayor), la magnitud y dirección es prácticamente la misma con respecto a la EP mz04. Esto significa, que los resultados obtenido por las ES, se pueden considerar confiables, a pesar de tener mayor error.

El vector de velocidad que se observa en la ES z016, muestra un movimiento diferencial a ambos lado de las fallas. La EP y ES (mz04 y z006) muestran un desplazamiento de 6 mm/año hacia el este. La ES z016 un desplazamiento de 3 mm/año en el mismo sentido. Esto hace suponer que los sistemas están acumulando un acortamiento en la etapa inter-sísmica.

Los resultados del evento sísmico ocurrido el 5 de agosto de 2006 muestran una clara señal en el procesamiento de los datos de las EP. La información suministrada por el INPRES localizó el epicentro al oeste del anticlinal Barrancas, en este lugar se encuentra la falla Barrancas con una

extensión de 9 km con rumbo Norte-Sur Ref. [4]. La señal se muestra en la Figura 7 y 8 como un salto, en la componente E (perpendicular al rumbo de la falla). Este salto significa una variación de la longitud de la línea de base entre estaciones. En las componentes N y U no se observa una señal clara relacionada al evento. Este movimiento se puede atribuir a una relajación o liberación de energía de dicha falla.

5 CONCLUSIÓN

En este trabajo se muestran los primeros resultados obtenidos en el procesamiento del proyecto TAM, estudiando el comportamiento actual de los sistemas de fallas en el área del Gran Mendoza. El trabajo se realizó utilizando un subconjunto de puntos, no obstante esto, los procesamientos realizados han permitido identificar al menos dos sistema de fallas con patrón de cambio, posiblemente relacionado a una acumulación de deformación en la etapa Inter.-sísmica.

Se pudo identificar con las EP un evento sísmico ocurrido en el área de estudio, analizando las líneas de base entre estaciones.

Se puede concluir, que con las observaciones obtenidas en este periodo de tiempo se pudieron detectar y analizar dos procesos relacionados con actividad sísmica en la región.

El trabajo a futuro a obtener los resultados del procesamiento utilizando la totalidad de las ES distribuidas en el Gran Mendoza, como así también un análisis más profundo de los eventos sísmicos.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a CONICET y Fundación YPF por la Beca Doctoral. Al PGF (Pacific GPS Facility) de la Universidad de Hawaii por el apoyo y conocimientos transmitidos. Al personal del Instituto CEDIAC por la colaboración brindada en los trabajos de campo y de gabinete.

Se agradece al Arq. Mario Lingua, Sr. Fito Scaiola, Sr. Omar Dube, Sr. José Luis López y Sr. Hugo Irusta, su colaboración desinteresada en las instalación de las EP.

REFERENCIAS

[1] Reid, H.F.. The Mechanics of the Earthquake, The California Earthquake of April 18, 1906, Report of the State Investigation Commission, Carnegie Institution of Washington, Washington, D.C.2: 16-28,1910.

[2] Kendrick E., M. Bevis, R. Smalley, O. Cifuentes, and F. Galban, Current rates of convergence across the Central Andes: Estimates from continuous GPS observations, Geophys. Res. Lett., 26, 541–544, 1999.

[3] Kendrick E., M. Bevis, R. Smalley, B. Brooks, R. B. Vargas, E. Lauría, L. P. Souto Fortes, The Nazca–South America Euler vector and its rate of change, Journal of South American Earth Sciences 16 125–131,2003.

[4] INPRES, Microzonificación sísmica del Gran Mendoza: Resumen Ejecutivo, Publicación Técnica, N°. 19, San Juan- Argentina, 1995.

[5] USGS (U.S. Geological Survey), Map of Quaternary Faults and Folds of Argentina, OFR 00-0108, 2000.

[6] Laboratorio de Cartografía Digital, http://cardi.igeofcu.unam.mx/techdocs/GPS_pin2.pdf ,2007.

[7] National Geodetic Survey, http://www.ngs.noaa.gov/GRD/GPS/DOC/toc.html, 2003.

[8] Instituto Nacional de Prevención Sísmica, http://www.inpres.gov.ar, 2006.

ABSTRACT

Satellite geodesy as discipline of analysis and study of the deformation of the terrestrial surface has been the base of the TAM Project, whose objective is to install and use GPS stations for the study of the faults systems that are located in the zone of Gran Mendoza. The points developed in this work are centered mainly in showing the distribution of materialized points based on the possible sources of seismic activity, the monumentation type used and the processing method using a free software. Finally, the first results obtained from the points processing in the neighborhoods of the Melocotón fault system and Cerro la Gloria in an Inter-seismic process, and the observations of the seismic event happened on the 5th August 2006 with epicenter in the neighborhoods of the Barrancas anticline are exposed.

Key Words: Tectonic – GPS – Mendoza - Cortical Deformation - TAM Project

Soluciones no tradicionales de compactación en un predio rellenado sin control para construcción de viviendas.

D. Agri, G. Balverde, S. Miranda.
dptocivil@frm.utn.edu.ar
Depto Ing. Civil y CEREDETEC, Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional

I.A.Maldonado, N.G.Maldonado.
ceredetec@frm.utn.edu.ar
CEREDETEC, Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional

RESUMEN: Ante la necesidad de dotar de viviendas dignas a personas de barrios carenciados, se hace necesaria la utilización de terrenos atípicos de alrededores muy próximos, priorizando las características sociales, económicas y culturales de la comunidad. En este trabajo se evalúa el mejoramiento de un terreno con rellenos granulares, depositados sin control de compactación, a través de la conjunción de las técnicas de "compactación dinámica, utilización de mallas y análisis de los sistemas de cimentaciones". Debido a que el predio utilizado fue rechazado en estudios previos y ante la ausencia de normas específicas en lo que se refiere a suelos de rellenos, ha sido necesario evaluar la viabilidad de su uso con estudios tradicionales de la mecánica de suelo pero a su vez se ha incorporado la deformación del relleno y las mejoras necesarias para transformarlo en un elemento de soporte igual o mejor que el suelo original. Por la innovación del proyecto, fue necesario adaptar las técnicas de ejecución de mejoramiento a las maquinarias y elementos disponibles en el medio local. Estas nuevas técnicas facilitaron la solución de situaciones de gran impacto social, aunque desde el punto de vista estructural implicaron cambios importantes en el diseño y construcción de viviendas.

Palabras clave: vivienda-suelo-mejoramiento-reacondicionamiento

1. INTRODUCCIÓN

1.1 *Antecedentes*

La existencia de predios que contienen residuos de distintos orígenes y sin control se complica aún más cuando dichos terrenos se utilizan para erigir en ellos viviendas de interés social. Hasta el momento no hay normativa nacional ni provincial que reglamente la disposición de residuos sólidos. Como antecedente, la Universidad Tecnológica Nacional trabaja en un programa integrador interdisciplinario, PROCQMA, que permitirá clasificar los residuos de la construcción y sus formas de utilización en la ingeniería civil [Ref. 1].

A la falta de control de un terreno rellenado, se pueden adicionar otros riesgos naturales como son las inundaciones, aluviones, terremotos, que condicionan también el diseño estructural de las viviendas [Ref. 2,3].

Debido a la necesidad de no trasladar a grandes distancias y dotar de viviendas a personas de bajos

recursos, sin generar un impacto social significativo el Instituto Provincial de la Vivienda planteó la posibilidad de utilizar un terreno muy cercano al asentamiento marginal existente que presentaba rellenos granulares de importantes espesores, trabajo que ha generado estudios teóricos, de campo y de laboratorio [Ref. 4 y 5].

1.2. *Características del terreno en estudio*

El predio tiene forma de polígono irregular y se ubica en la intersección de las calles Rawson y Vélez Sarfield, en el Distrito Las Tortugas del Departamento de Godoy Cruz. Para una mejor orientación en la localización, el mismo se ubica hacia el Oeste de la Ruta Nacional N° 40 (Acceso Sur Mendoza), limitando al Sur con el Barrio La Gloria, al Este con el Barrio Paulo VI; al Oeste parcialmente con terrenos pertenecientes a Vialidad Nacional y otros predios particulares y al Norte con un terreno baldío que aún conserva los rasgos originales, con poco trabajo antrópico. Según estudios de antecedentes, el predio pertenecía, desde el año 1992 hasta 2002, a la Dirección Nacional de Vialidad y se utilizó para préstamos al momento de confeccionar los terraplenes de la ruta.
En el comienzo del estudio, un importante sector del predio presentaba una considerable depresión (de aproximadamente 10 m debida a las extracciones del material) y en donde los habitantes de las zonas aledañas emplazaron una precaria cancha de fútbol. Otro sector sobresaliente del área en estudio era una fracción medianamente nivelada y que presentaba rellenos (con un espesor aproximado variable entre 10 y 12 m). Los antecedentes y trabajos de campaña realizados en esa porción, orientaron a la conclusión de que gran parte del foso original fue rellenado con distintos tipos de materiales, como rechazos de cantera principalmente, suelos mezclados con restos de construcción, etc., aunque cabe aclarar que prácticamente no se observó "residuo urbano" que pudiera descomponerse en el tiempo. Estos materiales fueron vertidos durante un largo periodo de tiempo, sin control alguno y compactados por el propio tránsito de camiones durante el proceso de descarga (mientras perteneció el predio a Vialidad Nacional, existió un semi-ordenamiento con "oruga"). Gran parte de la superficie de esta fracción se presentaba cubierta con elementos del tipo metálicos (guarda-rails, caños de gran tamaño, etc.) y restos de árboles extraídos de la construcción del Acceso Este de Mendoza.
Por último se observó un subsector más pequeño (ubicado hacia el Sur del área), donde los rellenos mantenían las mismas características pero eran de poco espesor (menos de 2 m).

1.3. *Objetivos del trabajo*

El reto del trabajo fue poder determinar un procedimiento para mejorar la calidad portante del suelo y delinear soluciones estructurales tanto para las viviendas, como la de los futuros servicios; proponiendo tareas y metodologías que escapan a la mecánica de suelo tradicionalmente usada.
Entre los aspectos más destacados se pueden mencionar:

- Evaluar la efectividad de la implementación de la compactación dinámica como un nuevo método local para aumentar la compacidad del terreno
- Detección de espesores de rellenos a través del uso de la refracción sísmica superficial.
- Evaluar la calidad del proceso a través de la medición de velocidades de ondas.

2. PROBLEMAS A RESOLVER EN EL PROYECTO

Debido a la heterogeneidad del terreno se tuvieron que afrontar varios problemas como:

- Acondicionamiento del suelo.
- Re-distribución del amanzanamiento del proyecto original.
- Seleccionar los sistemas de fundación de acuerdo a las características finales a obtener en el relleno.
- Delinear soluciones adecuadas para el emplazamiento de los servicios de agua, cloacas y tendido eléctrico.
- Definir criterios de diseño para obras de infraestructura como construcción de cunetas y desagües pluviales.

3. TRABAJOS DE CAMPO

Con los antecedentes recolectados y los sondeos previos de otros estudios realizados en el terreno se tomó notas de las singularidades encontradas en

superficie y límites colindantes. Luego se ejecutaron 18 sondeos a cielo abierto, con profundidades entre 4.00 m y 4.50 m medidos desde la superficie, para tratar de encontrar los bordes del foso; por otro lado obtener una idea de la compacidad y heterogeneidad de los rellenos. Para ello se realizaron ensayos SPT (igual a Ensayo de Penetración Estándar) y determinación de densidades in situ por el método del cono de arena (a escala proporcional). Si bien no resultan del todo representativos para el cálculo de las capacidades de las fundaciones por el tipo de relleno encontrado, sirvieron para orientar aspectos cualitativos del lugar en estudio.

Se ejecutaron también ensayos de placa horizontal, para interpretar la forma de deformarse del relleno y su heterogeneidad. Finalmente se realizo una descripción minuciosa de las secuencias estratigráficas encontradas y toma de muestras para determinar porcentajes de humedades y / o de ser posible su identificación geotécnica (SUCS: Sistema Unificada de Clasificación de Suelos).

Por otro lado se realizaron 24 sondeos de refracción sísmica dispersos en toda el área, tratando de indetificar el fondo del pozo, la profundidad de estos sondeos fueron del orden de los 12 m medidos desde la superficie.

El trabajo se completo con un geoposicionamiento de los sondeos y puntos característicos, para poder re-confeccionar un nuevo amanzanamiento.

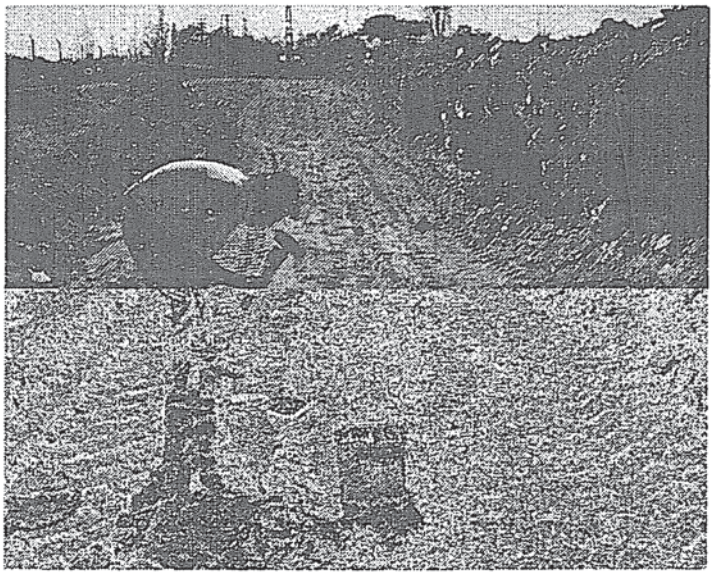


Figura 1. Ensayo de refracción sísmica, primer control del terreno.



Figura 2. Ensayo de refracción sísmica; segundo control.

4. ENSAYOS DE LABORATORIO

Se realizaron ensayos para la determinación de humedades naturales (IRAM 10519), elaboración de los valores de densidad tomados en campaña (Norma VN-E8-66 modificado), granulometrías (Norma IRAM 10512), determinación de los límites de Attemberg (Norma IRAM 10501/10502), método de la determinación del Peso Específico (Norma IRAM 10503) y ensayos de deyección natural en suelos granulares según los procedimientos recomendados por Rankine o Deslizamiento paralelo al Talud (páginas 606-607, GEOTECNIA Y CIMIENTOS II).

Se logró identificar algunos de los rellenos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos de Casagrande (SUCS).

Se interpretaron los ensayos de placa (ASSTHO t222 81) y de refracción sísmica superficial (según procedimientos de laboratorio).

Por último se confeccionaron los perfiles estratigráficos característicos de todos los sondeos.

4.1. *Comparación de resultados obtenidos*

En la Fig. 3 se puede observar el mejoramiento que presenta el terreno luego de la compactación dinámica. Debe aclararse que los puntos tomados en las dos etapas (primer control, previo al mejoramiento; y segundo control, con la compactación ya avanzada), son exactamente los mismos ya que se georeferenciaron para poder contrastar los resultados y observar las ganancias de rigidez del terreno.

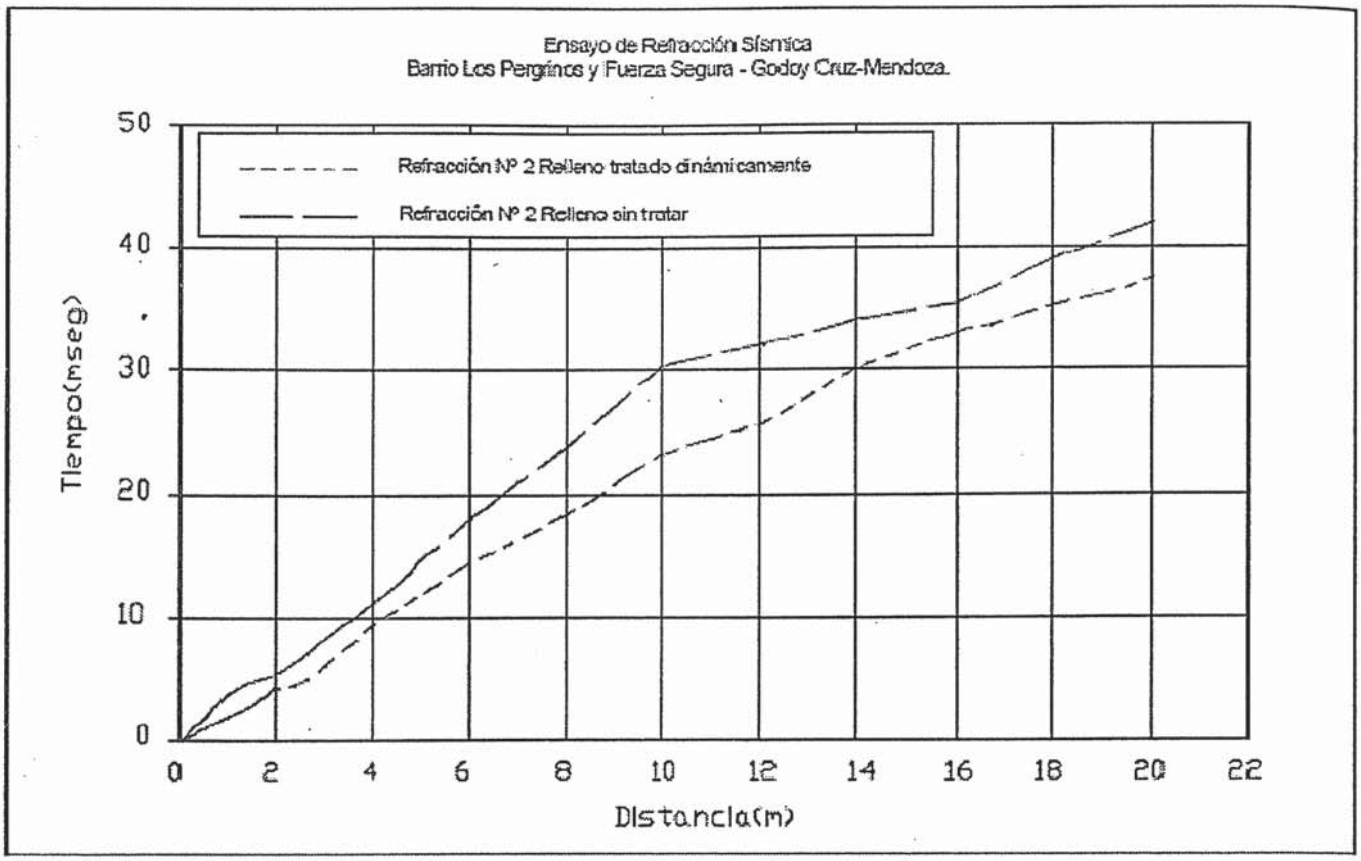


Figura 3. Gráfica de refracción Sísmica antes y después de la compactación dinámica.

5. PERFILES ESTRATIGRÁFICOS

El perfil original tipo y característico "virgen" del sector estaba conformado por un estrato de suelo limoso, con muy pocos rasgos plástico y de un espesor promedio aproximado de un metro. Por debajo subyacía el suelo granular aluvional característico, el cual presentaba continuidad y se extendía hasta grandes profundidades, aproximadamente 20 m. En la actualidad se observa solamente éste tipo de perfil en forma parcial en los sondeos S6 y S10, ubicados en el borde norte del predio, con algunas semejanzas alrededor de los sondeos S4, S5 y S9 (ver Fig. 4). El resto del predio presenta rellenos granulares mixtos mas o menos antiguos y de conformación irregular.

Cabe señalar que en los sondeos a cielo abierto no aparecieron restos de vigas entrecruzadas, de maderas o leños o algún tipo de residuo que pudiera o pudiese descomponerse en el tiempo o dejar oquedades.

No se notó la presencia de ningún tipo de napa y los ensayos de agresividad arrojaron valores por debajo del 0.10% de $SO_4^{=}$, entendiéndose que el suelo no es agresivo al hormigón.

Para una mejor interpretación de las secuencias estratigráficas encontradas se han esquematizado dos perfiles, uno longitudinal (CORTE A-A) y otro transversal (CORTE B-B) en la Fig. 5.

6. RECOMENDACIONES FINALES

- Se recomendó realizar un desmonte de 1m de espesor en el sector de emplazamiento de viviendas y luego de un determinado trabajo de compactación dinámica de la subrasante (que consiste en dejar caer un peso determinado sobre una grilla marcada en la superficie del suelo), plantear un terraplén de suelo granular "tipo estabilizado" de 0.60 m de altura mínima, compactado en capas al 100% del ensayo Proctor Modificado; obteniendo en

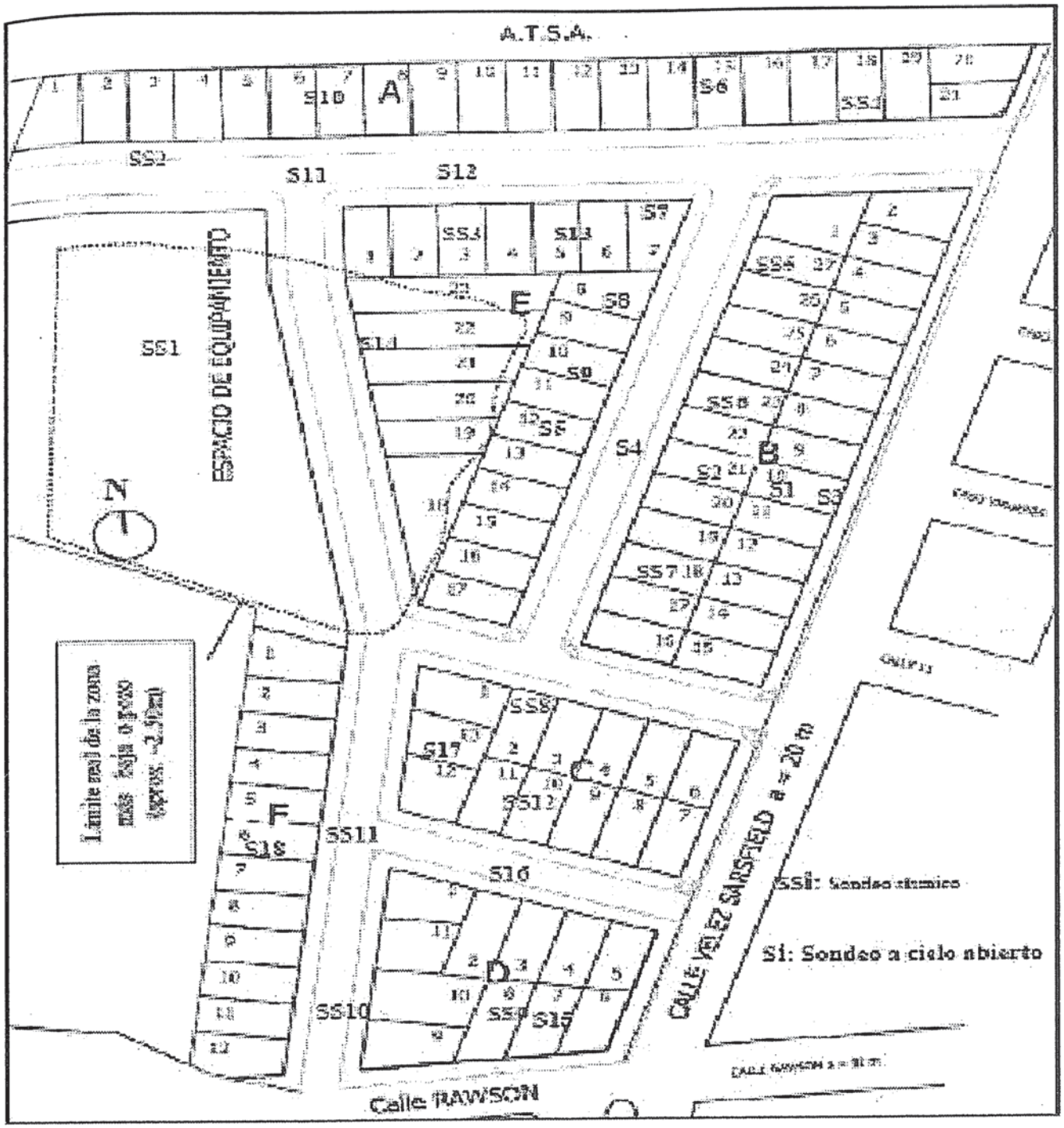


Figura 4. Croquis de Amanzanamiento y ubicación de Sondeos

resumen una ganancia de carga del orden de 0.72 tn/m^2. La finalidad de este desmonte era aproximar lo más posible el peso del mismo a la suma del peso del terraplén y la futura casa, minimizando la posibilidad de asientos futuros. Caber señalar que este tipo de compactación incrementó en un 30 % el costo de cada casa.

- Para tratar de homogeneizar la compacidad relativa del relleno (minimizando los diferentes asentamientos), se recomendó realizar previo a la localización del terraplén de suelo estabilizado, la ejecución de una compactación dinámica; como mínimo en el sector de emplazamiento de viviendas y en el perímetro de cada uno de los lotes ("medianeras"), para la disposición de la fundación de cierres en ese sector. Los terraplenes y la compactación superficial se realizaron de la siguiente manera:
- Manzana B (parte central) se desmontó 1.00 m y luego se reconformó el terraplén de 0.60 m de material tipo estabilizado, compactado en capas al 100 %.
- Manzana D y sector Sur de la manzana F no se realizó desmonte de 1.00m, sino una

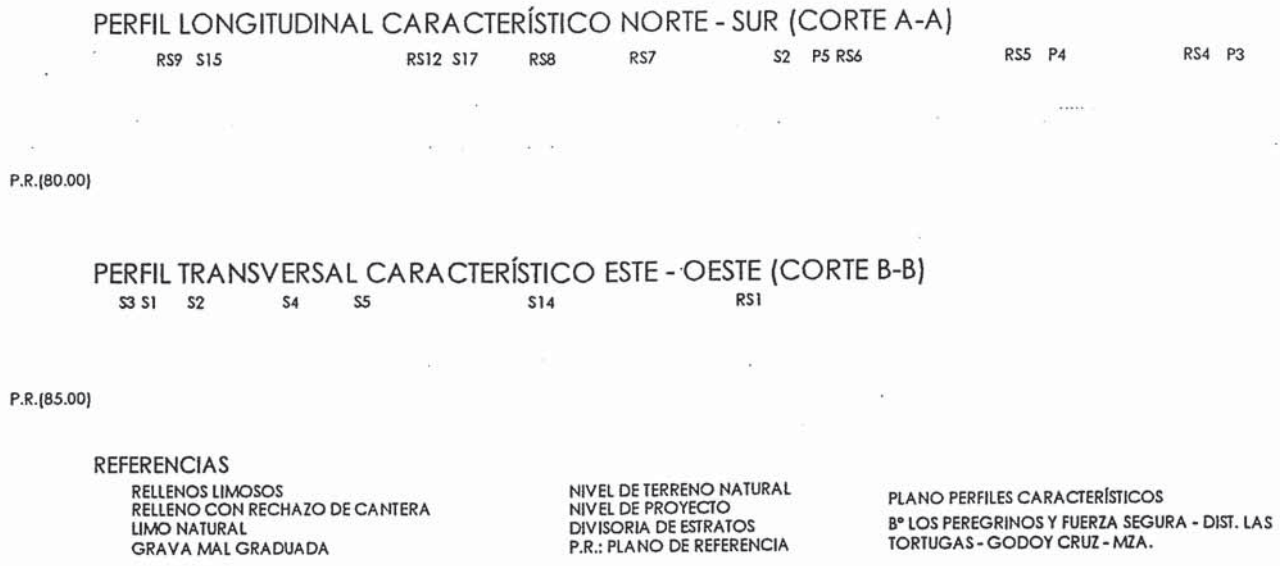


Figura 5. Perfil longitudinal y transversal.

limpieza o desmonte superficial (aproximadamente de 0.15 a 0.20 m), luego se escarificó la superficie y se recompactó al 100 % del ensayo Proctor correspondiente (Normal en suelos finos y Modificado en suelo grueso). Este sector se terraplenará solo si es necesario para un diseño urbanístico.

- Se definieron dos tipos de compactación dinámica, una "normal" y otra "exigente". La diferencia de técnica de ejecución entre ambos métodos radica en la diferente conformación final de los rellenos.
- En los sectores con compactación dinámica "normal" (parcial en las manzanas B, total en A y E), se realizó un desmonte de 1.00 m y sobre dicha superficie (subrasante) se marcó una grilla de golpeo. Se ejecutó en cada punto de la grilla por lo menos 4 golpes con un muerto de 0.60 tn, el cual se dejó caer libremente de una altura de 3.50 m. Finalizada la compactación dinámica se recomendó una nivelación y recompactación superficial al 100 % con vibro, previo a la confección del terraplén de "suelo tipo estabilizado".
- La compactación dinámica "exigente", es de igual proceso que la anterior, con la diferencia que la grilla es más espaciada y con mayor cantidad de golpes (12 golpes con un muerto de 1.00 tn desde 7.00 m de altura). Finalizado éste proceso se continuó con igual forma que el caso anterior. La diferencia de técnica de ejecución entre ambos métodos radica en la diferente conformación de los rellenos.
- Dentro de un mejor aprovechamiento del predio, se planteó una re-distribución del amanzanamiento del proyecto original para obtener una sola tipología de relleno y tipo de fundación en el sector del foso. Primero se perfilaron las paredes del mismo, luego se re-compactó superficialmente su fondo (5 pasadas de vibro como mínimo, dado que el foso presentaba 2.00 m de relleno superficial). Finalmente se planteó el relleno con el uso de la vibración superficial, compactando en capas de 0.20 m de altura. Como el espesor a rellenar era importante, el material empleado fue de la extracción o desmonte de otros sectores del mismo predio, pero eliminado al máximo elementos que puedan perjudicar el normal desarrollo de las tareas y / o elementos que revistiesen riesgo a futuro (restos de hierros, materiales inertes, trapos, etc.). Las capas se compactaron al 100 % del ensayo Proctor y su control no se realizó con el método tradicional del cono de arena, sino por medio de refracción sísmica, placa o control de asentamientos por pasada de equipo. Los últimos 0.60 m se debieron terminar con material estabilizado compactado al 100 % del ensayo Proctor.

- En sectores con desmonte y terraplén, para aumentar el grado de seguridad respecto a la posibilidad de asentamientos diferenciales, se colocaron dos capas de malla metálica, para conformar un suelo reforzado. Las mallas metálicas utilizadas fueron acorde con los materiales existentes en plaza.
- Para la conformación del refuerzo se extendió una 1° capa de suelo tipo estabilizado de 0.05 m de espesor, luego el 1° conjunto de doble malla y sobre ella se extendió otra capa de 0.20m de espesor de suelo estabilizado. Se realizó la compactación al 100 % el ensayo Proctor; una vez aprobado éste "paquete", nuevamente se extendió otro espesor de 0.10 m de suelo estabilizado, se colocó la 2° doble malla y los últimos 0.15 m de suelo tipo estabilizado compactados al 100 % del ensayo Proctor. Con igual grado de energía se terminó de confeccionar el terraplén hasta lograr los 0.60 m mínimos de espesor
- Se recomendó prever o diseñar la ubicación de las cañerías de agua y cloacas por debajo de las viviendas.
- El tipo de fundación recomendada fue del tipo platea rígida, doblemente armada con vigas de fundación o vinculación también rígidas, excepto en las manzanas D, parte Sur de la manzana F y parcial de las manzanas B y E; en estos últimos casos es factible la utilización de zapatas corridas con vigas rígidas (no las tradicionales con ? del 8 y estribos de ? del 4.2).
- Para el diseño de las plateas y zapatas corridas, se aconsejó no exceder la presión de 23 kN/m^2, planteando éste valor a partir de consideraciones de deformación.
- Se aconsejó que los hormigones, fueran elaborados en planta (o en peso), con bajo asentamiento (0.05 m a 0.06 m) y para la colocación final en obra respetar la relación a/c, con el uso adecuado de fluidificantes. También respetar los recubrimientos mínimos.
- Al no estar aún terminado el barrio, se recomendó que las medianeras deben realizarse los más livianas, independientes, articuladas y seguras posibles. Si se realizasen del "tipo tradicional" de mampostería, se recomienda ejecutar bajo las mismas un mejoramiento de suelo, con el uso de zapatas corridas que trabajen sobre un lecho de suelo granular, compactado al 100 % del ensayo Proctor modificado. Si son del tipo "cierre de mallas metálicas" (siendo lo más aconsejado en estos casos), es posible arriostrar dichos cierres a columnas (intermedias y esquineras) que trabajen en muertos (tipo pozo romano), constituidos por hormigón "alivianado".
- Las acequias se plantearon "estancas" y articuladas, disminuyendo al máximo las ganancias de aguas desde las mismas hacia el terreno. Se planteó un mejoramiento granular bajo las mismas, junto con armadura de repartición en fondo y paredes.
- Para las luminarias se diseñó un mejoramiento de suelo granular (compactado al 100 % del ensayo Proctor) alrededor de las mismas (con un sobre ancho de no menor de 0.50 m), complementado con una base superficial rígida para atenuar aún mas la posibilidad de desplome.
- En el caso de red de cloaca se sobre excavó, compactó en forma exigente los fondos de zanjas y luego se planteó un mejoramiento de 0.50 m de suelo granular tipo estabilizado compactado al 100 % del ensayo Proctor. Igual tratamiento recibieron las cámaras de esquinas y se aconsejó un encuentro "flexible" entre la cañería de la red cloacal y la pared de la cámara.
- Para los desagües de patio y superficies absorbentes, por ser rellenos y de irregular conformación, cualquier ganancia de agua podría acarrear graves problemas. Por ello como primera medida, se recomendó colocar veredines perimetrales alrededor de las viviendas. No se deben diseñar bajadas de aguas próximas a muros y medianeras. Todas las pendientes naturales de patio deben ir hacia la calle (mínima retención) o hacia las bocas de desagüe. La cantidad de bocas o desagües en patios deben ser mayor a las normalmente aconsejadas por código. Sería muy buena técnica realizar la impermeabilización de patios. En estos casos y para incrementar aún más el coeficiente de seguridad de

diseño, se podría plantear colocar a - 0.30 m un manto muy pequeño de bentonita y lograr la no percolación de las aguas.

- Debido al impacto negativo que produce en la obra la mala ejecución de cualquiera de las etapas constructivas y especialmente en las instalaciones sanitarias, fue de vital importancia el riguroso seguimiento en la ejecución de las tareas (pruebas hidráulicas, desagües bien proyectados, superficies impermeables, etc.) por parte de los inspectores y dirección técnica.

7. CONCLUSIONES

La técnica de compactación dinámica respondió muy bien a los requerimientos de la obra, encontrándose el barrio en su última etapa; pero ha requerido una importante dedicación y empeño por parte de la inspección para alcanzar los resultados previstos con la tecnología local.

El uso de medición de ondas en este tipo de rellenos da una acabada orientación sobre la calidad de los mismos, pero requiere capacitación y entrenamiento para una interpretación correcta de sus mediciones en obra.

Las especificaciones del pliego de obra no reflejan todas las recomendaciones de diseño de los estudios realizados. La ausencia de manuales de mantenimiento para el emprendimiento, en especial donde hay recomendaciones de evitar ganancias de agua por parte del suelo, no colaboran para alcanzar el éxito del proyecto.

REFERENCIAS

[1] I.A. Maldonado y N.G. Maldonado. Problemática del uso del suelo con resíduos para el caso de viviendas sociales: dos casos de estúdio. Memorias Tercer Encuentro del Proyecto Integrador PROCQMA (Proyecto de Reciclado para la Obra Civil desde la Química, los Materiales y el Medio Ambiente) de la UTN-FRC,2005.

[2] Gobierno de Mendoza. Código de Construcciones Sismorresistentes de Mendoza, 1987.

[3] T. García Zalazar. Proyecto Campo Papa: consolidación y relocalización. Memorias II Simposio La Vivienda y la Sociedad de Hoy. Mendoza, Argentina. 2004.

[4] Informes técnicos en Memórias CEREDETEC 2006

[5] I.A.Maldonado, N.G.Maldonado, G. Balverde, H.Giraud, J.Cueto, M.Chogriz, L.Salas Cayol. Utilización de terrenos con rellenos sin control para viviendas sociales en zona de elevado riesgo sísmico. EnIDI 2006, Mendoza, Argentina. pp. 15-20. 2006.

ABSTRACT

Due to the need to provide decent housing for the people who live in slum areas, it is necessary to use atypical land nearby taking into account the social, economic and cultural characteristics of their communities. The objective of this paper is to evaluate how to improve soil which consists of granular fillings deposited without any compaction control. The techniques that could be used are: dynamic compaction, the use of meshes and the analysis of the foundation systems. The fact that the studied soil has been previously rejected should be mentioned since other studies showed the inability to use this soil. Given the lack of specific regulations regarding soil of fill materials, it was necessary to evaluate the viability of its use based on studies apart from the soil mechanics, analyse the deformation of the fillings and the necessary measures to transform it into a similar or better element than the original soil. Because of the innovation of the project, it was necessary to adapt the execution improvement techniques to the machinery and the elements that were available in the local environment. These new techniques solved situations of great social impact, which at the same time implied important changes in the design and the construction of the houses from a structural point of view.

Keys Words: housing-earth-improvement-reconditioning

Compuertas de caudal cuasi-constante para el Canal Marienhoff

L.M. Magistocchi & P.S. Infante

lmmagistocchi@sinectis.com.ar & pinfante@uncu.edu.ar
Instituto de Hidráulica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo

P.G. Espina & C.L.F. Dávila

pgespina@uncu.edu.ar & carlosdam2005@yahoo.com.ar
Instituto de Hidráulica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo

RESUMEN: esta investigación surgió ante la necesidad de la empresa IME SRL de instalar compuertas de caudal cuasi-constante en la Toma N° 1 de la obra de revestimiento de ramas Canal Marienhoff. Dichas compuertas debían presentar caudales nominales de 0.85m^3/s y 0.09 m^3/s Se realizó la modelación física en el Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería de la UNCuyo, de las compuertas mencionadas, obteniéndose el diseño geométrico e hidráulico de la derivación de agua de la toma mencionada. Los resultados de esta modelación sirvieron para realizar los ajustes necesarios en el proyecto de la obra civil respectiva.

Palabras clave: recursos hídricos – modernización – derivación – compuertas

1 INTRODUCCIÓN

Esta investigación se ha desarrollado en el marco del Proyecto de Investigación acreditado y subsidiado por la SeCyT de la UNCuyo, y titulado: "Desarrollo Tecnológico de Compuertas de Caudal Cuasi-Constante para la Modernización de Derivaciones en Canales de Riego-continuación"; cuyo objetivo es el desarrollo experimental de una alternativa de diseño hidráulico en los partidores de riego, que permita derivar caudales constantes independientemente de la variación del caudal en el canal principal. Este sistema controlado de derivación de caudales para canales de la red de riego del Oasis Norte de la Provincia de Mendoza, tiene como finalidad modernizar el sistema de manejo y distribución del agua en los mismos.

La contraparte en este Proyecto de Investigación, la empresa metalúrgica IME S.R.L., en virtud de participar como subcontratista en la obra de revestimiento de las ramas del Canal Marienhoff, solicitó a este grupo de investigación la modelación física experimental de dos compuertas de caudal cuasi-constante a instalarse en dicho canal.

2 CANAL MARIENHOFF

El Canal Marienhoff, ubicado en el Departamento de San Martín, es un canal terciario de la red de riego del Río Mendoza, que deriva del canal secundario Galigniana Segura, y éste a su vez del canal primario Gral. San Martín. Ref. [1].

El proyecto de este canal, realizado por el Departamento General de Irrigación en 2006, incluye el revestimiento de hormigón armado de una

sección rectangular con una área hidráulica de 1.60m de ancho y 1.30m de altura. El caudal de operación va desde los 0.30 m3/s hasta los 1.50 m3/s, esta variación de caudales implica variación de la altura de agua del escurrimiento en el canal principal, y por lo tanto, distintas cargas hidráulicas sobre las compuertas de las derivaciones existentes en el mismo. Ref. [1].

La modelación físico-experimental realizada respondió a los parámetros de diseño de la Toma N° 1 del mencionado canal, en la cual se proyectó instalar dos compuertas, una con un caudal nominal de $0.85m^3/s$ y la otra con uno de $0.09m^3/s$, ambas ubicadas en canales de sección hidráulica rectangular. Ref. [1].

3 MODELACIÓN FÍSICA EN LABORATORIO

En la modelación experimental se utilizó el modelo físico instalado en el Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo, el cual está compuesto de una derivación de riego orientada a 30° respecto del canal principal, con cuatro compuertas moduladas en su ancho, Fig. 1. La escala de longitudes de la modelación fue de 1:4.5, la de velocidades de 1:2.1 y la de caudales 1:43. Ref. [2].

La metodología de trabajo en las experiencias realizadas incluye la medición de las siguientes magnitudes:

1. El caudal derivado, medido a través de un tanque volumétrico. El que se obtiene midiendo alturas de agua en el mismo, a través de una escala graduada, y tiempos con un cronómetro. Este tanque fue calibrado al litro por el personal del Laboratorio de Hidráulica.
2. La carga hidráulica sobre la compuerta de caudal cuasi-constante a través de limnímetro y sensor de ultrasonido, teniendo en cuenta la altura de la barrera o escalón de fondo de la derivación, Corte A-A de la Fig. 1.
3. La velocidad en el canal pasante medida con un velocímetro, Modelo FP101 – Marca GLOBAL WATER.
4. La carga hidráulica en el canal pasante a través de limnímetro y sensor de ultrasonido, Fig. 1.
5. La carga hidráulica sobre el vertedero triangular de la cámara de carga, a través de limnímetro y sensor de ultrasonido.

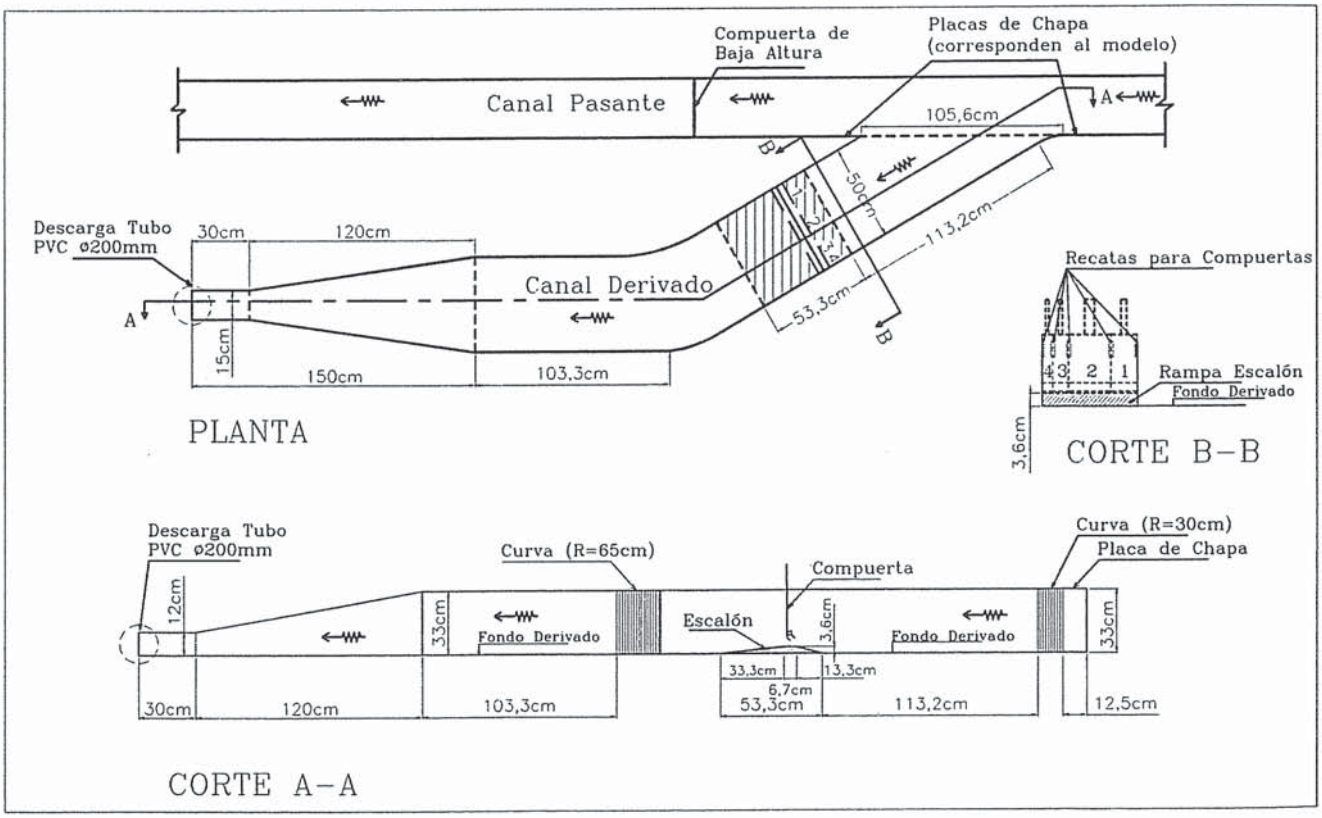


Figura 1. Planta y Corte longitudinal del modelo físico del Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo.

En cada experiencia realizada se mantiene constante la altura del escalón o barrera de fondo, controlando la variación, entre un máximo y mínimo, de la altura de agua en el canal pasante o principal, y la apertura de la compuerta de caudal cuasi-constante, hasta obtener suficientes datos de caudal y carga hidráulica para construir la curva de gasto en escala de prototipo de esa combinación de parámetros.

La compuerta de caudal cuasi-constante ubicada en la derivación está dividida en cuatro módulos independientes, cada uno de ellos tiene un ancho diferente, erogando un caudal distinto según el caso. Cada módulo se lo ha denominado Compuerta: Compuerta 1, Compuerta 2, Compuerta 3 y Compuerta 4, Fig. 1.

En esta modelación se usó como base la experimentación en la Compuerta N° 1, que es la que mejor se ajusta al caudal máximo del laboratorio, variando la apertura de la misma hasta encontrar el caudal unitario necesario, para un ancho de derivación acorde al proyecto del Canal Marienhoff. Se destaca la forma redondeada de las viseras y la forma de las compuertas, Fig. 2.

De las experiencias realizadas en el laboratorio se obtuvieron dos curvas de gasto, una para la compuerta cuyo caudal nominal es de $0.85 m^3/s$, Fig. 3, y la otra para un caudal nominal de $0.09 m^3/s$, Fig. 4. Los datos de las curvas de gasto mencionadas (caudales y cargas hidráulicas) se expresan en medidas de prototipo.

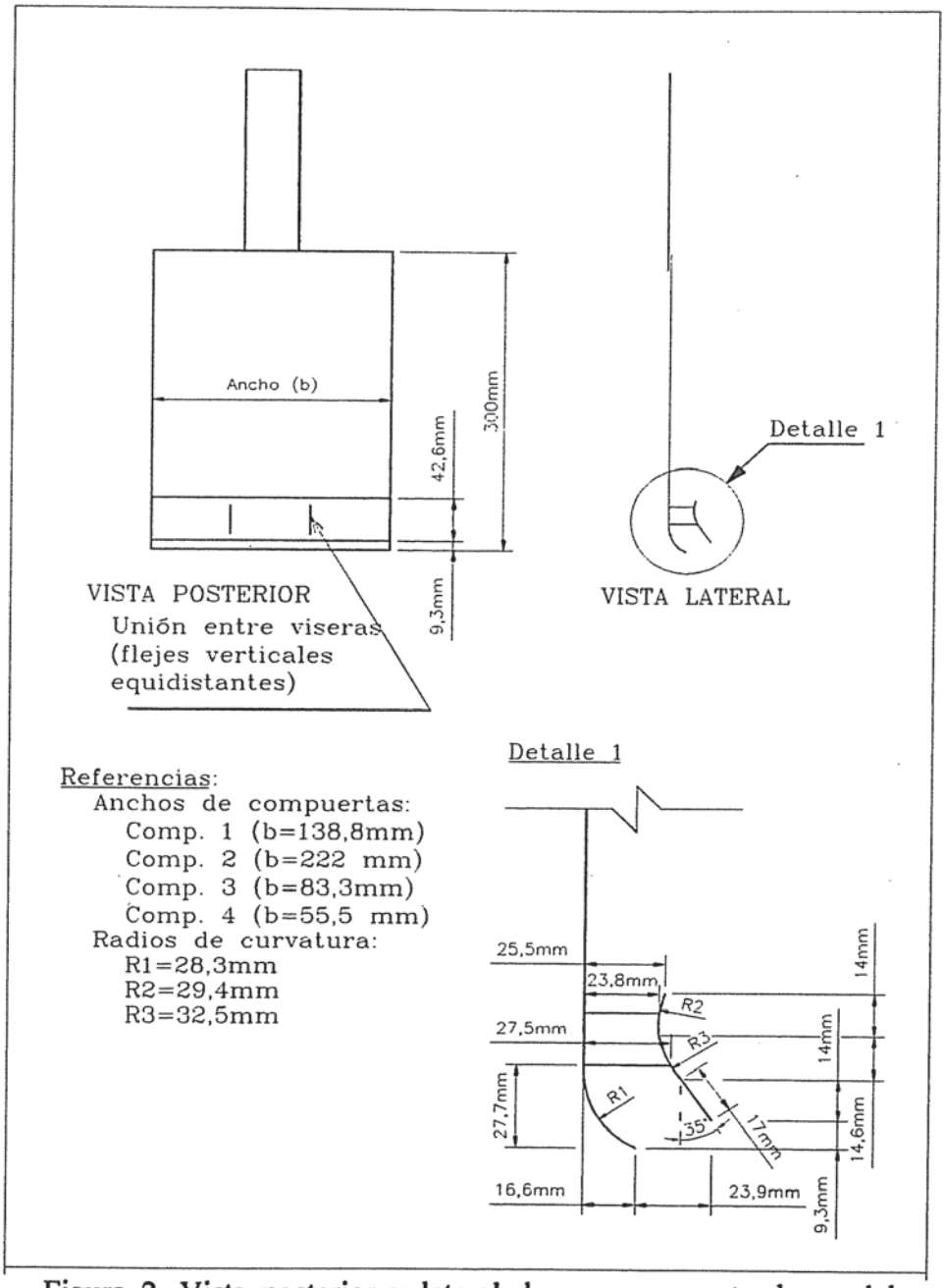


Figura 2. Vista posterior y lateral de una compuerta de caudal cuasi-constante. Detalle de las viseras redondeadas.

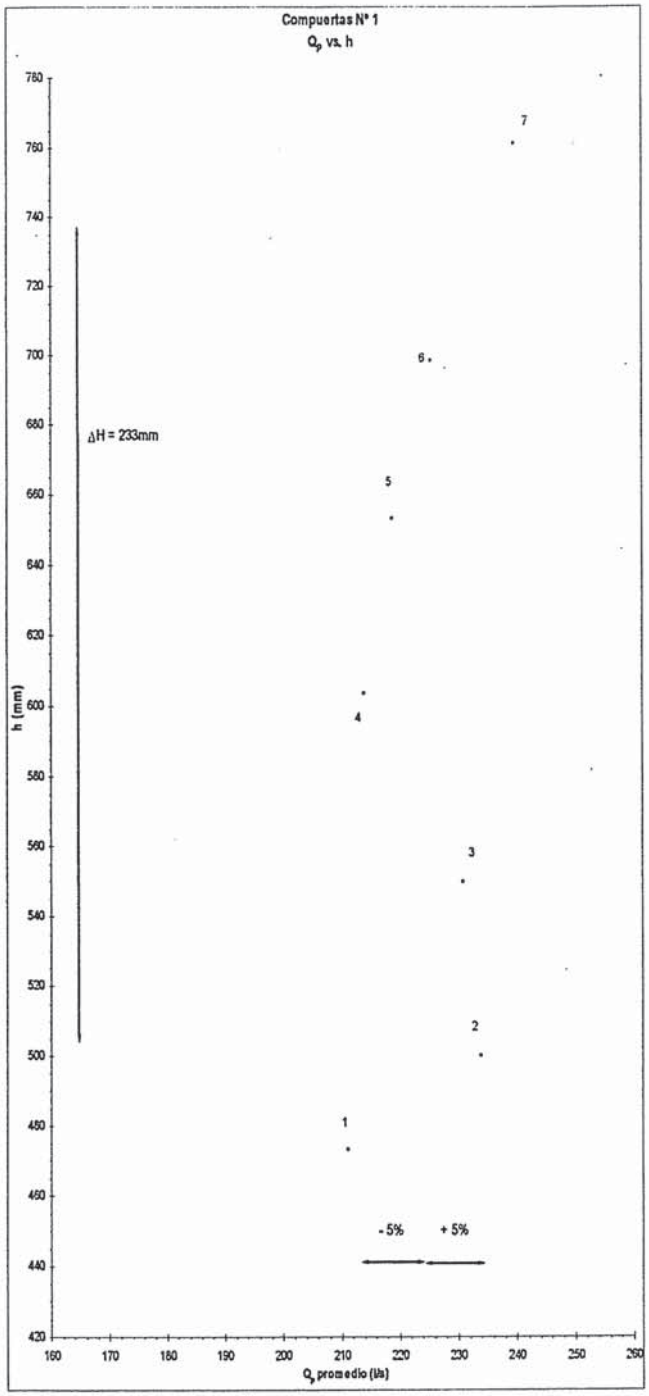


Figura 3. Curva de gasto obtenida de la experimentación para la compuerta de 0.85m^3/s.

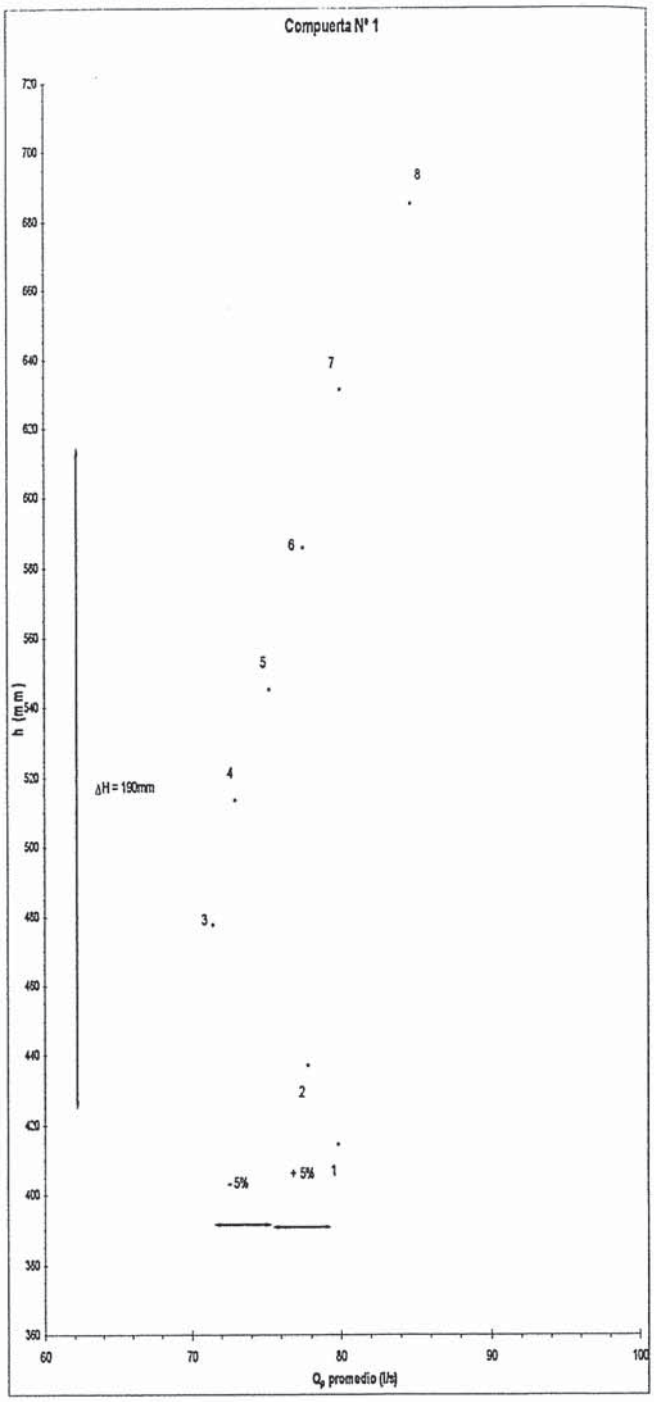


Figura 4. Curva de gasto obtenida de la experimentación para la compuerta de 0.09m^3/s.

4 RESULTADOS Y CONCLUSIONES

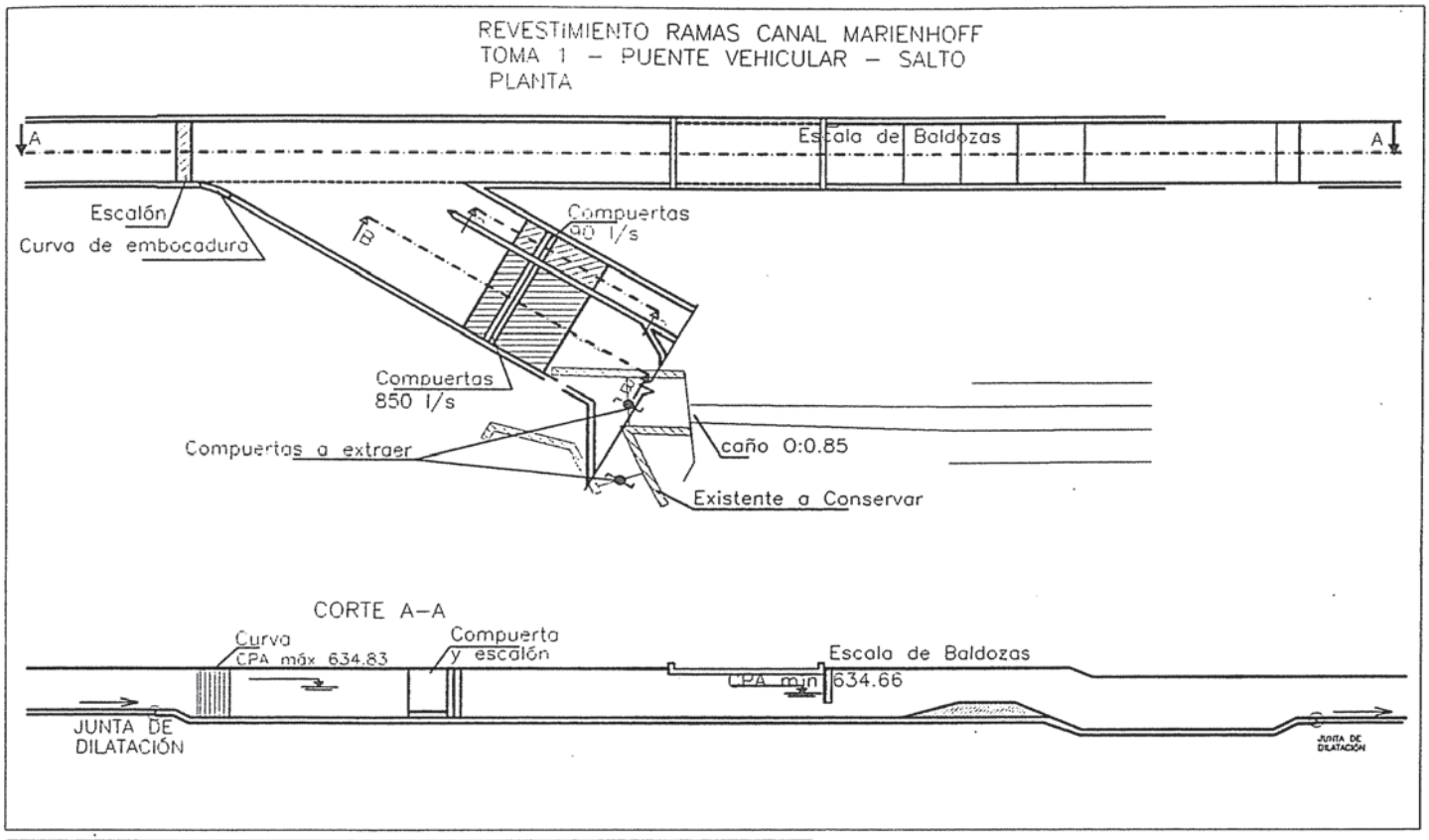
Los datos experimentales obtenidos de la primera curva de gasto, Fig. 3, son los siguientes:

1. Carga hidráulica mínima en prototipo en el canal principal: 0.507m.
2. Carga hidráulica máxima en prototipo en el canal principal: 0.740m.
3. Variación de la carga hidráulica: 0.233m, para el ±5% de variación respecto del caudal nominal.
4. Ancho de la compuerta en prototipo: 2.4m.
5. Caudal de prototipo por unidad de ancho obtenido: 0.036m^3/s por dm de ancho.
6. Apertura de la compuerta en prototipo: 0.2475m.

Los datos experimentales obtenidos de la segunda curva de gasto, Fig. 4, son los siguientes:

1. Carga hidráulica mínima en prototipo en el canal principal: 0.425m.
2. Carga hidráulica máxima en prototipo en el canal principal: 0.615m.
3. Variación de la carga hidráulica: 0.190m, para el ±5% de variación respecto del caudal nominal.
4. Ancho de la compuerta en prototipo: 0.75 m.
5. Caudal de prototipo por unidad de ancho obtenido: 0.012m^3/s por dm de ancho.
6. Apertura de la compuerta en prototipo: 0.1215m.

En función de los caudales unitarios obtenidos se modularon los anchos de las compuertas que corresponden a cada caudal nominal dado. Obteniéndose los resultados de las Tablas 1 y 2, que cumplen las especificaciones del llamado a licitación en el cual se requería una modulación de 0.05m^3/s con un caudal mínimo de también 0.05m^3/s, para la compuerta de 0.85m^3/s; y una modulación de 0.01m^3/s con un caudal mínimo de también 0.01m^3/s, para la compuerta de 0.09m^3/s.



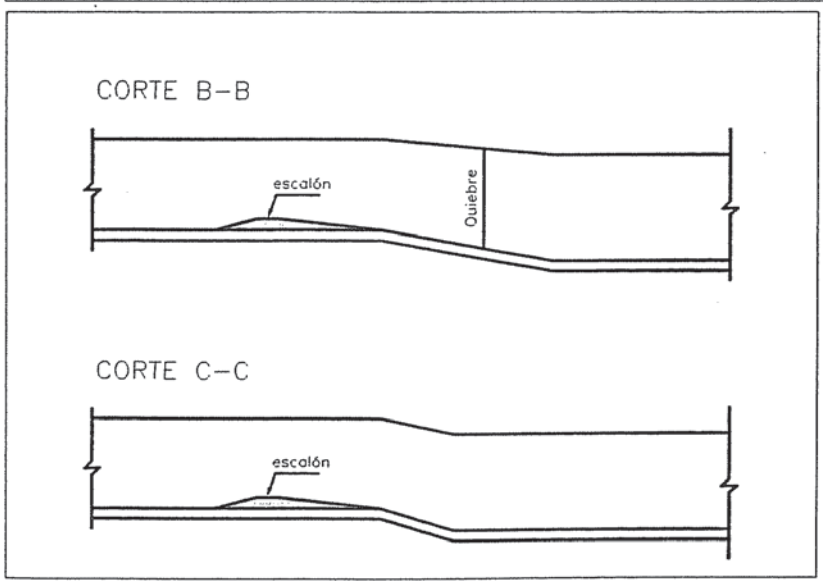


Figura 5. Plano de obra civil modificado de acuerdo a la experimentación.

Tabla 1. Modulación de anchos para la compuerta de 0.85 m^3/s

Caudal y cantidad de compuertas	Ancho de cada compuerta
1 comp. de 0.40m^3/s	1,11m
1 comp. de 0.20m^3/s	0,56m
2 comp. de 0.10m^3/s	0,28m
1 comp. de 0.05m^3/s	0,14m

Tabla 2. Modulación de anchos para la compuerta de 0.09m^3/s

Caudal y cantidad de compuertas	Ancho de cada compuerta
2 comp. de 0.03 m^3/s	0,25m
1 comp. de 0.02m^3/s	0,17m
1 comp. de 0.01m^3/s	0,08m

Se puede concluir que es necesario modificar la obra civil de la Toma N° 1, la cual se pasa a detallar.

5 MODIFICACIÓN DE LA OBRA CIVIL

Teniendo en cuenta los datos obtenidos de la modelación física, se propuso una modificación en la obra civil, Fig. 5, en la cual se proponen los anchos de compuerta obtenidos de la modelación física, 2.4m para la compuerta de 0.85m^3/s y 0.75m para la compuerta de 0.09m^3/s. Además se propuso que la derivación se materialice con una orientación a 30° respecto de la dirección del canal pasante o principal, Fig. 5.

Y por último, se calculó el resalto hidráulico, en función de las condiciones aguas abajo dadas por el Nivel de Pelo de Agua (NPA) de 634.60m. Fue necesario incluir, a continuación de la barrera de fondo de las compuertas, rampas cuyas pendientes corresponden a 1:5.5 para la compuerta de 0.85m^3/s, y 1:3.33 para la de 0.09m^3/s, Fig. 5.

REFERENCIAS

[1] Departamento General de Irrigación, Proyecto de revestimiento de las ramas Canal Marienhoff, Llamado a licitación de obra y Plano N° 3, 2006.

[2] L.M. Magistocchi, Desarrollo Tecnológico de Compuertas de Caudal Cuasi-constante para la Modernización de Derivaciones en Canales de Riego-Continuación, SeCTyP, UNCuyo, 2007.

[3] R. Fuentes Aguilar, Modelos Hidráulicos: Teoría y Diseño, DOLMEN ESTUDIO, 2002.

[4] Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Manual para el diseño de zonas de riego pequeñas, IMTA, 1997.

[5] Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Manual de diseño e instalación de drenaje parcelario en zonas áridas y semiáridas bajo riego, IMTA, 1998.

[6] Ven Te Chow, Hidráulica de Canales Abiertos, McGraw-Hill Interamericana S.A., 1994.

[7] F.J. Domínguez, Hidráulica, 5ª Edición, Editorial Universitaria, 1974.

ABSTRACT

The IME SRL firm was to need to place lock for semi-constant flow in Marienhoff Channel of Mendoza River, for nominal abundance of 0.85m^3/sec and 0.09m^3/sec. The hydraulic design was works in the Hydraulics Laboratory of the Faculty of Engineering of the University Nacional of Cuyo, and also the civil design.

Key Words: Hydraulic Design – Modernization – to derive – lock.

Delineación de las zonas de cercanía a la fuente sismogénica (criterio UBC 1997) para la falla activa La Cal : análisis de las ventajas, desventajas y complicaciones de su aplicación

F.A. Mingorance
jishinken@uncu.edu.ar
Área Geología y Sismología, Instituto de Mecánica Estructural y Riesgo Sísmico, FI, UNCuyo

RESUMEN: el norte de Mendoza está en una región sísmica moderadamente activa, dominada por fallas inversas, corrimientos de bajo ángulo y complejos pliegues anticlinales que experimentaron actividad tectónica en tiempos geológicos recientes. En esta región sísmica, donde varios terremotos de magnitudes media a alta ocurrieron entre 1782 y 2006, hay un déficit de registros de aceleración de campo cercano. Debido a esta falta de registros de movimiento del terreno de campo cercano para terremotos moderados a fuertes, análisis determinísticos del peligro sísmico son usualmente llevados a cabo con el objeto de anticipar movimientos sísmicos del terreno realísticos asociados a la actividad futura de las fallas potencialmente activas cercanas a los centros urbanos más poblados. El análisis de las Zonas de Cercanía a la Fuente Sismogénica delineadas para el tramo central de la falla de corrimiento La Cal, en base a detallados estudios geomorfológico – tectónicos, muestra ventajas, desventajas y complicaciones al aplicar los criterios del Uniform Building Code (1997) en el norte de Mendoza.

Palabras clave: norte de Mendoza – falla activa La Cal – zonas de cercanía a la fuente – UBC – análisis

1 INTRODUCCIÓN

1.1 *Consideraciones generales*

Las aceleraciones registradas en sitios de campo cercano (0 a 5 km) de fuentes sismogénicas compresivas causales de terremotos destructivos, indican que eventos de magnitudes media a alta (Mw : 6.7 – 6.8) alcanzaron niveles de sacudimiento del terreno similares, y en algunos casos superiores, al movimiento del terreno producido por terremotos mayores (Mw : 7.4 a 7.6)[1], [2], [3], [4], [5] y [6]. Esta variabilidad en los movimientos sísmicos del terreno de campo cercano, se debe a que los mismos son muy complejos y dependen de diferentes factores, entre los que se destacan : (a) mecanismo del terremoto, (b) cercanía a la fuente sismogénica, (c) condiciones del sitio, (d) directividad de la ruptura de falla y (e) efecto del bloque levantado [2] y [4].

Es generalmente aceptado que la atenuación puede ser diferente para diferentes regiones sísmicas, y que es necesario construir modelos del movimiento del terreno específicos para cada región [3], pero existen dificultades prácticas en las regiones sísmicas que cuentan con muy escasos registros de aceleración para eventos mayores.

En el norte de Mendoza, en donde los principales terremotos destructivos ocurrieron en 1861 y 1920 [8] y [9], con anterioridad al período instrumental de

aceleración, solamente se conocen nueve (09) registros de aceleración de campo intermedio, asociados al evento de magnitud media de 1985 (Ms : 5.9). Las aceleraciones registradas varían de 0.06g a 0.408g, para estaciones localizadas entre 20 y 77 km del epicentro [10].

Nuevos registros de aceleración fueron obtenidos por el Instituto Nacional de Prevención Sísmica durante la ocurrencia del evento de magnitud media de Barrancas – Luján de Cuyo (Mw : 5.7) del 05 de agosto de 2006, aunque los mismos parecen no superar a los valores máximos registrados en 1985.

Considerando esta falta de registros instrumentales de aceleración de campo cercano en el norte de Mendoza, se aplicaron análisis determinísticos del peligro sísmico (ADPS) para evaluar los efectos de una magnitud de referencia máxima (Mw : 6.85 – Tabla 1) esperados en un sitio aluvial localizado en el área epicentral del terremoto de Mendoza de 1861, a 0.173 km del trazo geomorfológico de la falla de corrimiento activa La Cal (Fig. 1), sobre su bloque descendido [7].

Tabla 1. Evaluación del Terremoto Potencial Máximo (TPM) para la falla La Cal [7].

Criterio aplicado	TPM
Desplazamiento superficial máximo	Mw : 6.85
Momento sísmico	Mw : 6.70
Area de ruptura	Mw : 6.65
Ruptura subsuperficial	Mw : 6.70
Magnitud histórica	Ms : 7.0

El rango de aceleración horizontal pico - AHP (0.57g a 0.69g – Tabla 2) anticipado por los criterios de atenuación evaluados [11], [12] y [13], es inferior a las AHPs (0.85g a 0.90g) registradas localmente durante el terremoto compresivo (falla ciega) de Northridge [1], para magnitud sísmica, condiciones de sitio y distancia equivalentes.

Paralelamente, los valores de AHP resultantes de aplicar los referidos modelos de atenuación (Tabla 2), fueron comparados con los resultados de simulaciones simples realizadas con el software Respectrum [14], el cual permitió evaluar fallas activas (Tipo B) y condiciones de sitio similares de California, según el criterio del Uniform Building Code de 1997. La AHP obtenida de la referida simulación (0.66g), es consistente con los valores provenientes de las leyes de atenuación consideradas (Tabla 2).

Tabla 2. AHP estimada para el sitio de campo cercano evaluado en el área epicentral de 1861 (simplificado de [7]).

Modelo de atenuación			
AD 2003	CB 2000	BJF 1997	UBC 1997
Terremoto potencial máximo (Mw)			
6.85			6.5 – 7.0
Cercanía a la fuente			
0.173 km			
Aceleración horizontal pico - AHP			
0.57g	0.60g	0.69g	0.66g

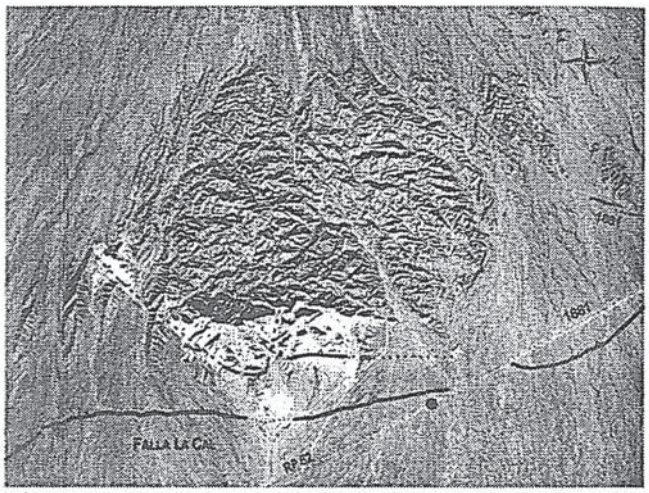


Figura 1. Tramo central de la falla activa La Cal, y localización del sitio de campo cercano (círculo lleno) evaluado en el área epicentral del terremoto de 1861 [7].

1.2 *Zonas de Cercanía a la Fuente Sismogénica (criterio Uniform Building Code 1997)*

Los mapas de cercanía a la fuente, desarrollados específicamente para ser utilizados con el Uniform Building Code (UBC) de California, definen las áreas donde un factor adicional debería ser aplicado para reducir el riesgo de vida y propiedad en un terremoto. El UBC incorporó un nuevo factor en los cálculos ingenieriles para contemplar los elevados niveles de movimiento del terreno cerca de fallas

sísmicas. Dichos mapas están basados en investigaciones posteriores a los terremotos destructivos de Northridge, California (1994) y Kobe, Japón (1995), en los cuales se observó que los edificios colapsados o afectados por daño severo, se localizaron dentro de los 5 km de la ruptura de falla [15].

La determinación de los factores de cercanía a la fuente, requiere conocer y evaluar cuatro aspectos esenciales de una falla activa o potencialmente activa : (a) el grado de actividad de la estructura geológica, (b) la localización precisa de la falla como un rasgo físico en o cerca de la superficie (evaluación geomorfológico–tectónica y paleosismológica), (c) la tasa media de movimiento (método geológico) y (d) la magnitud de referencia máxima (TPM) que la estructura puede generar en el fututo [15], obtenida obviamente de la evaluación determinística de los parámetros paleosismológicos de la falla analizada.

Los factores de cercanía propuestos por el UBC son dependientes de la distancia existente entre el sitio considerado y el trazo de una falla activa conocida [15].

Para fallas no verticales, entiéndase para estructuras diferentes a las fallas de rumbo (tipo San Andrés), es imprescindible conocer con precisión la localización superficial de su trazo (evidencia geomorfológica) y el buzamiento de su plano de falla (evidencia estratigráfica)[15]. Ambos parámetros permiten, con la incertidumbre lógica, extender geométricamente el plano de falla hasta 10 km de profundidad (ver Fig. 2), y la proyección vertical de este punto hasta la superficie, define el límite posterior del trazo de falla. En otras palabras, el UBC postula (para fallas activas no verticales) que la distancia desde la falla debe tomarse desde el trazo geomorfológico y/o desde la proyección vertical del plano de falla a 10 km de profundidad.

Aplicando el criterio propuesto en la Fig. 2, se define una amplia zona que abarca prácticamente la totalidad del bloque levantado de fallas activas compresivas, como es el caso de las fallas inversas o los corrimientos activos existentes en el norte de Mendoza.

Este criterio es muy consistente con lo postulado por Brune (2001)[2], quién observó mayores niveles de movimiento del terreno en el bloque levantado de fallas activas compresivas, en comparación con su bloque descendido.

Las fallas activas incluidas en el UBC, coinciden en los siguientes aspectos : (a) tienen evidencia de actividad en el Holoceno, (b) muestran expresión superficial y (c) su tasa de movimiento es superior a 0.1 mm/año [15].

Las fallas ciegas, por la falta de expresión superficial directa y por la complejidad de su geometría de falla, no fueron incluidas en los mapas de fallas utilizados con el UBC [15].

Las 156 fallas activas de California incluidas en el UBC [15], fueron clasificadas en los tipos A, B y C, en función de la magnitud del TPM y de la tasa de movimiento.

Para la Zona Sísmica 4 del oeste de Estados Unidos, los factores de cercanía a la fuente son aplicados si los sitios de interés se localizan a 15 km de una falla Tipo A, o a 10 km de una estructura Tipo B [15].

2 APLICACIÓN EN EL NORTE DE MENDOZA

2.1 *Tramo central de la falla activa La Cal*

La significativa similitud existente (en términos de TPM, tasa de movimiento, tipo genético y tipo de falla UBC) entre la falla de corrimiento activa La Cal y algunas de las estructuras compresivas activas incluidas en el 1997 Ground Motion Project (UBC – ICBO [15] : fallas Los Osos, Los Alamos–West Baseline, San José, Mad River, North Frontal Fault Zone, etc), hacen posible, por un lado, la comparación relativa, y por otro lado, la generación de mapas tipo UBC para esta parte del norte de Mendoza.

De especial significancia es el tramo central de la falla La Cal, que fue objeto de extensiva exploración geofísica por la industria del petróleo, lo que permitió definir el estilo estructural de cobertura dominante en la región [16], además de proporcionar una sección estructural general que muestra la relación espacial y geométrica (en profundidad) de las estructuras compresivas que componen principalmente el Frente Orogénico del Cerro La Cal.

Este hecho, hace de este sector uno de los pocos sitios adecuados a lo largo de la falla La Cal, para aplicar científicamente, y con éxito, el criterio propuesto en la Fig. 2.

Por otro lado, estudios geomorfológico – tectónicos y paleosismológicos llevados a cabo en la zona de falla La Cal, y en especial en el tramo central, permitieron conocer no solo la longitud total de la falla activa, su geometría y variaciones geométricas a lo largo del rumbo, el carácter de las geoformas tectónicas dominantes, sino también la cantidad de

desplazamiento total acumulado en la escarpa de falla principal, el mecanismo de deformación superficial de la falla y sus parámetros asociados (Ej.: buzamiento del plano de falla en superficie), el mecanismo de migración del Frente de Empuje del Cerro La Cal en el Cuaternario, la cuantificación y modelado de la deformación histórica identificada al norte del Cerro La Cal, etc [9], [17], [18] y [19].
Esta información se complementa con las tasas de movimiento y migración estimadas para la estructura activa La Cal [9], [19] y [20].
Si bien los mapas de Zonas de Cercanía a la Fuente Sismogénica incluidos en el UBC, fueron publicados a escala regional (1 : 156.000)[15], los mapeos de las fallas activas que componen la base de datos más detallada, fueron realizados a escala de mayor detalle (1 : 24.000)[21]. En el norte de Mendoza, la totalidad de la zona de falla La Cal fue mapeada a escala 1 : 20.000, con al menos seis sectores (de varios km^2), entre los que se incluye el tramo central, mapeados a escala 1 : 5.000 [7], [9], [17], [18] y [19]. El mapeo del fallamiento activo fue realizado siguiendo el procedimiento sistemático, y con inventarios, propuesto por el Research Group for Active Faults of Japan (1991)[22].
Paralelamente, se realizaron vuelos de reconocimiento para obtener fotografías de Bajo Ángulo de Inclinación Solar, las cuales permitieron identificar geoformas de bajo relieve, además de evidencias o indicadores de reactivación tectónica reciente [9], [17] y [19].
Como resultado de la aplicación combinada de los criterios expresados en el punto 1.2, del mapeo detallado del fallamiento activo y de la información geomorfológico – tectónica y paleosismológica obtenida previamente, y citada en este punto, fue posible delinear las Zonas de Cercanía a la Fuente Sismogénica (ZCFS) para el tramo central de la falla activa La Cal (Fig. 3).
Por ser clasificada como falla Tipo B [7], según el criterio del UBC, el mapa delineado muestra a las zonas de 2, 5 y 10 km desde el trazo de falla, dentro de las cuales se sugiere aplicar (en California) factores adicionales en los cálculos ingenieriles.
De la simple observación del mapa (Fig. 3), se desprende que el ancho de la zona sombreada excede los 2 km, esto es debido a que la falla La Cal es un corrimiento buzando al oeste, por lo tanto al aplicar el criterio de determinación de distancia desde el trazo (Fig. 2), el bloque levantado de la estructura queda incluido dentro de la zona de mayor cercanía (2 km).

Para evaluar la aplicabilidad de las ZCFS delineadas para este sector del norte de Mendoza, se realizó un análisis comparativo del nivel del movimiento sísmico del terreno (en términos de AHP) anticipado por el criterio UBC para cinco (05) distancias diferentes desde el trazo de falla (0, 1, 2, 5 y 10 km), en comparación con modelos de atenuación desarrollados en función de datos mundiales [11] y [23], y de regiones sísmicas específicas [13] y [24].
La Tabla 3 muestra los resultados obtenidos, los cuales indican, por un lado, que para distancias de 0, 1, 2 y 5 km desde el trazo de falla, las leyes de atenuación basadas en registros provenientes de regiones sísmicas individuales [13] y [24], anticipan niveles más elevados del movimiento del terreno que el UBC. Mientras que los modelos de atenuación desarrollados con registros instrumentales mundiales, por otro lado, anticipan movimientos del terreno inferiores a los estimados por UBC, para las mismas distancias de cercanía a la fuente.
Para la distancia de cercanía de 10 km, el UBC supera a los cuatro criterios de atenuación considerados en la evaluación (Tabla 3).

Tabla 3. AHP anticipada por los modelos de atenuación seleccionados, para diferentes distancias de cercanía a la fuente (incluidas las zonas UBC 2, 5 y 10 km), en el tramo central de la falla La Cal.

Falla La Cal (falla B) TPM (Mw : 6.85)	Distancias de cercanía a la fuente sismogénica (km)				
	0	1	2	5	10
Suelo tipo D	Aceleración horizontal pico - AHP				
UBC 1997	0.66g	0.66g	0.66g	0.53g	0.44g
Boore et al. 1997	0.69g	0.68g	0.66g	0.55g	0.39g
Abrahamson-Silva 1997	0.65g	0.64g	0.61g	0.48g	0.30g
Ambraseys-Douglas 2003	0.58g	0.55g	0.52g	0.44g	0.33g
Ambraseys et al. 2005	0.70g	0.69g	0.68g	0.58g	0.42g

3 CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta lo expresado en los puntos 1.2 y 2.1, además de los resultados obtenidos en la Tabla 2, la Tabla 3 y la Fig. 3, se concluye que existen ventajas, desventajas y complicaciones al aplicar las zonas de cercanía a la fuente sismogénica tipo UBC en el norte de Mendoza.

3.1 *Ventajas*

La principal ventaja al aplicar las ZCFS en el norte de Mendoza, radica en el criterio propuesto por UBC (Fig. 2) para determinar la Distancia de Cercanía a la Fuente para fallas activas no verticales, el cual incluye gran parte, o la totalidad, del bloque levantado de la estructura.

3.2 *Desventajas*

Entre las desventajas más significativas se incluyen : (a) la imposibilidad práctica de delinear las ZCFS para estructuras plegadas y fallas ciegas, (b) el punto anterior excluye a aproximadamente el 40% de las estructuras potencialmente activas mayores del norte de Mendoza y (c) los niveles de movimiento sísmico del terreno anticipados por otros modelos de atenuación, para las distancias más críticas desde el trazo de falla (0, 1, 2 y 5 km), son más conservativos que los anticipados por el UBC.

3.3 *Complicaciones*

Las complicaciones más importantes que se observan al aplicar las ZCFS tipo UBC (1997), están relacionadas a : (I) la incertidumbre creada al proyectar geométricamente el plano de falla cuantificado en superficie, hasta una profundidad de 10 km, (II) la necesaria realización de mapeos sistemáticos (escala 1 : 5.000) y detallados estudios geomorfológico – tectónicos, paleosismológicos y geofísicos, para definir con verdadera precisión la localización, geometría y carácter del trazo físico de las estructuras activas que se encuentran muy cercanas al Gran Mendoza, y que parecen extenderse bajo el referido núcleo urbano.

REFERENCIAS

[1] J. Hall, M. Eeri & H. Thomas, Near-source ground motion and its effects on flexible buildings, Earthquake Spectra, 4, 1995.

[2] J. Brune, Shattered rock and precarious rock evidence for strong asymmetry in ground motions during thrust faulting, BSSA, 91, 3, 2001.

[3] V. Sokolov, L. Chin-Hsiung & W. Kuo-Liang, Characteristic of strong ground motion during the 1999 Chi – Chi, Taiwan earthquake and large aftershocks, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 22, 2002.

[4] G. Wang, X. Zhou, P. Zhang & H. Igel, Characteristics of amplitude and duration for near fault strong ground motion from the Chi – Chi, Taiwan earthquake, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 22, 2002.

[5] K. Meguro, Central part of Niigata Prefecture, Japan was striken by M 6.8 earthquake on October 23, 2004, ICUS Newsletter, Special Issue, 2005.

[6] M. Chigira & H. Yagi, Geological and geomorphological characteristics of landslides triggered by the 2004 Mid-Niigata Prefecture earthquake in Japan, Engineering Geology, 82, 2006.

[7] F. Mingorance, C. Llopiz, V. Erice & J. Chini, Estimación del movimiento sísmico del terreno en el área epicentral del terremoto de 1861 – Condición de campo cercano de la falla La Cal, III Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología, I, 2006.

[8] F. Morey, Los temblores de tierra – Mendoza Sísmica, Editorial D' Accurzio, 1938.

[9] F. Mingorance, Morfometría de la escarpa de falla histórica identificada al norte del Cerro La Cal, Zona de Falla La Cal, Mendoza, Revista de la Asociación Geológica Argentina, 61, 4, 2006.

[10] INPRES, Características principales del terremoto de Mendoza del 26 de Enero de 1985, INPRES, 11, 1986.

[11] N. Ambraseys & J. Douglas, Near- field horizontal and vertical earthquake ground motions. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 23, 2003.

[12] K. Campbell & Y. Bozorgnia, New empirical models for predicting near-source horizontal, vertical and V/H response spectra : Implications for design. 6th International Conference on Seismic Zonation, 74, 2000.

[13] D. Boore, W. Joyner & T. Fumal, Equations for estimating horizontal response spectra and peak acceleration from Western North American earthquakes . A summary of recent

work, Seismological Research Letters, 68, 1, 1997.

[14] EOS, Respectrum software, Engineering Optimization Software, Georgia, 2005.

[15] ICBO, Maps of known active fault near-source zones in California and adjacent parts of Nevada, ICBO, UBC, 1998.

[16] F. Bettini, Nuevos conceptos tectónicos del centro y borde occidental de la Cuenca Cuyana, Revista de la Asociación Geológica Argentina, 35, 1980.

[17] F. Mingorance, Parámetros geológicos de la deformación superficial cosísmica asociada al terremoto de Mendoza de 1861 (Ms : 7.0), Argentina. 7th International Congress of the Brasilian Geophysical Society, 27, 2001.

[18] F. Mingorance. Deformación tectónica cuaternaria y migración del frente de empuje del Cerro La Cal – Implicancias paleosísmicas, 7th International Congress of the Brasilian Geophysical Society, 27, 2001.

[19] F. Mingorance, Paleosismología histórica de la falla de corrimiento activa La Cal, norte de Mendoza, Argentina, (Tesis Doctoral) FCEFyN, UNC, 2004.

[20] C. Costa, M. Machette, R. Dart, H. Bastías, J. Paredes, L. Perucca, G. Tello & K. Haller, Map and database of quaternary faults and folds in Argentina, USGS, OFR, 00, 2000.

[21] E. Hart & W. Bryant, Fault-rupture hazards zones in California, CDMG, Special Publication 42, 1997.

[22] Research Group for Active Faults of Japan, Maps of active faults in Japan with an explanatory text, University of Tokyo Press, 1992.

[23] N. Abrahamson & W. Silva, Empirical response spectral attenuation relations for shallow crustal earthquakes, Seismological Research Letters, 68, 1, 1997.

[24] N. Ambraseys, J. Douglas, S. Sarma & P. Smit, Equations for the estimation of strong ground motions from shallow crustal earthquakes using data from Europe and the Middle East : Horizontal peak ground acceleration and spectral acceleration. Bulletin of Earthquake Engineering, 3, 2005.

ABSTRACT

Northern Mendoza is in a moderately seismically active region dominated by reverse and thrust faults, as well as complex anticline folds, which experienced tectonic activity in recent geological time. In this seismic region, where several mid-to-high magnitude earthquakes occurred between 1782 and 2006, there is a lack of near field acceleration records from such seismic events. Due to this lack of near source ground motion records from moderate to strong earthquakes, deterministic seismic hazard analysis are usually conducted in order to anticipate realistic ground motions associated to the future activity of potentially active faults close to the most populated urban centers. The analysis of the tectonic-geomorphologically – based Near-Source Zones delineated for the central section of the La Cal thrust fault, shows advantages, dis-advantages, and complications in applying the criteria of the Uniform Building Code (1997) in northern Mendoza.

Key Words : northern Mendoza – La Cal active fault – near-source zones – UBC – analysis

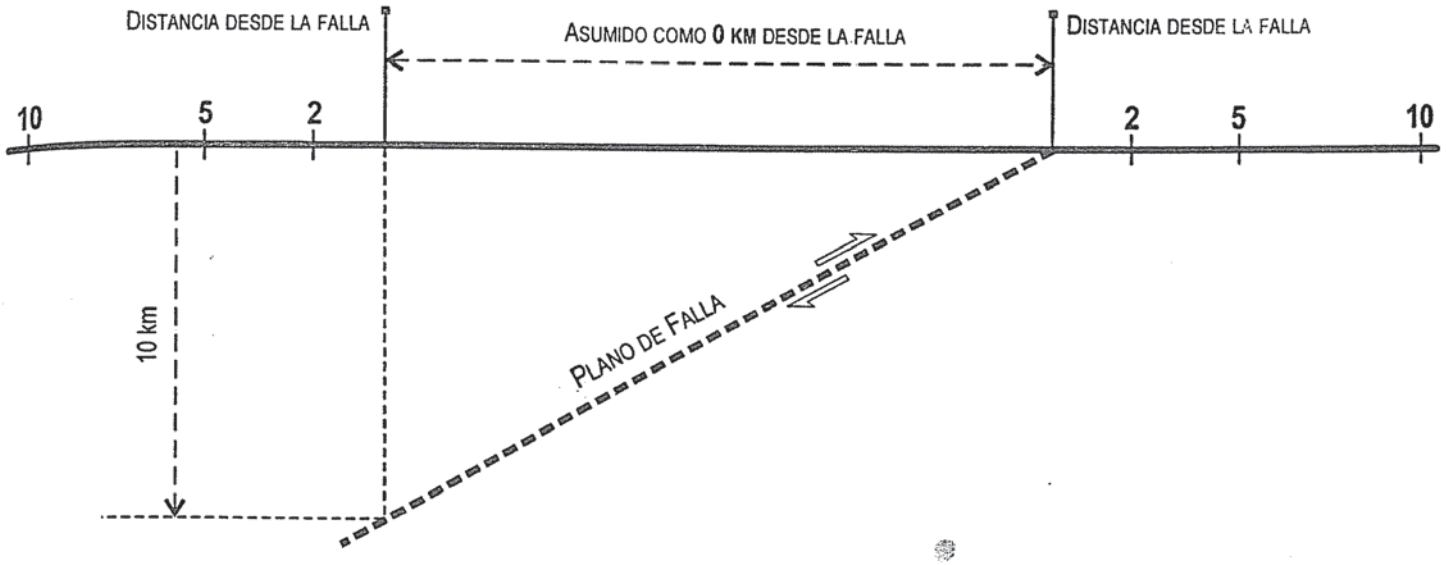


Figura 2. Criterio para determinar el ancho de las Zonas de Cercanía a la Fuente Sismogénica, para estructuras activas con planos de falla no verticales (simplificado de [15]).

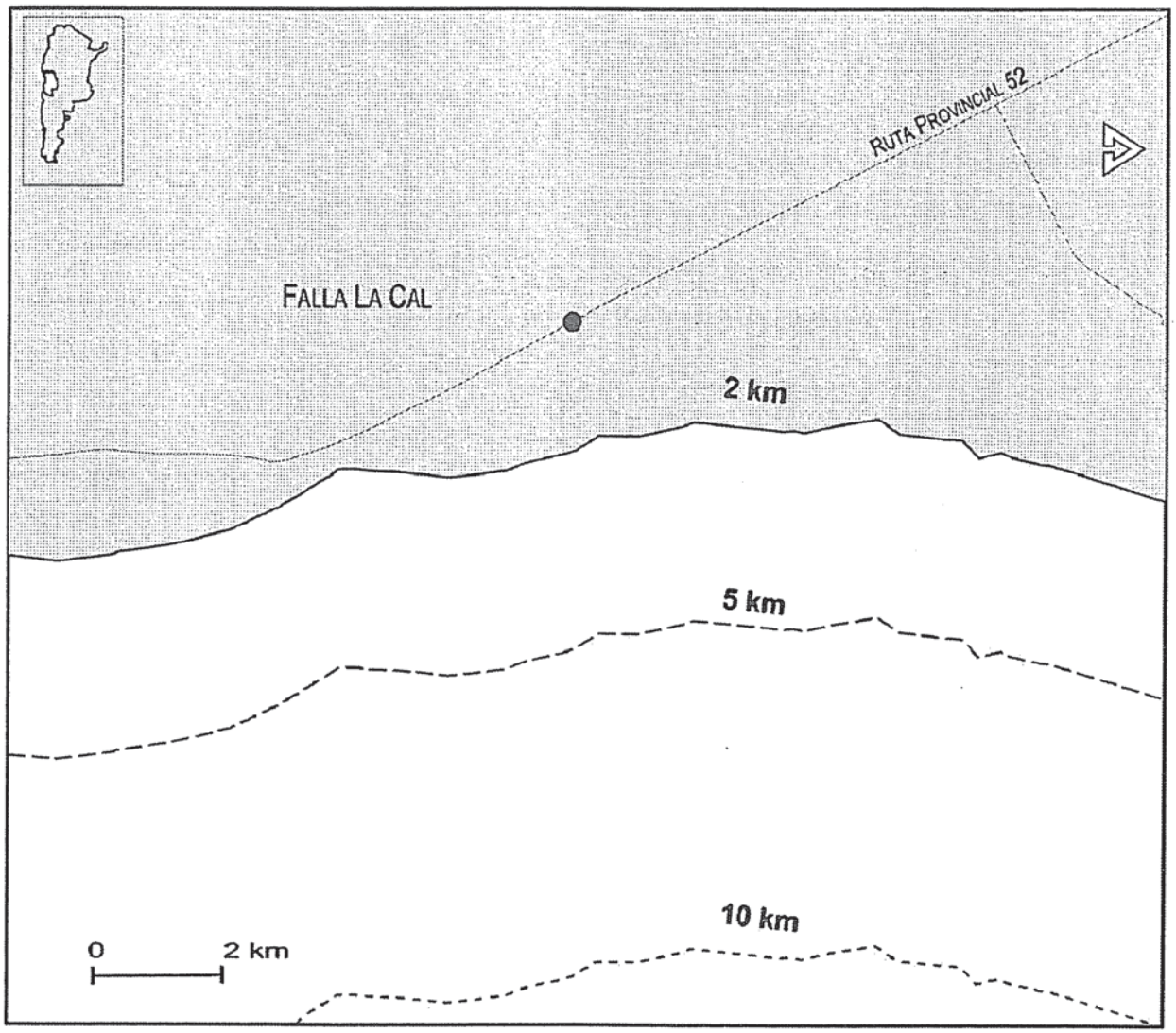


Figura 3. Zonas de Cercanía a la Fuente Sismogénica (falla B) delineadas para el tramo centro - septentrional de la falla de corrimiento La Cal, siguiendo el criterio ICBO - UBC [15]. El círculo lleno marca la posición del sitio de campo cercano evaluado previamente en el área epicentral de 1861 (ver Fig. 1).

Diagnóstico y propuesta de reparación de una cámara desarenadora afectada por sustancias agresivas en aguas de contacto.

C. O. Bay
cbay@frsr.utn.edu.ar
Departamento de Ingeniería Civil, Facultad Regional San Rafael, Universidad Tecnológica Nacional

RESUMEN: Se realiza un estudio de propuesta de reparación de una cámara desarenadora de hormigón armado ubicada en la ciudad de San Rafael, provincia de Mendoza. La estructura, de más de 50 años de antigüedad, presenta elevada corrosión de armaduras y desprendimientos importantes de masa de hormigón. La metodología utilizada para diagnosticar las posibles causas de deterioro se basó en ensayos de campo y documentación del proyecto. Se determinó que la agresividad del ambiente, la edad de la estructura, y los defectos constructivos la han llevado a dicho nivel de deterioro. Se determinó que el estado de la estructura es crítico y se confeccionó un grafico para hacer un pronóstico. Se concluyó que la estructura ha superado la vida útil para la cual fue diseñada y también se ha propuesto una metodología de reparación basada en hormigón proyectado.

Palabras clave: Patología – reparación – Irrigación – hormigón proyectado –

1 INTRODUCCION

El objetivo fundamental de este estudio es evaluar el estado de las armaduras de la cámara desarenadora del Río Diamante, ubicado este, en el departamento de San Rafael al sur de la provincia de Mendoza. La agricultura de la zona requiere de la red de riego para satisfacer la demanda hídrica, por tal motivo el Departamento General de Irrigación administra el recurso agua a través de los canales de riego. Se pretende hacer extensivo el presente estudio a las demás obras de irrigación del departamento de San Rafael ya que se considera al agua como la principal generadora de patologías.

1.1 *Características del Proyecto*

La documentación de base de partida se basa en planos de proyecto, planos Conforme a Obra y Estudios de Monitoreo químicos de valores contenidos en el agua de contacto.

La cámara desarenadora se construyó en el año 1.963, con estructura de "hormigón armado de no menos de 300 kg de cemento por m3", según especificaciones de planos, y armadura con hierro tipo AL22, liso con tensión de fluencia 240 MPa y tensión de rotura de 360 MPa. Cabe destacar que, según información del Departamento General de Irrigación, nunca se efectúo mantenimiento correctivo ni preventivo de la zona en cuestión.

Los síntomas patológicos, exposición de armadura principal y secundaria derivaron en la necesidad de una investigación para determinar su fuente y proponer una metodología para la rehabilitación de la estructura. En la fig. 1 se muestra una foto panorámica donde se observa la manifestación patológica sobre el muro izquierdo (frente en la fotografía).

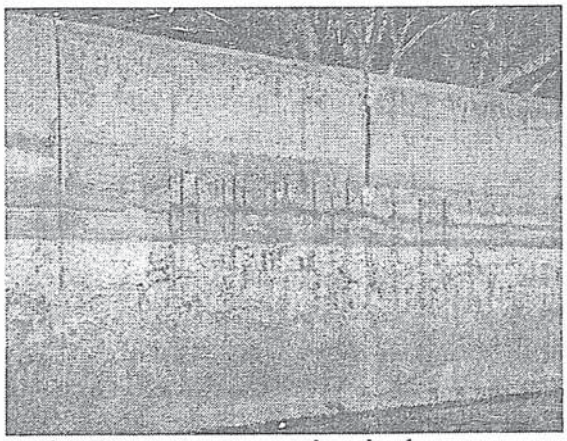


Figura 1. Izq. Cámara desarenadora en funcionamiento.

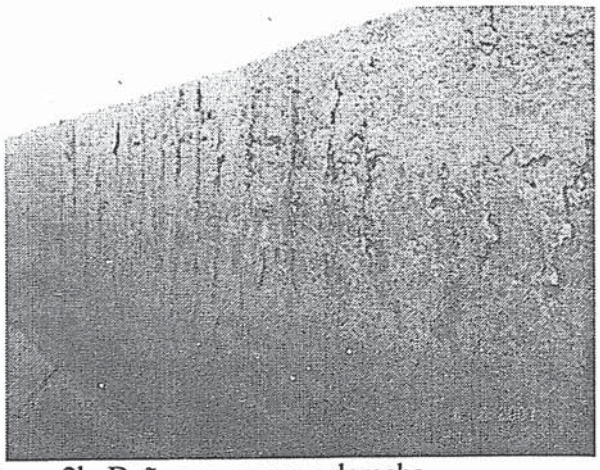
2 EVALUACION DE LAS PATOLOGIAS

2.1 *Descripción visual*

El daño se sitúa en sectores de la margen izquierda del canal matriz a la salida de la cámara desarenadora (fig. 2a y 2b), donde se exponen las armaduras con corrosión generalizada y avanzada, perdida de sección de la armadura y perdida total del hormigón de recubrimiento. La manifestación se encuentra en una franja de 1,30m de altura en coincidencia con el nivel de agua (mayor agresividad ambiente). La forma en que se observa atacada la armadura, generalizada, indica un ataque por carbonatación y no de cloruros (Fig. 2a).


Figura 2a. Daños en margen izquierda

En la pared izquierda la afectación es de una magnitud menor ya que se observa la fisuración en coincidencia con la armadura y comienzo del desprendimiento del recubrimiento (fig. 2b). No se han observado manifestaciones de fallas de flexión en los muros causadas por la disminución de la sección de armaduras.

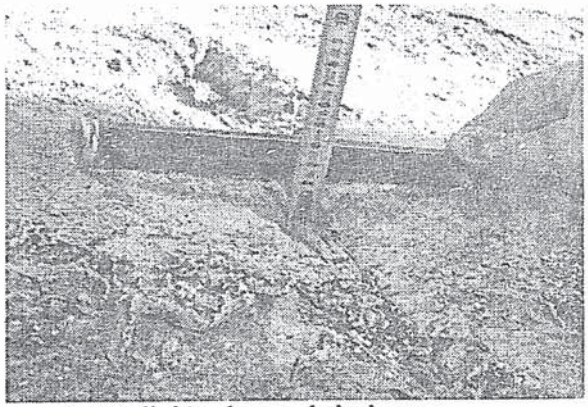

Figura 2b. Daños en margen derecha

2.2 *Ensayos realizados.*

Los ensayos ejecutados fueron: medición del recubrimiento existente, detección de armaduras (pachometría) y medición de avance del frente de carbonatación (fenoftaleína al 1%). Los ensayos se han ejecutado en lugares puntuales y en coincidencia con los mayores daños.

2.2.1 Medición de recubrimientos y pérdida de sección en armaduras

La medición de los recubrimientos se ejecutó en sectores donde el hormigón se encuentra fisurado y la armadura con alto grado de corrosión, para dañar lo menos posible a la estructura. (fig. 3)


Figura. 3. Medición de recubrimientos

Se observó que los recubrimientos a la armadura principal varían desde 12mm hasta un máximo de

20mm, lo cual resulta insuficiente para los requerimientos actuales del proyecto de Reglamento CIRSOC 201, Ref. [2].
Respecto de la disminución de sección de armadura se determinó una disminución del 50% en la margen izquierda. Sobre la margen derecha la disminución es menor debido a que las condiciones de exposición son más favorables.(fig. 4).

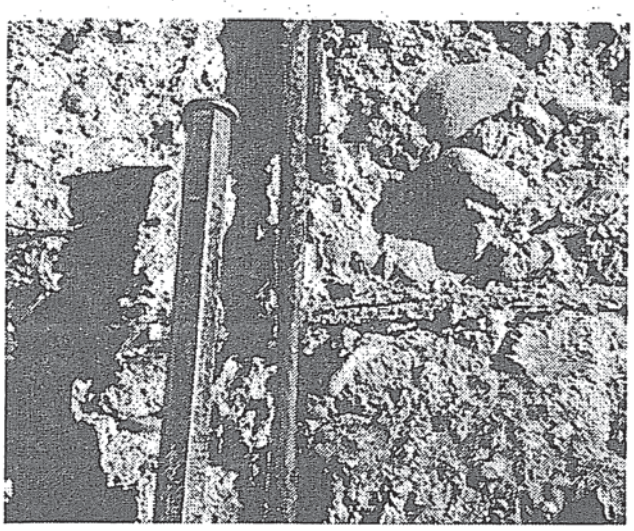


Figura 4. Perdida de sección de armadura. Comparación con una barra de 16mm.

avance de carbonatación. El ensayo se ha ejecutado colocando una disolución, compuesta por 1% de fenoftaleína, 49% de alcohol y 50% de agua destilada, sobre la superficie expuesta. Los sectores que manifiestan un color rojizo indican que el pH aún se mantiene en valores tales que no producen la des-pasivación de la armadura.

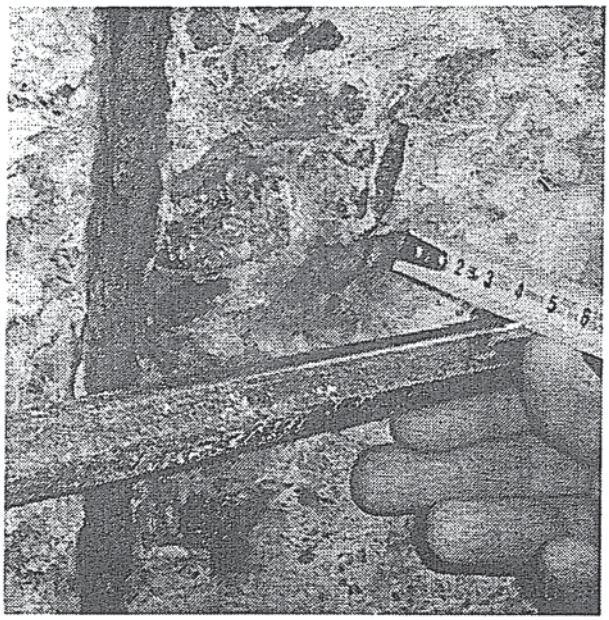


Figura 5. Ensayo de carbonatación

2.2.2 Pachometría.

Mediante este ensayo se determinó la posición física de las armaduras en el muro. Se detectó que la totalidad de la armadura (principal y de repartición) se ha dispuesto de acuerdo a planos de proyecto.

2.2.3 Ensayo de Carbonatación.

La carbonatación se define como una alteración superficial del hormigón por acción de la atmósfera (CO_2), la cual implica la perdida de su capacidad protectora sobre las armaduras en los hormigones. En nuestros ambientes, este fenómeno constituye la mayor causa deterioro de los hormigones armados.
Químicamente se produce una reacción entre el CO_2 del ambiente y el $Ca[OH]_2$ de la pasta de cemento disminuyendo el pH del hormigón despasivando las armaduras. La carbonatación comienza en la superficie expuesta al ambiente y con el tiempo se propaga hacia el interior dependiendo de las condiciones ambientales y las propiedades físico-químicas del hormigón.
Es necesario ejecutar un ensayo de carbonatación en la estructura afectada para evaluar el estado de

El ensayo se ha ejecutado en 7 muestras distintas sobre los muros laterales y se ha determinado que la carbonatación ha avanzado aproximadamente 18mm en 55 años de vida de la estructura. (fig. 5). De acuerdo a la edad de la estructura se esperaría una profundidad de carbonatación mayor, pero la influencia de la alta HR (humedad relativa) retarda el progreso de la carbonatación.
Si bien no se han realizado ensayos para determinar la resistencia y permeabilidad del hormigón, se ha supuesto una resistencia base de 20 MPa y una baja permeabilidad del hormigón debido a la baja relación agua/cemento (entre 0,40 y 0,50) que se utilizan en las obras del Departamento General de Irrigación.
Para evaluar la carbonatación puede remitirse a los gráficos de las figs. 6 y 7. En la derecha se muestra el avance de carbonatación en función de la calidad del hormigón y la edad del mismo. Suponiendo un hormigón C20 (equivalente a H20) de cemento Pórtland normal y 60 años de edad de la estructura el espesor carbonatado esperado es de por lo menos 35mm, contra los 20mm medidos por ensayo de fenoftaleína. La no concordancia se explica con el

grafico de la fig. 7 que muestra el efecto de la carbonatación contra la humedad relativa.

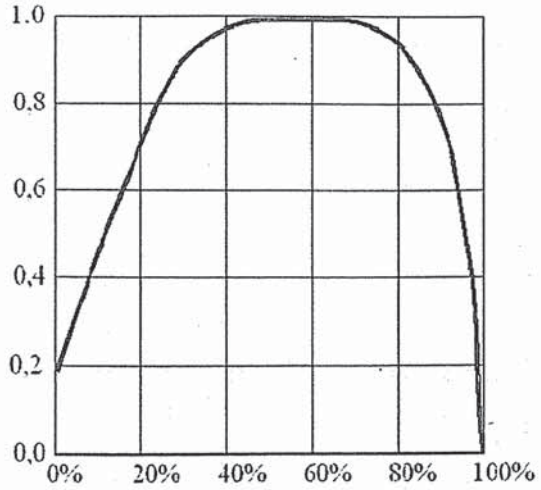


Figura. 6. Grado de carbonatación en función de la HR.

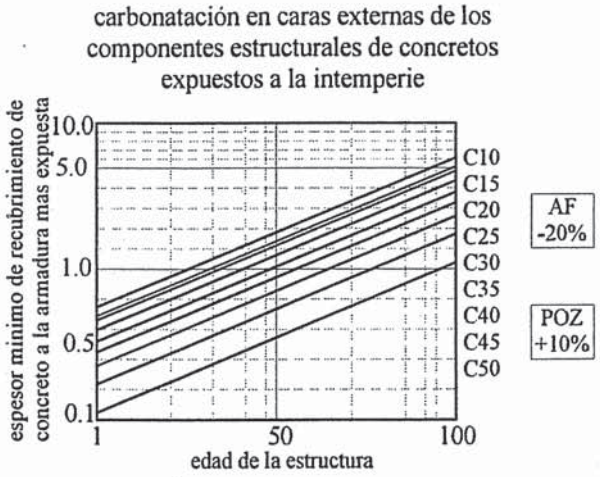


Figura 7. Avance de carbonatación en función de la calidad del hormigón y edad del mismo.

2.3 *Agresividad del Ambiente*

La agresividad del ambiente se determinó en base a datos provistos por el Departamento General de Irrigación y los procedimientos establecidos en el Proyecto de Reglamento CIRSOC 201 y la norma alemana TGL 11357.

2.3.1 Monitoreo del agua de riego.

Se utilizaron datos provistos por la División Control y Contaminación de la Subdelegación de Aguas del Río Diamante perteneciente al Departamento General de Irrigación en el Ingreso al Canal Matriz. La ciudad de San Rafael se sitúa a 813 msnm, tiene una precipitación promedio anual de 300mm y una temperatura media mínima de -6 grado. La HR oscila entre 40% y 60%.

Tabla 1. Análisis de agua. Sólidos en sedimentación. Contenido de aniones y cationes

	2005-2006			P-C201	
PARAMETROS	V. MAX	V. MIN	MEDIO	LIMITE	
ANALISIS FISICO QUIMICO					
pH	8.51	6.38	7.77	> 6.50	NULO
SOLIDOS SEDIM					
EN 10 MIN (ml/l)	0.30		0.12		
EN 2 HORAS (ml/l)	0.35		0.14		
CARACT.SEDIMENTO (ml/l)					
CONDUCTIVIDAD (m mho/cm)	1594.00	862.00	1202.81		
SOLIDOS TOTALES (ppm)	1016.00	656.00	783.33		
DUREZA TOTAL (°F)	476.00	16.80	55.84		
ANIONES					
CLORUROS (mg / l)	255.60	82.00	158.73		
SULFATOS (mg / l)	378.38	198.39	293.77	150-1500	MOD.
BICARBONATOS (mg / l)	181.17	45.75	125.70		
NITRATOS (mg / l)	10.00		2.63		
CATIONES					
CALCIO (mg / l)	145.00	33.66	115.69		
MAGNESIO (mg / l)	57.60	4.80	20.31	< 300	NULO
POTASIO (mg / l)	50.06	0.73	8.74		
SODIO (mg / l)	236.41	16.69	123.30		
DBO5					
D.B.O.5 (en 5 diás a 20 °C)	1.39	0.52	1.02		
ANALISIS MICROBIOLOGICO					
Coliformes Totales (NMP/100ml)	4300.00		257.72		
Coliformes Fecales (NMP/100ml)	2150.00		123.90		
Intermediarias no fecales	2150.00		133.81		

En la Tabla 1se muestran los máximos, mínimos y promedios de mediciones mensuales entre marzo de 2.005 y octubre de 2.006. En la planilla se han determinado el contenido de Aniones, Cationes, Análisis Microbiológico entre otros.

2.3.2 Evaluación de la agresividad de agua de contacto

En la Tabla 1 también se muestra los valores límites impuestos por el Proyecto de Reglamento CIRSOC 201. Se deduce que el pH se encuentra al límite y que los aniones sulfatos producen degradación moderada.
Según la norma alemana TGL 11357 el agua de contacto es débilmente agresiva por la combinación existente de magnesio, sulftato y cloruros. No obstante esta agresividad es aumentada debido a que el agua de contacto tiene una velocidad considerable, el nivel acuoso es variable, existe presión unilateral y la estructura de hormigón es de espesor reducido.

3 DIAGNOSTICO

De acuerdo a los datos recopilados y a los ensayos ejecutados se ha determinado el posible mecanismo y origen de la manifestación patológica.
Se han observado deficiencias en la etapa de construcción manifestadas por recubrimientos escasos para las condiciones de exposición de la estructura.
Las principales causantes de la manifestación patológica se atribuyen a la agresividad del ambiente en que se encuentra el hormigón y el moderado contenido sulfatos y de cloruros existentes en el agua de contacto. A su vez, los ciclos de hielo y deshielo en la zona de salpicaduras hacen disminuir los tiempos en los procesos de corrosión de las armaduras.
El grado de corrosión de las armaduras es alto, tómese en cuenta una perdida de 8mm en barras de 16mm, lo que representa casi 0,2mm por año y una k(corr) = 1,35 cm raiz(tiempo).
La estructura ya ha superado su vida útil, según el Proyecto de Reglamento CIRSOC 201, por cuanto es necesario realizar un mantenimiento correctivo en forma inminente a los efectos de evitar un colapso por falta de resistencia de los muros afectados.

3.1 *Verificación estructural*

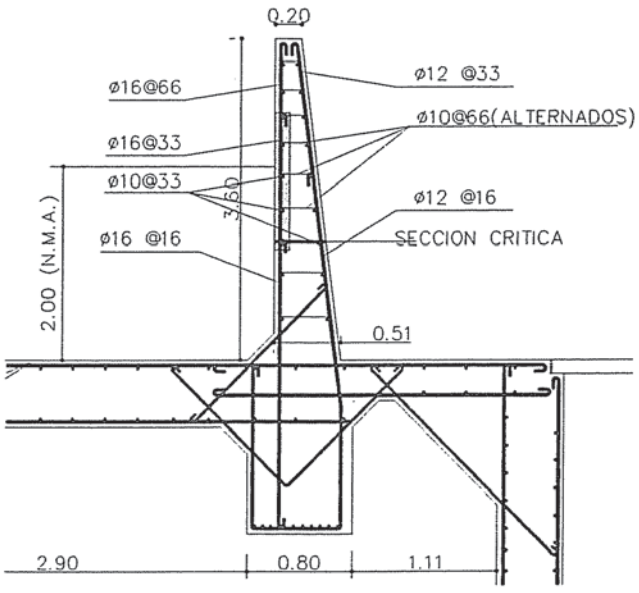


Figura. 8. Esquema de la sección analizada. En rayado la sección afectada por corrosión y la sección crítica.

Es necesaria una verificación estructural a los efectos de realizar un pronóstico sobre la estructura. La misma se ha realizado en la sección crítica, H=1,20m, de acuerdo a la geometría mostrada en la fig 8.

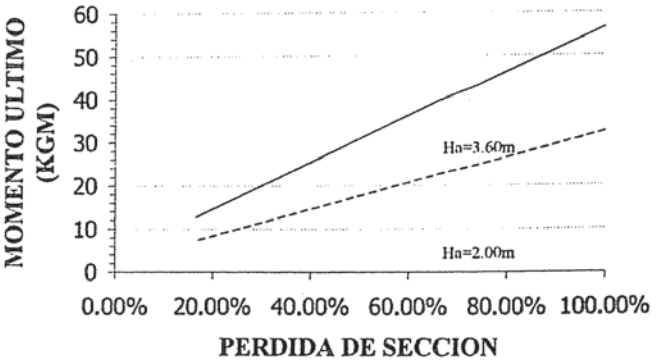


Figura. 9. Evaluación de la resistencia del muro en la sección crítica (1,20m de altura).

Se ha determinado la capacidad a flexo-compresión del muro en la sección crítica (H=1,20m). Ver fig. 9. La línea llena muestra la disminución de la capacidad flexional en relación a la perdida de sección por corrosión de las armaduras. Las líneas punteadas muestran la demanda flexional para las distintas alturas de agua posibles. Dicha curva no posee coeficiente de seguridad. La curva inferior de trazos contiene un coeficiente de seguridad de 1,75. Se deduce del grafico que para la condición normal (altura 2,00m) y perdida de sección actual 50% no existe peligro de colapso. Pero en caso de que la altura de agua llegue al máximo (3,60m) existe peligro de colapso del muro debido a que el coeficiente de seguridad se ha reducido en gran medida.

4 REPARACION Y MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Antes de citar las posibles metodologías de reparación cabe destacar que los problemas de patologías son evolutivos, es decir que a medida que pasa el tiempo la solución será más costosa. De acuerdo a la Ley de Sitter, Ref. [1], y considerando un mantenimiento correctivo es de esperar que el costo de la reparación sea 100 veces mayor que el costo de la construcción misma.
Básicamente pueden utilizarse dos metodologías en la reparación. Por un lado una técnica convencional agregando un espesor de hormigón en la cara afectada para restituir la masa de hormigón y por

otro lado utilizar hormigón proyectado. No obstante esto, la metodología general de cualquier reparación debe ser seguida, en primer lugar preparación del sustrato y luego reparación.
Se debe definir el procedimiento para ejecutar la reparación y luego diseñar el hormigón por los criterios de durabilidad, de acuerdo a lo exigido en el Proyecto de Reglamento CIRSOC 201.

4.1 *Diseño del hormigón de reparación.*

Debido a la importancia de la estructura desde lo funcional y estructural se adopta como vida útil de proyecto 50 años.
La clasificación del ambiente es CL (Corrosión por cloruros distintos del medio marino), C1 (HR mayor a 75% y temperaturas menor de 5dC) y Q1 (bajo contenido sulfatos).
La relación agua/cemento a utilizar debe ser menor de 0.45 y la resistencia mínima a especificar es 30MPa. En la ejecución del hormigón se debe incorporar aire intencionalmente en relación de un 5% en volumen de acuerdo TABLA 5.3 de Proyecto de Reglamento CIRSOC 201
Recubrimientos de armadura principal 35mm.
En caso de utilizarse el agua de contacto como agua de amasado no existirían problemas con el contenido de cemento ya que sería de 0,008% del contenido del cemento.

4.2 *Preparación del sustrato*

Se debe delimitar perfectamente la sección a reparar. Primeramente se debe eliminar la capa de hormigón carbonatado (disminuido su pH), que de acuerdo a los ensayos, resulta de 30mm aproximadamente. Este proceso se debe ejecutar por escarificación manual o mecánica.
Posteriormente se deben limpiar las armaduras y extraer todas las impurezas a los efectos de evitar cualquier principio de corrosión. Deben ser utilizados métodos de lijado mecánicos y a mano.

4.3 *Restitución de la armadura*

La armadura utilizada en los muros es AL22 con tensión de fluencia 220MPa y rotura del 360MPa. La armadura utilizada para la reparación es tipo ADN-S 420 (Soldable) con Fy = 420MPa. Por tanto en la sección crítica pueden reemplazarse las barras de 16mm por 12mm. Esto es importante desde el punto de vista de la durabilidad del hormigón, ya que los recubrimientos a utilizar serán mayores y los anchos de fisuras menores. En la fig. 10 se muestra la demanda flexional de acuerdo a la carga de agua y en líneas punteadas las capacidades nominales para dos propuestas de armaduras.

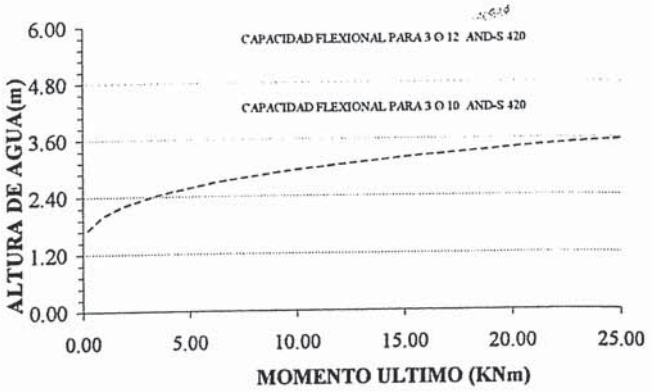


Figura.10. Demanda flexional en la sección crítica y capacidad de acuerdo a la propuesta de reparación.

Tabla 2. Cordones de soldadura para empalmes de armadura

BARRA [mm]	AREA [mm2]	t [mm]	Ls[cm]	
			TIPO I	TIPO II
8	50.3	4.5	4.5	2.5
10	78.5	5.0	6.5	3.5
12	113.1	5.5	6.0	3.5
14	153.9	6.0	8.5	4.5
16	201.1	6.5	9.5	5.0
18	254.5	7.0	11.0	5.5
20	314.2	7.5	12.5	6.5
22	380.1	8.0	15.0	7.5
25	490.9	9.0	20.0	10.0
28	615.8	9.5	26.0	13.0
32	804.2	11.0	32.0	16.0

Cada barra corroída que haya perdido más del 75% de su sección debe ser reemplazada por una barra ADN-S420 16mm. Para la ejecución del empalme se utilizará soldadura de solape en una cara, cuyo cordón de soldadura será de por lo menos 7cm según indicación de Tabla 2.

4.4 *Ejecución de hormigón proyectado.*

Luego de preparado el sustrato y repuestas las armaduras afectadas por corrosión se ejecuta la proyección de concreto sobre la superficie a reparar. Se trata de un método de colocación del material por

medios neumáticos a altas velocidades sobre la estructura existente. El procedimiento comprende el premezclado y transporte de todos los materiales, el ingreso del acelerante en la boquilla y la propulsión del producto final.
El procedimiento debe ser ejecutado en capas debido a que se trata de una reparación profunda. Se utilizará la vía húmeda para tener control sobre el ingreso de agua y dosaje del hormigón, también se reduce el rebote, hay menor dispersión en la resistencia y menor consumo de cemento. Todo esto resulta en una menor contracción, fundamental para evitar la fisuración.
El curado debe ser ejecutado con membrana y se debe proteger los primeros dos días de la irradiación solar.

5 CONCLUSIONES

En base a los ensayos ejecutados se ha determinado que la manifestación patológica ha sido producto del ambiente agresivo y envejecimiento natural que ha ocasionado la estructura. Existe un proceso de corrosión demasiado elevado que ha producido una perdida de sección del 50% en algunas barras. También se han producido desprendimientos del hormigón producido por del aumento de volumen de la armadura.
El pronóstico para la estructura es que para una carga completa de agua la estructura no posee coeficiente de seguridad, dando lugar a una reparación inmediata a los efectos de no incurrir en un elevado riesgo de colapso.
Debido a la agresividad del ambiente en que se encuentra la estructura y hormigón de reparación debe ser H30 con a/c 0.45 e incorporación de aire para obtener una vida útil de 50 año según especificaciones del Proyecto de Reglamento CIRSOC 201-2002.
La metodología de reparación se ha basado en un hormigón proyectado por vía húmeda con restitución de las armaduras afectadas. Es importante continuar con el estudio a fin de realizar una evaluación económica y comparativa de las dos metodologías propuestas.

AGRADECIMIENTOS

Al Mg. Ing. Ricardo Bassotti Jefe de la División Estudios y Proyectos, de la Subdelegación Aguas del Río Diamante, del Departamento General de Irrigación y Director de Departamento de la carrera de Ingeniería Civil, de la Universidad Tecnológica Nacional Regional San Rafael, por toda la información suministrada.-

REFERENCIAS

[1] W.R. Sitter, Cost for service life optimization. The "law of fives". In CEB-RILEM. Durability of concrete structures, 1983
[2] INTI. Centro de Investigación de de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles. Proyecto de CIRSOC 201. Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón, 2001.

ABSTRACT

A study for the repair of a reinforced concrete unsand-camera is made located in the city San Rafael, Mendoza, Argentine. The structure, of more than 50 years of antiquity, displays high corrosion of the rebar and important loosenings of mass of concrete. A study was made to diagnose the possible causes of deterioration. The methodology was based on tests of field and documentation of the original project. One determined that the aggressiveness of the atmosphere, the age of the structure, and the constructive defects have taken it level to this of deterioration. One determined that the state of the structure is critical and a graph was made to make a prognosis. One concluded that the structure has surpassed the life utility for which was designed and also a methodology of repair based on the projected concrete has seted out.

Key Words: Pathology – Repair – Irrigation – Grouting

Hidrología del río Atuel y las precauciones con la línea de ribera en el tramo entre Valle Grande y Rincón del Atuel

F.A. Di Lello
fdilello@ciudad.com.ar
GEPRO, Instituto de Hidráulica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo

RESUMEN: Los embalses del río Atuel y su modo de gestión han modificado la forma de aparición de los caudales en el tramo de aguas abajo de ellos, mostrando un comportamiento diferente al natural. Estos embalses atenúan en parte las crecientes de la cuenca superior, pero no impiden que ante lluvias intensas aparezcan súbitas crecidas torrenciales, propias de estas subcuencas. Una de esas crecientes extraordinarias hizo pasar durante 7 horas 120 m^3/s por el túnel de desvío de Valle Grande, entonces en construcción, más otros 25 m^3/s por el vertedero de la ataguía. En noviembre de 1952 otra creciente aportó 300 m^3/s durante dos horas, inundando las obras en construcción de la Central Nihuil N°2. En otras oportunidades eventos similares han producido importantes daños en las Centrales N° 2 y 3, dejándolas fuera de servicio. Por ello se repasan las precauciones y recaudos tomados durante el desvío del río en Valle Grande, y se comparan con los criterios del DGI para fijar la línea de ribera en base a un caudal de 80 m^3/s. Complementariamente se analiza someramente la sustentabilidad de un aprovechamiento hidroeléctrico y la nueva situación jurídica de las tierras de las márgenes del río Atuel en ese tramo.

Palabras clave: Atuel – crecientes – desvío – embalse – ribera

1 INTRODUCCION

Una obra hidráulica correcta demanda un largo período de estudios topográficos, geológicos, hidrológicos, energéticos, estructurales, económicos, ambientales, etc., y requiere un equipo de técnicos especialistas. Pueden pasar luego varios años antes de enfrentar el desafío de su construcción, tarea difícil y conflictiva. Los recursos ingenieriles y la tecnología actual hacen que a veces se den por "sobreentendidos" los aspectos constructivos. Esta equivocada asunción infunde demasiado optimismo, frente a las dificultades de cualquier proyecto.

2 EL INGENIERO EMPRENDEDOR Y SU ESPÍRITU INVESTIGADOR

Obras como la presa de Valle Grande, requirieron la radicación de un grupo humano muy heterogéneo, en condiciones no muy cómodas y en aquél entonces muy alejados del confort de las ciudades, pero con un espíritu común y que es mayor que la simple suma de sus voluntades. Es el espíritu que se posesiona de todos los que deben actuar como dirigentes, apoyados en la motivación que plantea la obra, soñándola ya terminada y devolviendo con creces la energía y el esfuerzo a entregarle.

Los Ingenieros y los Empresarios constructores del progreso son de espíritu siempre joven y decidido, lo que los muestra como nacidos para sus logros técnicos de base científica, dando a veces una sensación de audacia e impulso incontrolado, pero basados en anteriores experiencias exitosas y una permanente investigación de lo nuevo.

Para realizar las operaciones y trabajos que vamos a repasar, son necesarios equipos adecuados, buenos

proyectos y bien sincronizados en el tiempo y el espacio. Sin el concurso del hombre y el esfuerzo coordinado de un numeroso elenco, por más planos y máquinas disponibles, nada sería posible.

3 PARTICULARIDADES DEL RÍO ATUEL

Durante 10 meses al año el río Atuel conduce un caudal con ciertas particularidades en cuanto a la calidad de sus aguas y una manifiesta estacionalidad de sus aportes, los que varían entre 30 a 60 m^3/s.

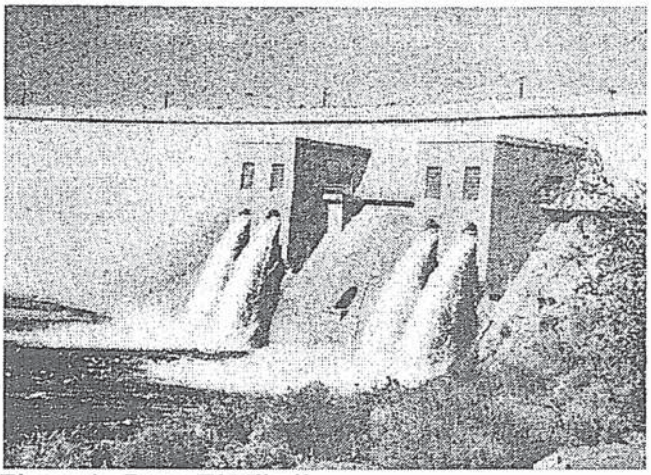


Figura 1. Presa El Nihuil

Con el embalse El Nihuil, el comportamiento del río Atuel cambió, siguiendo una modalidad en el tiempo adaptada al modo en que se lo gestiona, siendo ahora un río distinto al natural que muestra que:
a) En junio y julio de cada año hay una corta total.
b) La presencia del embalse El Nihuil (Fig. 1) y la constancia mensual de los caudales de riego, pueden reducir la posibilidad de crecientes torrenciales desde la cuenca superior, pero aún quedan las lluvias que precipitan en las cuencas existentes entre El Nihuil y Valle Grande, y en la subcuencas aguas abajo de ésta. A pesar de ser de baja frecuencia, son crecientes de segura repetición anual Ref. [1] entre noviembre y marzo, con aforos que han alcanzado caudales instantáneos del orden de 300 m^3/s durante dos horas en noviembre de 1952.

4 LAS SUBCUENCAS INTERMEDIAS Y LAS POSIBILIDADES DE CRECIENTES

Entre El Nihuil y Valle Grande y de allí hasta Rincón del Atuel hay varias subcuencas de comportamiento torrencial, las cuales ofrecen la posibilidad de súbitas crecientes a partir de lluvias intensas y de corta duración, que pueden precipitarse en esas áreas, dando lugar a severos incidentes.

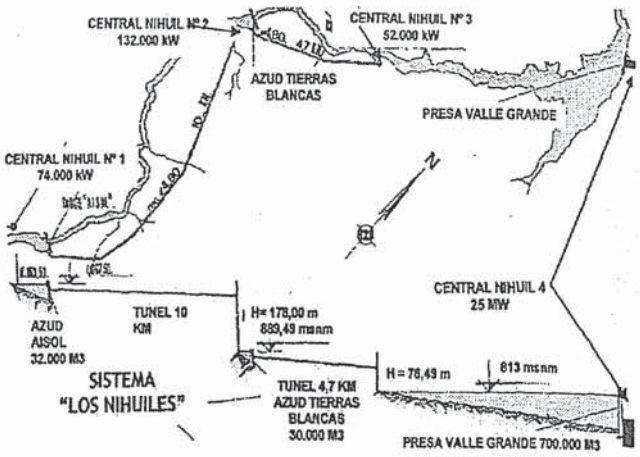


Figura 2. Sistema del río Atuel hasta Valle Grande

La importante magnitud que pueden alcanzar esas crecientes, como su posible intensidad y frecuencia fueron determinantes para el dimensionamiento y manejo del desvío del río Atuel en Valle Grande.
Las precauciones y recaudos aplicados para el manejo de este tipo de eventos, sumados al hecho trascendente que ha significado la contribución realizada por el DGI de proceder a la determinación de la línea de ribera del río Atuel en el tramo Valle Grande y Rincón del Atuel, motivó este análisis de algunos aspectos relevantes del tema.
En ese sentido se repasan las precauciones tomadas para la ejecución de las obras (Fig. 2), pero considerando ahora la sustentabilidad del recurso hidráulico en el tramo en cuestión, frente a la nueva situación jurídica de las tierras en las márgenes del río Atuel. También se realiza un somero análisis de los posibles conflictos si se aprovecha en un futuro próximo el tramo del río hasta Rincón del Atuel.

5 CAUDAL ESTIMADO PARA EL DESVÍO DEL RÍO EN VALLE GRANDE

El valor del caudal esperado, y las precauciones tomadas entonces, fueron para preservar el profundo recinto excavado para fundar la presa de Valle Grande, a unos 50 m por debajo del pelo de agua en condiciones normales y tan sólo protegida con una ataguía fundada en el aluvión del río. Si la creciente llegaba a superarla, significaba el colapso total de lo realizado, con la consiguiente pérdida económica.
Aunque el cauce en el sitio seleccionado para el desvío, era lo suficientemente amplio como para desarrollar el desvío a cielo abierto y con canales laterales, no se concretó así debido a:
a) la gran permeabilidad del aluvión que cubría el cauce, que aconsejaba alejar lo máximo posible la traza del desvío y la restitución al río.

b) La necesidad de permitir el paso de crecientes de 300 m^3/s, condición de difícil logro sólo con canales.
c) En la zona del cierre era escaso el desarrollo de la garganta y estaba casi totalmente ocupada por el recinto para fundar la presa, lo que impedía ubicar una ataguía a suficiente distancia del límite de aguas arriba de la excavación. A todo esto se le sumaba la vecindad del A° Cochi-Có, (Fig. 3) el que se incorporaba al río Atuel casi en el cierre. Ref. [2]



Figura 3. Vista de las obras de Valle Grande

Esos factores aconsejaron elegir un sistema más seguro para el desvío, con adecuada y efectiva capacidad como para erogar importantes caudales y que fuera confiable para proteger una fundación tan profunda. También fueron consideradas las posibles filtraciones en el aluvión y el modo de disminuirlas hasta límites razonables.
La solución del desvío (Fig. 4), se componía de:

a) Un túnel circular de 5,40 m de diámetro con 250 m de desarrollo, casi íntegramente excavado en el aglomerado tobáceo de la margen derecha.
   La excavación no presentó mayores dificultades y el túnel fue usado para atender el riego mientras se construía la presa.
b) A cota normal del embalse creado por la ataguía (754,50 msnm), era posible derivar un caudal de hasta 77 m^3/s, con una velocidad de 4,84 m/s, suficientes para atender el riego.
c) La revancha entre el coronamiento la ataguía y nivel del embalse creado por ella era adecuada, y no hubieron interferencias con la necesaria disminución de las filtraciones en el aluvión, lo que habría demandado un bombeo más costoso.
d) Con cargas menores a la correspondiente a la altura máxima de la ataguía (760,00 msnm), se podían erogar hasta 120 m^3/s.

6 CRITERIOS PARA DIMENSIONAR EL DESVÍO EN VALLE GRANDE

Si bien los pliegos de la obra indicaban una creciente de 300 m^3/s durante 2 horas, para el desvío del río, valor que surgía de lo registrado en noviembre de 1952 por AyE, se tenía también la certeza de que frente a una lluvia general en toda la cuenca, podrían llegar a superponerse los aportes del río Atuel con los del A° Rincón del Molle y el A° Cochi-Có, lo que llevó a diseñar un sistema capaz para una creciente de 600 m^3/s (el doble) y durante dos horas.

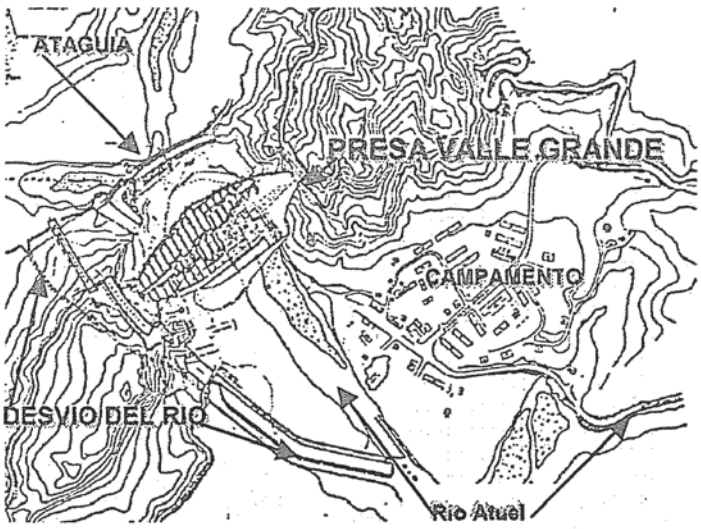


Figura 4. Planimetría de las Obras y del desvío

Para ello se proyectó el túnel con 4,50 m de diámetro terminado, el cual con embalse mínimo (765 msnm) permitía cumplir las demandas de riego. También fue verificado que pudiera llegar a erogar hasta 120 m^3/s.
Sin embargo el caudal de desvío se presentó antes de que se realizara el hormigonado del túnel de 0,45 m de espesor, por lo que hubo que ponerlo en servicio con la roca aún desnuda. Para ello se hizo un examen geotécnico de la competencia de la roca del túnel, verificándose que no habría peligro de derrumbes durante la circulación del agua.
Como la rugosidad (Bazin) del túnel sin revestir era mayor $\gamma = 1{,}75$, el rendimiento hidráulico se reducía, por lo que recién para una carga cercana a los 10,00 m se lograba el caudal propuesto, a pesar de la mayor sección disponible (D =5,40 m).
Una vez revestido el túnel en hormigón, la rugosidad pasó a ser $\gamma = 0{,}30$.
Con una altura 12 metros en el embalse, se retuvieron casi 4 hm^3, ya que por los dos afluentes ya mencionados, el vaso se ensanchaba rápidamente en la entrada de la garganta. Quedó así definida la

altura del coronamiento (cota 760 msnm), que permitía el caudal requerido para riego y si el agua alcanzaba el umbral del vertedero (cota 759,00 msnm) pasaban hasta 120 m^3/s por el túnel, configurando así un conjunto que permitió erogar la creciente máxima prevista, con una v = 8 m/s.
Como durante la mayor parte del tiempo el agua circulaba a velocidades menores (régimen de riego), durante la corta se arreglaban las zonas afectadas, por lo que se pudo prestar un muy buen servicio.

7 CARACTERÍSTICAS DE LA ATAGUÍA

Fueron necesarios cerca de 50.000 m^3 de escollera arrojada para alcanzar los 12 m de altura de la ataguía, los cuales en su mayor parte salieron de las excavaciones en las laderas del cierre. El talud mojado era de piedra acomodada a mano, y para mayor estanquidad con las juntas tomadas con mortero. Con 160 m de desarrollo y de eje curvo, alcanzaba la roca de ambas márgenes, y estaba fundada en el lecho del río a cota 748 msnm. El vertedero con desarrollo lateral y umbrales de entrada y salida en roca, estaba ubicado hacia la margen derecha.
Durante la construcción de la ataguía se dejaron en toda la altura de la escollera pequeños orificios de 0,30 m de diámetro, para permitir el paso de las perforaciones para inyectar luego el aluvión, y así reducir su permeabilidad. Ref. [3]

8 EMBOCADURA DEL TÚNEL DE DESVÍO

Para lograr la embocadura fue necesario excavar una amplia dársena, la cual permitió que durante el período de desvío ingresaran los caudales, aún durante crecientes, y luego ella sirvió para la fundación de las obras de toma.
Para prevenir cualquier contingencia intempestiva del agua durante la construcción, que habría sido muy peligroso para las cuadrillas que trabajaban en tres turnos continuos.
La toma se mantuvo cerrada provisoriamente con un tapón de hormigón, el que se había diseñado para resistir la presión hidrostática, pero con sencilla remoción al desviase el río.
Como sección de control había un marco de hormigón apto para colocar unas vigas yuxtapuestas de hormigón armado (palconcellos), reduciéndose la sección del túnel a 2,00 m de ancho. En todo el contacto con la roca y detrás del tapón de hormigón se hicieron perforaciones para colocar el explosivo para después poder volar la roca.

9 RESTITUCIÓN AL RÍO

Como solución de continuidad luego del túnel se prolongó la conducción mediante un canal hasta la restitución al río. En los primeros 60,00 m se superponía con el área destinada a la tetrafurcación, la casa de válvulas y su dársena de descarga. Las fundaciones se hicieron de modo de ir definiendo la sección del canal y para que sirvieran también como obras definitivas.
El río Atuel en ese tramo presenta una pendiente del 1%, por lo que el canal de restitución (que al principio no se revistió) tuvo un desarrollo de unos 300 metros. Con ello se evitó la construcción de la contraataguía de aguas abajo.
Pero como la permeabilidad del aluvión resultó ser superior a la prevista, las filtraciones desde el canal hacia el recinto fueron muy importantes, por lo que hubo que revestirlo finalmente en toda su longitud.

10 CIERRE DEL RÍO Y PUESTA EN SERVICIO DEL DESVÍO

Los hechos confirmaron el acierto de las previsiones adoptadas. El primer período de lluvias apareció en el verano 1958-59. Todo el sistema estaba operativo, excepto el cierre del descargador de fondo de la ataguía, operación que exigía una corta del río, de por lo menos 24 horas.
Como en aquel entonces las autoridades del DGI eran muy reacias a conceder cortas, permitieron solamente una desde el sábado 20 de diciembre de 1958 hasta el domingo 21. En ese lapso y con un caudal de 1 m^3/s, que era el mínimo caudal que quedaba en el río después de una corta, se hizo el cierre de dos conductos rectangulares de 1,20 x 2 m.
El cierre en sí fue mediante unos tubos cilíndricos, usados como compuertas y con suficiente peso, pero con fondo hueco para que flotasen. Los tubos eran de hierro, engrosados con 0,10 m de hormigón y de mayor diámetro que la embocadura rectangular de modo que sellaran la entrada, luego de lanzados con una grúa desde el coronamiento de la ataguía.
Al subir el nivel del agua, se obstruyeron los conductos por la presión ejercida sobre los tubos, afirmándolos contra la embocadura. La maniobra se realizó en un todo como fue planeada y se completó el cierre colando hormigón por el hueco de los tubos y por los conductos desde agua abajo. Después de 30 horas de trabajo ininterrumpido, se pudo completar el desvío del río a las 18 horas del domingo 21 de diciembre de 1958, con el cierre de la descarga de fondo del dique-desvío y la protección del pie de la

ataguía para el caso de una creciente. Sin este cuidado al crecer el nivel del embalse hasta los 12 m, la descarga del agua sería contra el aluvión de la fundación a velocidades de hasta 15 m/s. Cuando se alcanzó la cota 754,00 en el embalse y pasaban los 55 m^3/s por el túnel y canal de restitución, se estuvo en condiciones de atender el caudal de riego.
A último momento se decidió dejar el umbral del vertedero de la ataguía a cota 758,00 (o sea 1,00 m más bajo), porque todavía no se habían iniciado las excavaciones del aluvión para fundar el dique.

11 PRIMER CRECIENTE DERIVADA

El 22 de diciembre de 1958 a las 21 horas (al día siguiente de su terminación) se produjo una creciente extraordinaria, y el agua alcanzó rápidamente la cota 759.50, pasando cerca de 50 m^3/s durante varias horas, con un tirante de 1,50 m sobre el vertedero. Ref. [4]
Otro logro fue que la cota 760 msnm del coronamiento no se superó, y luego de 7 horas el nivel del agua descendió, sin que se observaran daños en la obra. Puede verse la importancia de la creciente por el hecho de que por el túnel pasaron 120 m^3/s durante ese tiempo, más un promedio de 25 m^3/s por el vertedero, a los que hay que agregarle los 4 hm^3 del pequeño lago formado por la ataguía.
La creciente en Valle Grande que se acaba de detallar, es de características muy similares a la que, aguas arriba de Valle Grande inundó en noviembre de 1952 las obras de Nihuil N° 2 y que significó la rescisión de aquel contrato. Años más tarde (1977) otra creciente similar Ref. [5] inundó las centrales N°2 y 3, la cual además de dañar a los generadores, dejó más de 1,20 m de sedimentos en el parque de distribución.

12 OPERACIÓN DEL RÍO Y OTRAS OBRAS

El desvío fue realizado para dejar en seco el cauce y excavar la garganta en donde se construiría la presa de contrafuertes. Cuando el hormigón alcanzó un par de metros por encima del nivel del río, se lo volvió al cauce para dejar en seco el sitio y completar las obras para riego. Esta redesviación o vuelta del río a la garganta fue primero planeada por el álveo, a cuyo fin se pensaron dejar aberturas en dos morros y dos pilares que serían cerrados luego mediante tableros fijos de hormigón. Esta solución luego se desechó, proyectándose en su lugar un canal por margen izquierda, contenido en el elemento 15 de la presa. La importante ampliación de las excavaciones originada en la zona de sobreescurrimiento y otros accidentes geológicos, hicieron descartar también esta solución, debiéndose recurrir a la construcción de dos túneles complementarios. Uno de ellos, paralelo a la derivación de riego, a unos 50 m hacia la ladera, en margen derecha, el que se construyó en los primeros meses de 1962 con una sección de 2 x 2,50 m, y un largo de 280 m, que podía erogar hasta 25 m^3/s. Con esto se pudo dejar en seco el túnel de riego para completar su revestimiento y las obras en la toma.

13 PRESENCIA DE UN EMBALSE EN EL RÍO

La presencia de un embalse con suficiente capacidad como para retener las crecidas naturales del río y poder luego gestionarlo de modo de atenuar los efectos indeseables aguas abajo, hace que se pueda llegar a pensar que las inundaciones han dejado de tener las anteriores consecuencias desastrosas o bien que si llegan a aparecer serán de mucha menor intensidad, quedando así protegidas zonas ribereñas antes muy afectadas por tales crecidas.
Toda obra hidráulica que se incorpore en un río produce ciertos efectos en el tramo de aguas abajo, los que en parte son beneficiosos, pero que de ningún modo pueden considerarse como definitivos, ya que en todo caso son sólo temporarios y siempre susceptibles de modificarse.
Cualquier cambio en el manejo del embalse incorporado, puede dar lugar a descargas importantes que alteren el régimen hídrico que se había llegado a considerar como "normal".
Esta situación obliga a tratar al tramo de cauce aguas abajo de una obra de regulación, como un elemento distinto del entendido por río, dado que a partir de la puesta en operación del embalse, las aguas dejan de correr de modo natural y continuo, para hacerlo cumpliendo premisas de carácter económico, y por lo tanto mutantes en el tiempo.
Es decir que las crecidas no se han eliminado, sino que continuarán ocurriendo algunos eventos, tal vez con otra modalidad y frecuencia, pero que aún pueden dar lugar a niveles altos en el río. Y tal vez lo más grave, es que pueden llegar a aparecer efectos aún más severos que antes de la presencia de la obra.
Otra situación grave se origina cuando no hay definición de una línea de riesgo (hasta donde hay tierra firme), lo cual puede alentar, y de hecho sucede así, que algunos particulares ocupen tierras ubicadas por debajo del nivel correspondiente a una

línea de ribera sin definir. Pero ahora el problema es con qué criterio debe definirse la línea de ribera.
El lecho del río jurídicamente Ref. [6] no es susceptible de apropiación por particulares, mientras no medie su desafectación por un acto formalmente legítimo del poder público. En el caso de las riberas y tierras contiguas aguas abajo de los embalses, al estar acotado en parte el riesgo de inundación, podría posibilitarse su uso mediante un régimen de concesión que incluyera medidas de carácter restrictivo en cuanto a su destino, conforme a modernos conceptos sobre zonas de ribera.
La capacidad de un embalse para laminar las crecidas siempre es finita y aunque pueden llegar a retenerse gran parte del agua de una avenida, necesariamente otra parte debe ser evacuada, para recuperar vaso y poder enfrentar otra nueva crecida, aumentando así el caudal del río aguas abajo. Más allá de las multas por estas modalidades operativas, es la sociedad (los contribuyentes) quienes terminan pagando el costo de la reparación de los eventuales daños económicos emergentes.
Sin embargo las pérdidas de vidas son irreparables como tampoco es posible mitigar el daño moral ocasionado. Podría pensarse entonces en una reformulación de las pautas de manejo del embalse y determinar nuevas áreas de inundación potencial, o sino proceder a indemnizar y reubicar a los pobladores en peligro.

14 ZONAS CON RIESGO DE INUNDACIÓN

El Estado puede actuar recurriendo a diferentes programas de ayuda para los damnificados por una inundación inducida por la operación del embalse, o por una mala operación del mismo, con la utilización de fondos que podrían haberse usado en otros fines.
Es decir, si los responsables de definir las reglas conocieran bien los problemas de cada cuenca, y a su vez la comunidad supiera que hay reglas sabias y suficientemente claras para todo el que realiza una actividad en áreas con riesgo de inundación sabría a qué atenerse y el Estado no tendría que preocuparse.
Pero ante la falta de reglas o si las mismas no alcanzan a ser razonables y claras, los pobladores avanzarán sobre el río, ocupando zonas posibles de inundarse. Pasada la inundación será el Estado benefactor, quien deberá actuar generosamente ante el reclamo de la comunidad "afectada".
La autoridad competente debería definir adecuadamente las áreas inundables, como también aquellas zonas con riesgo de inundación aguas abajo de las presas, pero considerando bien la realidad vigente, es decir que de producirse importantes descargas reguladas y la consecuencia será que aumentarán las zonas inundables por ese tipo de descargas. Hay situaciones que pareciera que se han omitido en la definición adoptada por el DGI, particularmente relacionadas a eventos como los que se han relatado en detalle en los puntos correspondiente al desvío del río en Valle Grande. Esos sucesos son factibles de aparecer, no sólo en la cuenca entre El Nihuil y Valle Grande, sino también aguas abajo de Valle Grande. A modo de ejemplo cabe mencionar que la subcuenca entre Valle Grande y La Buitrera generarían una crecida del orden de los 140 m^3/s, para una recurrencia de 100 años, que sumados a los que podría llegar a erogar para esa recurrencia el vertedero de Valle Grande darían un caudal de 850 m^3/s Ref. [7] en ese tramo.
Además es necesario establecer restricciones de uso en aquellas tierras que son parte del cauce del río (dominio público), y que la presencia de la regulación hace que se inunden "menos". Pero la modificación impuesta por la obra en el régimen del río, hace que parte de sus márgenes estén como a salvo de las aguas por más tiempo que antes de la obra. Esas tierras están dentro del cauce y todo aquel que, creyendo que el río es ahora más estrecho, la ocupa indebidamente plantando y/ o edificando, fijando así nuevos límites, y en realidad lo que está haciendo es usurpación de terrenos fiscales. Ref. [8]
Si existieran claras y justas restricciones de uso, lo demarcado, plantado y edificado por los privados en la ribera externa sería de su exclusivo riesgo, y no tendrían derecho a reclamo alguno.
Las zonas ribereñas aguas abajo de Valle Grande han sido invadidas después que la presa fuera puesta en funcionamiento, pero nunca antes se había hecho un estudio de las áreas de inundación potencial, ni se habían realizado mapas de riesgo de inundación. El aporte realizado en el 2006 por el DGI es en muchos aspectos muy encomiable, pero se entiende, con toda humildad, que ha faltado una mejor interpretación de la realidad física de la cuenca superior y de las subcuencas involucradas en el tramo, lo cual ha desembocado en considerar un valor de caudal de 80 m^3/s, y una baja recurrencia como criterios para definir la línea de ribera. Ref. [9]
Pareciera que la consideración de las limitaciones incluidas en la concesión otorgada a HINISA y la actitud de respeto a las normas de operación de los embalses, son suficientes para definir la cota de riesgo.
Sin embargo se ha visto que en el desvío de Valle Grande y en otras crecidas mencionadas, que ellas

no responden a normas, sino que son eventos anuales y recurrentes y en ese caso hay que "observar primero la naturaleza y después la razón", como lo expresara sabiamente Leonardo Da Vinci hace mas de 500 años.
El caso de Valle Grande es paradigmático, porque a pesar de ser una presa estratégicamente ubicada, no dispone de otra descarga adicional operativa ante eventos extraordinarios, como sería por ejemplo la rotura del túnel aductor a Nihuil IV.
En esa situación sólo se podría descargar agua del embalse por el vertedero, y si entonces se presentaran eventos naturales como los que se han descripto, la situación no sólo sería de gran peligro, sino que los particulares que ya han invadido el cauce de inundación reclamarían por los daños.

15 SITUACIONES NO PREVISTAS.

Sería la debida a una inundación provocada por una falla de la presa o de sus órganos de descarga. Tal falla puede ser por factores que hacen al comportamiento de la estructura que conforma la presa, a una acción sísmica intensa o a eventos hidrológicos extraordinarios. La bibliografía en general muestra datos referidos a fallas Ref. [10] por diferentes causas, siendo la más frecuente las debidas a una insuficiente capacidad del embalse o vertido de excedentes por situaciones hidrológicas extremas. Esto es para tener en cuenta en los casos de El Nihuil o Valle Grande, porque se trata de presas antiguas, que han cumplido su vida útil o están muy próximas a ello.

16 APROVECHAMIENTOS AGUAS ABAJO

El desarrollo del resto del río hasta Rincón del Atuel, podría ser Ref. [11] en un único salto o bien a partir de un pequeño compensador aguas abajo de Valle Grande, en dos consecutivos. Ver Fig. 5.

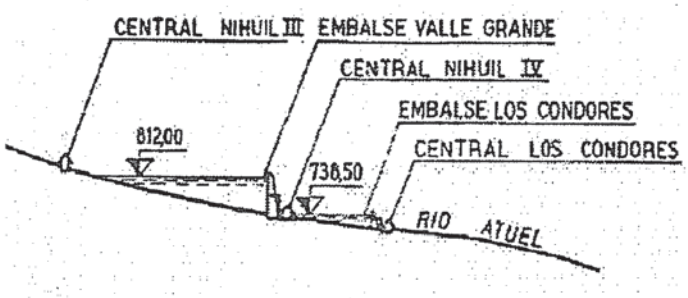


Figura 5. Desarrollo del Río Atuel Inferior

Así mejoraría la operación de Nihuil IV, aunque la nueva central estaría condicionada al riego.
El desarrollo del río Atuel inferior debe estudiarse no sólo en el actual contexto, sino también considerando el trasvase del río Grande al Atuel.
Los mayores caudales no sólo requerirían repotenciar las centrales existentes, sino también el desarrollo de otras nuevas en el tramo del río ya aprovechado, y en particular estudiar qué sucedería aguas abajo de Valle Grande. Ver Fig. 6 y Tabla 1.

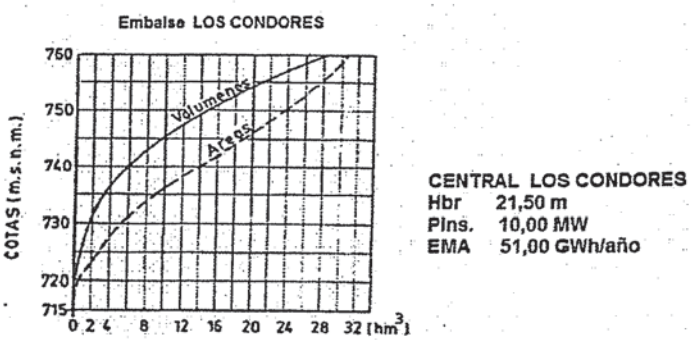


Figura 6. Curva A-V Compensador C. H. Nihuil IV y datos C.H. Los Cóndores

Tabla 1 - Características de las centrales del tramo aguas abajo de Valle Grande

CENTRAL	Salto bruto (m)	Pot. Inst. MW	EMA GWh/año	Obs.
NIHUIL IV	67,30	25	150	Existente
NIHUIL V (06)	143,50	61	330	Con Trasvase
NIHUIL V Los Cóndores	21,50	10	51	Nueva (+)
NIHUIL VI Rincón del Atuel	44,50	17	100	Nueva (+)

Nota (+): Puede ser con o sin trasvase del Río Grande al Atuel.

17 CONCLUSIONES

La capacidad del vertedero de Valle Grande y el modo de operación del embalse requieren cuidados adicionales a los riesgos considerados por el DGI para la fijación del caudal correspondiente a la línea de ribera. Las crecientes que pueden darse en el tramo, más las descargas del vertedero de Valle Grande darían la posibilidad de que apareciera un pico de hasta 850 m^3/s durante más de tres horas. Este cuidado no es sólo por el atractivo turístico de la zona, sino también por la antigüedad de las obras y la imperiosa necesidad de dotar a esa presa de una

descarga adicional, tal que le provea de una mínima seguridad frente a una situación extraordinaria.
Las construcciones de recreo que invaden el cauce del río, en pleno valle de inundación, son otras cuestiones importantes de considerar. Habría que cuidar las obras de embocadura y conducción a la Central Nihuil IV, y que se cumplan no sólo las obligaciones contractuales de la concesión, sino en particular lo vinculado con la seguridad de la presa.
El posible desarrollo hidroeléctrico del tramo aguas abajo de Valle Grande hasta Rincón del Atuel ofrece nuevas posibilidades para analizar, además del trasvase del Río Grande al Atuel, y todo ello en el marco de la sentencia del litigio Mendoza - La Pampa por las regalías del río Atuel.

REFERENCIAS

[1] F. Di Lello, Evaluación y Catastro del Potencial Hidroeléctrico de la Pcia de Mza., 3° Etapa ríos Tunuyán, Diamante y Atuel, CIUNC 1998.
[2] A. Mochkofsky, Aspectos constructivos de la presa Valle Grande en Mendoza - 1964
[3] A. Mochkofsky, Aspectos constructivos de la presa Valle Grande en Mendoza - 1964
[4] A. Mochkofsky, Aspectos constructivos de la presa Valle Grande en Mendoza - 1964
[5] F. A. Di Lello, Mejoramiento de la Componente Hidrológica en los Aprovecham. Hidroeléctricos Mendocinos - SCTyP, 2006.
[6] G. V. Malinow, Inundaciones debidas a la operación o por fallas de obras hidráulicas. Jornadas de Debate sobre Riesgo Hídrico, Inundaciones y Catástrofes; Buenos Aires - 2004.
[7] AYEE - Central Hidráulica con Bombeo Valle Grande - 1971. P.132
[8] G. V. Malinow, Inundaciones debidas a la operación o por fallas de obras hidráulicas. Jornadas de Debate sobre Riesgo Hídrico, Inundaciones y Catástrofes; Buenos Aires - 2004.
[9] R.Villodas, M. Pinto, F Rodríguez, & A. Merlo, Líneas de ribera del cañón del Atuel - Río Atuel, 2° Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos, Neuquén, 2005.
[10] G. V. Malinow, Inundaciones debidas a la operación o por fallas de obras hidráulicas. Jornadas de Debate sobre Riesgo Hídrico, Inundaciones y Catástrofes; Buenos Aires - 2004.
[11] F. Di Lello, Evaluación y Catastro del Potencial Hidroeléctrico de la Pcia. de Mza., 3° Etapa ríos Tunuyán, Diamante y Atuel, CIUNC 1998.

ABSTRACT

The dams of the Atuel river and its way of management have modified the form of appearance of the volumes in the water section under them, who show a behavior different from the natural one. These dams partly attenuate the inflow from the superior river basin, but they do not prevent that before intense rains that appear sudden torrential swellings, own of these subriver basins. One of those extraordinary avenues did pass 120 m^3/sec by the diversion tunnel of Valle Grande, then in construction, during 7 hours, plus other 25 m^3/sec by the spillway of the cofferdam. Another flood during two hours registered up 300 m^3/sec, in November of 1952, flooding works in construction of the Power Station Nihuil N°2. In other opportunities similar events they have produced important damages in the Power Stations N° 2 and 3, leaving them out of service. For that reason the precautions and collections taken during the deflection of the Valle Grande river are reviewed, and they are compared with the criteria of the DGI to fix the line of shore on the basis of a discharge of 80 m^3/sec. Complementarily one analyzes briefly the sustainability of a hydroelectric advantage and the new legal situation of territories of the margins of the Atuel river in that section.

Key Words: Atuel - flood - diversion - reservoir - bank

Respuesta de anclajes químicos en estructuras de hormigón

N. Agüera, G. Gioacchini, S. Panella, N. Pizarro

ceredetec@frm.utn.edu.ar
Centro Regional de Desarrollos Tecnológicos para la Construcción, Sismología e Ingeniería Sísmica (CeReDeTeC).

M. Fabroni
mfabroni@frm.utn.edu.ar
Departamento de Ingeniería Civil.
Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional.

RESUMEN: En muchas ocasiones los trabajos de edificación o de obra civil, necesitan sustentar diversas construcciones en otros elementos resistentes. El incremento en la utilización de nuevos productos para el uso de anclajes de rápida puesta en trabajo, con mínimo daño en las estructuras, y la falta de normativa regional al respecto, ha llevado a determinar la performance que los mismos tienen para distintos usos y aplicaciones, especialmente en la utilización de estructuras de hormigón armado. Para la etapa inicial se plantean ensayos de barras de acero de construcción ancladas mediante fijaciones químicas, en probetas cilíndricas de distintas resistencias del hormigón. Estos ensayos son contrastados con las especificaciones técnicas de un fabricante en particular y se ha comenzado a modelar tridimensionalmente por medio de elementos finitos para poder calibrar los modelos.

Palabras clave: anclajes químicos – hormigón – ensayos

1 INTRODUCCIÓN

El objetivo del trabajo es evaluar el desempeño de los anclajes químicos, en especial el denominado "gel epóxico adhesivo" de una marca internacional, utilizados en estructuras de hormigón. Debido al creciente uso que los mismos han tenido en los últimos años, y a la falta de normativa local que los regule, se hace necesario el estudio experimental, ya que en hormigón armado el tema se está incorporando en la última edición del ACI-318 en su apéndice D, Ref. [1].

2 METODOLOGÍA DE TRABAJO

En primer lugar se procede a la búsqueda de antecedentes bibliográficos, normativas, especificaciones técnicas de fabricantes y proveedores. Ref. [1], [2], [3], [4], [5] y [6].
Se plantean ensayos para comparar los resultados obtenidos con la información existente proporcionada por los fabricantes de los anclajes químicos, cumpliendo con las especificaciones técnicas de los mismos.

2.1 *Trabajo Experimental*

2.1.1 Material Estudiado: En esta primera etapa se eligió el producto "Sika AnchorFix-4", que es un sistema epóxico para anclajes estructurales. Este sistema es de dos componentes, 100% sólidos, insensible a la humedad y tixotrópico (no escurre). Una vez mezclados los componentes se obtiene una pasta suave de gran adherencia y resistencia mecánica.

2.1.2 Aplicación del Producto: El producto evaluado requiere de una aplicación detallada. La superficie debe estar sana y limpia, puede estar seca o húmeda. Se debe remover polvo, lechada, grasa, curadores, impregnaciones, ceras y cualquier otro contaminante. Se realiza la perforación con un taladro roto-percutor y la broca adecuada de acuerdo a los datos técnicos. Se limpia el hueco con aire a presión libre de aceites, introduciendo un cepillo de cerdas de alambre y escarificando el interior, luego se limpia nuevamente con aire a presión para eliminar los residuos de la perforación. El elemento a anclar debe estar libre de óxido, grasa o cualquier partícula o material contaminante. La parte del elemento a anclar debe estar completamente recta para que el epóxico adhiera en todo su contorno. El producto viene envasado en dos cartuchos plásticos gemelos, listo para ser usado, colocándolo con una pistola que posee una boquilla de mezclado del producto. Por último se introduce la varilla haciéndolo girar lentamente hasta tocar el fondo de la perforación. El producto se debe desplazar hasta la superficie para garantizar que ocupe la totalidad de la longitud del anclaje y se elimine el aire atrapado. (Ver Fig. 1).

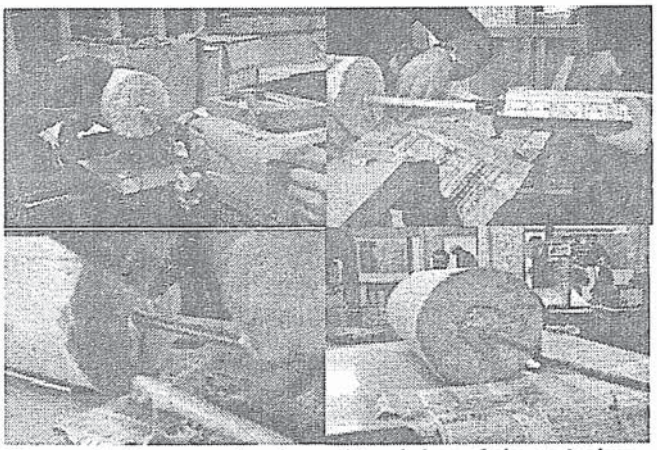


Figura 1: Proceso de ejecución del anclaje químico.

Los tiempos de curado especificados por el fabricante se presentan en la Tabla 1:

Tabla 1: Tiempos de curado inicial y final.

Temperatura de aplicación	Curado inicial	Curado final
+4 °C	60 minutos	48 horas
+15 °C	45 minutos	36 horas
+23 °C	35 minutos	24 horas
+32 °C	20 minutos	24 horas

Las capacidades de carga para varillas de acero nervurado especificados por el fabricante se indican en la Tabla 2, para un nivel de resistencia del hormigón garantizado de 15 MPa y un factor de seguridad igual a 4.

Tabla 2: Capacidades de carga para varillas de acero nervurado.

Diámetro m (pulg)	Diámetro de la perforación m (pulg)	Profundidad de anclaje m	Tensión admisible kN (t)	Corte admisible kN (t)
0.0095 (3/8")	0.013 (1/2")	0.086	12.6 (1.26)	9.4 (0.94)
0.0127 (1/2")	0.016 (5/8")	0.114	16.4 (1.64)	12.6 (1.26)
0.0159 (5/8")	0.019 (3/4")	0.143	22.8 (2.28)	20.0 (2.0)
0.0191 (3/4")	0.022 (7/8")	0.172	29.8 (2.98)	31.8 (3.18)
0.0222 (7/8")	0.025 (1")	0.200	37.8 (3.78)	40.9 (4.09)
0.0254 (1")	0.029 (1-1/8")	0.229	54.8 (5.48)	60.3 (6.03)
0.0286 (1-1/8")	0.035 (1-3/8")	0.257	63.2 (6.32)	77.5 (7.75)
0.0318 (1-1/4")	0.038 (1-1/2")	0.286	84.0 (8.4)	94.6 (9.46)

2.2 *Ensayos realizados*

Para los ensayos de tracción se usa una máquina universal de ensayos, de 40 toneladas de capacidad, marca Mohr & Federhaff Ag tipo UPD40 número de serie 6912, calibrada con celdas con trazabilidad a patrones nacionales e internacionales, del Laboratorio de Ensayos de Materiales del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Mendoza.

2.2.1. *Ensayos a tracción de varillas de acero nervurado ancladas en probetas cilíndricas de hormigón de distintas resistencias.*

El diámetro de la varilla de acero es de 0.010m, la profundidad de anclaje es de 0.090m, y el diámetro

de la perforación es de 0.012m. La dimensión de la probeta cilíndrica es de 0.15m de diámetro y de 0.30m de altura. (Ver Fig. 2). Ref. [7]

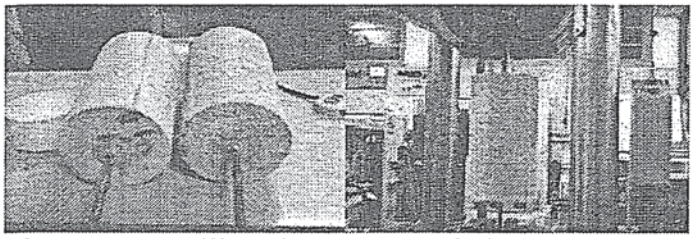


Figura 2: Varillas de acero ancladas en probetas cilíndricas de hormigón utilizando gel epóxico adhesivo.

2.2.2. *Ensayos a tracción de varillas de acero nervurado adicionando el "gel epóxico adhesivo"*

Se coloca en el tercio central de las mismas, logrando un incremento de sección transversal. (Ver Fig. 3). Ref. [7]

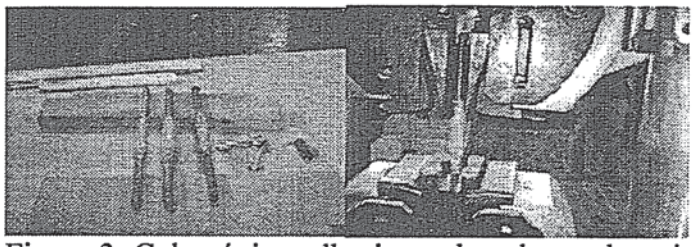


Figura 3: Gel epóxico adhesivo colocado en el tercio central de varillas de acero.

2.2.3. *Ensayo a tracción de varilla de acero nervurado empalmada por yuxtaposición.* (Ver Fig. 4).

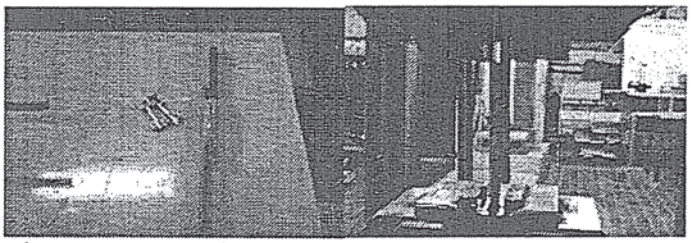


Figura 4: Varillas de acero empalmadas por yuxtaposición utilizando gel epóxico adhesivo.

2.2.4. *Ensayo a tracción de varillas de acero nervurado ancladas en probetas cilíndricas de hormigón reparada con gel epóxico adhesivo.* (Ver Fig. 5). Ref. [7]

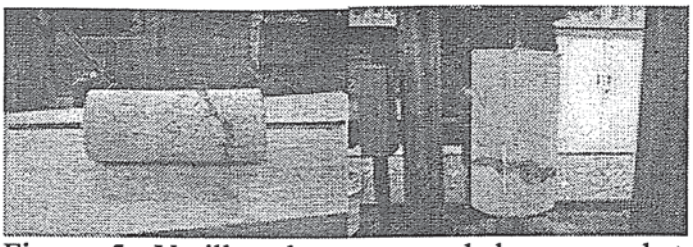


Figura 5: Varillas de acero ancladas en probeta cilíndrica de hormigón reparado utilizando gel epóxico adhesivo.

3 RESULTADOS

Se presentan los resultados obtenidos para las distintas series de ensayos.

3.1. *Ensayos a tracción de varillas de acero nervurado ancladas en probetas cilíndricas de hormigón de distintas resistencias.*

Se ensayaron dos series de tres probetas de hormigón de diferentes resistencias a compresión. Una de las series tiene una resistencia promedio a los 14 días de 7 MPa, y la otra serie tiene una resistencia promedio a los 14 días de 12 MPa. Los resultados se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3: Resultados de ensayos a tracción de varillas de acero nervurado.

Probeta N°	Resistencia a compresión del hormigón (MPa)	Carga de rotura (kN)	Tensión en hormigón (MPa)	Tensión en acero (MPa)
1	7	14.4	0.815	183
2	7	14.6	0.827	186
3	7	14.0	0.793	178
4	12	22.0	1.246	280
5	12	22.1	1.251	282
6	12	19.3	1.093	246

En la Figura 6 se observa el modo de falla.

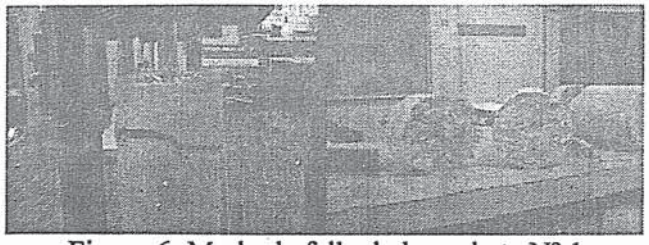


Figura 6: Modo de falla de la probeta N° 1.

3.2. *Ensayos a tracción de varillas de acero nervurado adicionando el Gel Epóxico Adhesivo en el tercio central de las mismas*

Se ensayaron a tracción en primer lugar una varilla de acero nervurado ADN42/50, de 0.010m de diámetro y de longitud 0.25m, obteniéndose el diagrama de carga y deformación correspondiente. (Ver Fig. 7).



Figura 7: Ensayo a tracción varilla de acero nervurado.

Luego se ensayaron a tracción dos varillas de acero con las mismas características de la varilla anterior, pero adicionando en el tercio central de la misma el gel epóxico adhesivo, de un espesor promedio de 0.002m, obteniéndose los diagramas de carga y deformación correspondientes. (Ver Fig. 8).

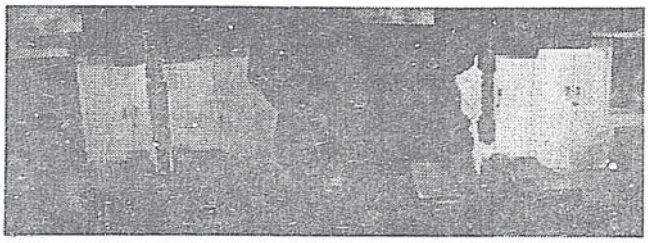


Figura 8: Ensayo a tracción de varillas de acero nervurado con el gel epóxico adhesivo en el tercio central.

En la Figura 9 se observan los diferentes diagramas de carga y deformación obtenidos de la máquina universal de ensayos, para los diferentes especímenes en estudio. El espécimen 1 corresponde con la varilla de acero sin gel epóxico adhesivo, los especímenes 2 y 3 corresponden para las varillas de acero con gel epóxico adhesivo.

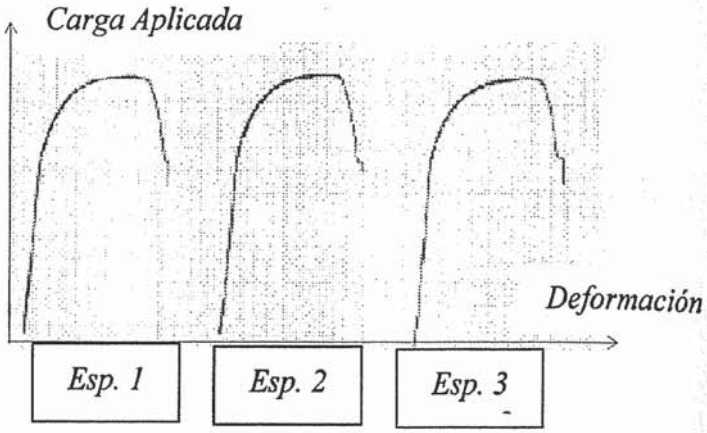


Figura 9: Diagramas de carga y deformación para diferentes especímenes.

En la Tabla 4 se observan los resultados para los diferentes especímenes ensayados.

Tabla 4: Resultados del ensayo a tracción para los diferentes especímenes.

Espécimen N°	Carga aplicada (kN)	Tensión en acero (MPa)	Observaciones
1	50.6	644.58	barra simple
2	51.2	652.22	barra con epoxy
3	50.7	645.86	barra con epoxy

3.3. *Ensayo a tracción de varilla de acero nervurado empalmada por yuxtaposición:*

En este ensayo se utiliza el gel epóxico adhesivo para unir dos barras de acero nervurado de diámetro 0.010m y longitud 0.25m, solapadas por yuxtaposición en una longitud de 0.090m. (Ver Fig. 10).

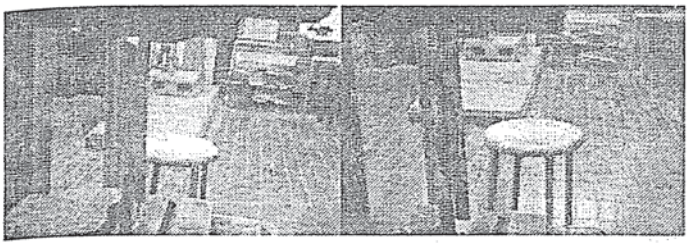


Figura 10: Ensayo a tracción de varillas de acero solapadas por yuxtaposición.

Este ensayo es denominado "Espécimen 4", en la Figura 11 se observa el diagrama de carga y deformación del espécimen 4.

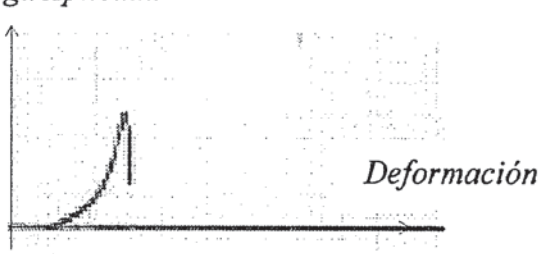


Figura 11: Diagrama de carga y deformación para el espécimen 4.

En la Tabla 6 se indican los resultados para el espécimen 4.

Tabla 6: Resultados del ensayo a tracción para los diferentes especímenes.

Especímen N°	Carga aplicada (kN)	Tensión en acero (MPa)	Observaciones
4	8.1	103.18	barra solapada con epoxy

3.4. *Ensayo a tracción de varillas de acero nervurado ancladas en probetas cilíndricas de hormigón reparada con gel epóxico adhesivo.*

Este ensayo consiste en utilizar el gel epóxico adhesivo para unir una de las probetas cilíndricas de hormigón que previamente se han ensayado y llevado hasta la rotura, para luego volver a ser ensayada la misma a tracción, buscando determinar la eficiencia del producto como puente adherente. (Ver Fig. 12).



Figura 12: Ensayo a tracción de probeta cilíndrica de hormigón reparada con el "Gel Epóxico Adhesivo".

En la Tabla 7 se presentan los resultados del ensayo:

Tabla 7: Resultados del ensayo para la probeta de hormigón reparada.

Probeta N°	Resistencia a compresión del hormigón (MPa)	Carga de rotura (kN)	Tensión en hormigón (MPa)	Tensión en acero (MPa)
7	7	8.8	0.498	112

4 CONCLUSIONES

- Para los ensayos de las probetas cilíndricas de hormigón, en ninguno de los casos la rotura provino por falla en el anclaje o por falla en el acero, si no que fue por la falla del hormigón al llegar a su capacidad máxima de tracción.
- En los ensayos a tracción de las varillas de acero nervurado, según se pudo observar y medir, la adición del gel epóxico adhesivo en el tercio central de cada varilla, no produjo diferencia con respecto a la varilla de acero nervurado sin el producto. Los valores de carga última no se vieron incrementado ni disminuidos, la forma de los diagramas de carga y deformación no tuvieron diferencias, pero la forma de falla de las varillas de acero con producto fueron diferentes a la varilla de acero sin producto, es decir, que la rotura de las primeras siempre fue en los sectores de la varilla que no poseen el gel epóxico adhesivo.
- Con respecto al ensayo a tracción de las varillas de acero nervurado solapadas por yuxtaposición con el gel epóxico adhesivo, no se obtuvieron resultados favorables, es decir, los valores de carga fueron muy por debajo de lo esperado,

debido a la reducida área de contacto que hay entre el producto y las varillas de acero, y al tipo de anclaje por yuxtaposición.

- Los resultados obtenidos en la reparación de una probeta de hormigón utilizando el gel epóxico adhesivo demostraron la efectividad del producto, debido a que la falla se produjo en una sección fuera de la zona de adherencia, pero muy cercana a la misma, esto último es resultado del estado tensional que la probeta poseía debido al ensayo anterior de la misma.
- La eficiencia del anclaje químico depende de la capacidad resistente del material base al que se pretende anclar. En base a lo expuesto se ha planteado un ensayo a tracción de anclaje de varillas de acero en probetas cilíndricas de hormigón armado con el fin de determinar la eficiencia del anclaje químico.
- Para tener un análisis más completo se deja planteado un estudio analítico con modelación tridimensional por medio de elementos finitos de la probeta de hormigón, varilla de acero y gel epóxico adhesivo (Ver Fig. 13. Ref. [8]).

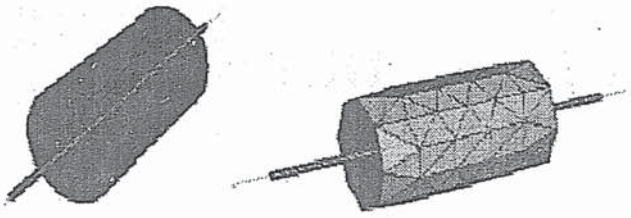


Figura 13: Vista tridimensional probeta cilíndrica de hormigón con varillas de acero, modelación por elementos finitos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue producto del seminario del Curso de "Patología y terapéutica de estructuras de hormigón armado" dictado en 2007 en la Facultad Regional Mendoza, por lo que se agradece las orientaciones brindadas para el mismo por los profesores del curso. También se agrade la provisión de material de estudio por parte de Sika de Argentina.

REFERENCIAS

[1] ACI 318-05. Manual Practice Concrete (2005).
[2] Código de Construcciones Sismorresistente para la Provincia de Mendoza, (1987).
[3] Proyecto de Reglamento Argentino para Construcciones Sismo Resistentes INPRES – CIRSOC 201, (2005).
[4] ACI 355.2-04, Qualification of Post-Installed Mechanical Anchors in Concrete (2004).
[5] Comentario sobre la Evaluación del Comportamiento de los Anclajes Mecánicos para Instalar en Hormigón Endurecido. ACI 355.2R-01, (2001).
[6] Hoja Técnica de Producto SIKA AnchorFix-4, Sistema Epóxico para Anclajes Estructurales, (2005).
[7] Norma IRAM-IAS U500-102, (1987).
[8] ABAQUS Versión Estudiantil (2005).

ABSTRACT

In several circunstances buildings or structures need to support another resistant elements. The increase of utilization of new products for anchors with quickly collocation with minimum damage in the structure and the lack of regional standards are tested the performance of different applications in concrete structures. For the first part of this work it was tested on anchored steel bars with chemical anchors in cylindrical specimens with different compressive strength. These tests are resisted with the specifications of a manufacturer in individual and it has been begun to model three-dimensionally by means of finite elements to be able to calibrate the models.

Key Words: anchor – concrete - tests

Respuestas de un sistema de aislamiento sísmico conformados por resortes helicoidales de acero y amortiguadores visco elásticos.

M. E. Tornello

mtornell@frm.utn.edu.ar
CeReDeTec, Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional

M. Sarrazin Arellano

sarrazin@cec.uchile.cl
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile

RESUMEN: Los antecedentes indican que la ocurrencia de un terremoto destructivo conduce a importantes daños materiales, económicos y en muchos casos de pérdidas de vidas. Hace pocos años el colapso estructural se consideraba un fenómeno exclusivo de países subdesarrollados debido al uso predominante del adobe o mampostería con escasas prescripciones sísmicas. Sin embargo, los terremotos de San Fernando (1971), Northridge (1994) y Kobe (1995) pusieron en evidencia, para países desarrollados, que los efectos de los terremotos sobre construcciones y personas no se deben a un problema económico, sino al estado del conocimiento. Las técnicas de aislamiento sísmico y disipación de energía representan nuevas herramientas para mitigar los efectos de los terremotos, sin embargo, las mismas tienen una escasa aplicación en nuestro país. El trabajo presenta una recopilación de los efectos observados en terremotos importantes ocurridos en diferentes partes del mundo con el objeto de tomar conciencia sobre hechos sensibles para la población y los gobiernos. Se presenta un resumen sobre los resultados de un estudio analítico de la respuesta de un edificio con aislamiento sísmico conformado por resortes y amortiguadores. Las respuestas encontradas indican las ventajas que presentan los sistemas de aislamiento en el diseño sismorresistente.

Palabras Claves: Aislamiento sísmico - Disipación energía.

1 INTRODUCCIÓN

Los terremotos son uno de los desastres naturales más comunes y frecuentemente más catastróficos para la humanidad Ref. [1], [2], [3]. A nivel mundial ocurren anualmente al menos un par de terremotos destructivos y el número medio anual de victimas es superior a 20.000 Ref. [4]. Aproximadamente un tercio de la población mundial habita en zonas expuestas al peligro sísmico y vive en edificios con escasas prescripciones sísmicas o bien diseñados con códigos antiguos y obsoletos. Los terremotos son fenómenos recurrentes pero fuertemente irregulares en cuanto al tiempo de ocurrencia. Precisamente dicho aspecto incide de manera negativa, para ciertas regiones con peligro sísmico, sobre la conciencia de las personas, en general, y de los gobiernos en particular quienes tienen la responsabilidad de asignar los recursos económicos para reducir las vulnerabilidades que se detecten.
Las construcciones tradicionales diseñadas con códigos modernos pueden considerarse como un

progreso significativo dentro de la ingeniería, sin embargo, las mismas siguen presentando limitaciones frente a terremotos violentos. Precisamente por esta causa es que la atención de muchas investigaciones se ha concentrado, en los últimos 20 o 30 años, en poner a punto tecnologías innovativas para reducir los efectos de los terremotos. Estas nuevas tecnología, en general, persiguen dos objetivos, el primero superar las limitaciones de una construcción tradicional (admitir daños considerables frente a terremotos importantes, incluida la inutilización del edificio, aún construidos con códigos modernos) y la segunda asistir las construcciones existentes con escasa o ninguna prescripción sísmica.

Las estrategias más utilizadas y difundidas a nivel mundial son el aislamiento sísmico y la disipación de energía, ambas han mostrados resultados satisfactorios en regiones sísmicas donde se ha implementado, aún para terremotos importantes.

Sobre ambas estrategias existen numerosas aplicaciones a nivel mundial (a excepción de nuestro país). Se conoce que la energía sísmica se transmite a la estructura a través de la fundación, por lo tanto, el principio general del aislamiento sísmico es desconectar la construcción del terreno. Dicho aislamiento se realiza usualmente insertando, entre la construcción y la fundación, dispositivos de apoyo con baja rigidez horizontal y/o vertical que permiten liberar los desplazamientos de la construcción como consecuencia del terremoto Ref. [5]. Los dispositivos son diseñados con una rigidez adecuada frente a acciones frecuentes, por ejemplo la acción del viento, de tal manera de no provocar sobre la estructura desplazamientos sensibles.

El nivel de seguridad que se consigue con los sistemas de aislamiento sísmico es mayor que el logrado por una construcción sismorresistente convencional aún para terremotos destructivos (aquellos que pueden causar graves daños en las construcciones y el colapso de aquellas con escasas prescripciones sísmicas).

2 EFECTOS DE LOS GRANDES TERREMOTOS SOBRE LAS OBRAS DE INGENIERIA

Los terremotos han tenido y tendrán un impacto significativo sobre nuestras sociedades. Dichos fenómenos naturales han dado como resultado pérdidas extraordinarias de vida, cuantiosos daños y destrucción a la propiedad (tanto privadas como del estado) en todos los países donde han ocurrido.

Cuatro ejemplos contemporáneos demuestran la magnitud del impacto de estos fenómenos. El terremoto de Loma Prieta ocurrido el 17/10/1989 en Estados Unidos, con magnitud 6.9 en la escala de Ritcher afectó al estado de California desde la costa de Monterrey hasta San Francisco. A pesar de la importancia del terremoto se registraron solamente 63 muertos pero causó entre 6 y 10 mil millones de dólares en pérdidas y daños a la propiedad.

El terremoto de Hyogo-Ken Nanbu (Kobe) ocurrido el 17/01/1995, magnitud 7.2 en la escala de Richter, dejó un saldo de 5.100 muertos en Kobe, 13 personas desaparecidas y aproximadamente 27.000 heridos. El 20% de la población de Kobe quedó sin hogar y más de 1.000 edificios fueron destruidos. El terremoto provocó daños por unos 180 mil millones de dólares.

El 25/01/1999, la parte occidental de Colombia fue impactada por un terremoto con una magnitud de 6.0 en la escala de Richter. Datos oficiales informaron un total de 1.000 muertos y un número, no precisado, pero importantes de heridos.

El 27/03/1999, en el estado de Uttar Pradesh en India ocurrió un terremoto de magnitud 6.8 en la escala de Richter. Datos oficiales informaron que hubo más de 100 muertos, aproximadamente 300 heridos y más de 5.000 hogares destruidos.

Los datos indican que los terremotos son los desastres naturales más devastadores. Por ejemplo han causado en la década del ´70 la muerte de 38.970 personas por año, numero muy superior al que registran otros desastres naturales (el segundo lugar lo ocupan los ciclones con una pérdida de 34.360 vidas). Sin embargo es importante señalar que la media de dicho período fue extremadamente elevada debido a las 242.000 personas que perecieron en el terremoto de Tangshan, China, en 1976 (M = 7.5).

Dos terceras partes de los mayores terremotos del mundo se han producido en el llamado *"Cinturón de fuego"* que circunda al Pacífico. Dicho anillo se extiende desde las costas sudamericanas y Norteamérica hasta Alaska a lo largo de las islas Aleutianas, luego continúa a la altura de la plataforma continental del Japón, para pasar a las islas Filipinas, Indonesia y Nueva Zelanda. Los terremotos ocurridos en dicha zona han producido más de 100.000 muertos en Asia y principalmente en China. En 1556, un terremoto ocurrido en la provincia de Shensei costó la vida de 830.000 personas.

Una segunda zona de importancia se extiende a lo largo de los límites de la placa, desde Indonesia, a lo largo del Himalaya y del eje del Mediterráneo. Alrededor del 75% de las muertes producidas por los terremotos a nivel global, entre 1950-1970, han ocurridos en dicha zona. En el hemisferio occidental, los terremotos más devastadores se producen en la costa occidental de América Central y Meridional; en ellos se han informado más de 10.000 muertos en Guatemala, Argentina, Chile, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela.

Por ejemplo en el terremoto de Guatemala, 1976 (M=7.5 Richter) se registraron 22.000 muertos, mientras que 75.000 sufrieron heridas y más de un millón (de los seis millones de habitantes del país) quedaron totalmente desamparados, 14 ciudades fueron prácticamente arrasadas y en otras 17 ciudades, menos del 33% de los edificios permaneció en pie, aunque muchos de ellos con daños. Las pérdidas económicas ascendieron a 1.400 millones de dólares comparadas con los 1.300 millones del terremoto que afectó Nicaragua en el año 1972.

En 1964 Estados Unidos es afectado por el mayor terremoto de su historia. El 28 de marzo, Anchorage y otras localidades vecinas de Alaska son afectadas por un terremoto cuya magnitud llega a 9 grados en la escala de Richter, las pérdidas de vidas humanas fueron pocas, sólo 130 muertos, pero las pérdidas económicas ascendieron a 1.020 millones de dólares.

En 1985 el Distrito Federal de México y sus alrededores es sacudido por un violento terremoto (M = 8.1 Richter). Informes oficiales indican aproximadamente 10.000 muertos, 40.000 heridos e importantes pérdidas económicas no informadas oficialmente.

El terremoto ocurrido el 17/01/1994 en Northridge, California, merece un capítulo aparte, sin embargo es oportuno sintetizar y destacas algunos aspectos de interés. El terremoto tuvo una magnitud Mw = 7.6, una duración de tan sólo 15 segundos (parámetro muy parecido al terremoto de Kobe), ocasionó la muerte de 51 personas y arrojó la cantidad de 9.000 heridos. Los daños materiales fueron estimados en 25.000 viviendas de residencias particulares inhabitables, se perdieron 9 hospitales (lo que equivale a más de 2.500 camas), 7.000 edificios fuertemente dañados (no colapsaron pero se caracterizaron por ser irrecuperables), 22.000 edificios dañados, 9 puentes colapsaron, 11 viaductos se cerraron hasta su recuperación. Las pérdidas económicas fueron de 44 mil millones de dólares, superando ampliamente los 15 mil millones del terremoto de San Fernando de 1971.

El 13/01/2001 en ocasión del terremoto de El Salvador se produjo 1.140 muertos, 8.000 heridos y más de 40.000 viviendas destruidas, 1.100.000 personas damnificadas. Según el informe de la Comisión Económica para América Latina (CEPAL), las pérdidas totales ascendieron a 1.660 millones de dólares, lo que equivale al 13 % del Producto Interno Bruto y del 55 % de las exportaciones de todo el país en el año 2000. El informe oficial del Comité de Emergencia Nacional (COEN) señaló que el 25.60 % de la población resultó damnificada. El informe *"Desarrollo humano de El Salvador 2001"*, calculó que más de 250.000 salvadoreños ingresaron a la pobreza a causa de la tragedia.

La lista podría todavía ampliarse con otros terremotos que no serán tratados en el presente trabajo por razones de extensión, pero que sin embargo muestran datos tan o más impactantes que los anteriores (terremoto de Messina, 1908; Concepción de Chile, 1960; Tangshan China, 1976; Perú, 2001; Taipei Taiwán, 1999, Bucarest, 1977, Turquía, 1998, 1999, Armenia, 1998, Ban Irán, 2003, India, 1905, 1950, 1993, 1999; Gujarat, 2001, Pakistán, 2005, China, 1976, etc).

Por lo tanto las estadísticas muestran en forma clara que los efectos de los terremotos no sólo se centran en pérdidas económicas o de vidas humanas sino que además traen como consecuencia aspectos sociales que requieren muchos años para ser revertidos. Estas situaciones se observan claramente y fundamentalmente en países donde los recursos económicos son escasos. En esos casos, y de los cuales Argentina no está exenta, es primordial optimizar los pocos recursos que cuentan el estado nacional para realizar construcciones más seguras con el objeto de minimizar el daño, las pérdidas de vidas y económicas y las consecuencias sociales del terremoto. Las técnicas innovadoras, entre ellas, los sistemas de aislamiento sísmico de base ofrecen dicha posibilidad.

2.1 *Terremotos destructivos ocurridos en Argentina*

En Argentina se cuenta con antecedentes históricos de terremotos ocurridos en el país prácticamente desde el siglo XVI hasta la fecha, sin embargo no se disponen de datos oficiales sobre pérdidas económicas ocasionados por los mismos, Ref. [6].

El primer terremoto con antecedentes históricos ocurrió el 13/09/1692, foco superficial (30 Km.,

M=7 Richter), destruyó, en ese entonces, la pequeña población de Talavera del Esteco en la provincia de Salta, produjo importantes daños en la ciudad y ocasionó un número no precisado de víctimas.
La ciudad de Mendoza presenta su primer antecedente histórico con el terremoto del 22/05/1792. La magnitud estimada fue de 7 grados, también de foco superficial (< 30 Km.), ocasionó daños en construcciones y numerosas víctimas.
El 20/03/1861 se produce en Mendoza el terremoto más destructivo de la historia Argentina, el mismo ocasionó el colapso de casi toda la ciudad de Mendoza y dejó aproximadamente unos 6.000 muertos sobre una población total de 18.000.
El 27/10/1894 se produce el terremoto de mayor magnitud de todos los ocurridos en la Argentina. Su epicentro se ubica en el noroeste de la provincia de San Juan (M = 8 Richter, estimada), produce daños en las provincias vecinas y en regiones ubicadas a 500 Km. de la zona epicentral. El 15/03/1944 se produce el terremoto que destruyó la ciudad de San Juan, su magnitud fue calculada en 7.4 en la escala de Richter, su foco fue superficial (menos de 30 Km.) y causó aproximadamente 10.000 muertos sobre una población de 90.000 habitantes.
El terremoto más importante del sur del país se produce el 17/12/1949, su magnitud fue de 7.8 en la escala de Richter, distancia focal menos de 30 Km. y su epicentro se ubicó al oeste de la isla Tierra del Fuego. Afectó no solamente a las poblaciones de la isla sino también a ciudades ubicadas más al norte, entre ellas Río Gallegos.
Otros de los eventos sísmicos es el ocurrido el 23/11/1977 en la ciudad de Caucete, San Juan. La magnitud del mismo fue de 7.4 en la escala de Richter, de foco muy superficial, apenas 17 Km. El terremoto ocasionó la muerte de 65 personas.
El 26/01/1985 se produce el terremoto de Mendoza con una magnitud de 5.9 en la escala de Richter y una profundidad de foco de apenas 12 Km., arrojó como resultado solamente dos muertos, numerosos heridos y pérdidas de viviendas.
Evidentemente las cantidades mostradas en las estadísticas precedentes no son menores. La mayoría de los países, entre ellos Argentina, han utilizado como estrategia el acto de que ocurrido el desastre se atiende de inmediato la emergencia y en muchos casos las consecuencias futuras quedan sin ser satisfechas. La respuesta al desastre sola no es suficiente, ya que reditúa solamente en resultados temporales a un muy alto costo. Se ha seguido con dicha metodología, limitada por cierto, por demasiado tiempo sin que se haya logrado, en muchos casos, buenos resultados, por lo tanto es necesario una revisión critica a las filosofías del diseño sismorresistente utilizadas hasta la fecha con el objeto de minimizar los efectos de los terremotos sobre las personas y las construcciones. En esas nuevas filosofías los sistemas no tradicionales (entre ellos el aislamiento sísmico y la disipación de energía) deberían cumplir un rol protagónico.

3 SISTEMAS DE AISLAMIENTO SÍSMICO

Existen numerosas aplicaciones y sistemas de aislamiento símico Ref. [5]. El objetivo es desacoplar la estructura de los movimientos de suelo frente a la ocurrencia de terremotos. En consecuencia se evita que la superestructura sea la responsable de disipar la energía entregada por el terremoto. La totalidad de la estructura es soportada en puntos discretos por dispositivos especiales llamados aisladores, los cuales poseen características dinámicas especiales para desacoplar la estructura de los movimientos del terreno. Los desplazamientos máximos y las no linealidades se concentran a nivel del sistema de aislamiento, mientras que la superestructura se comporta como un bloque rígido y permanece en rango elástico. Los aisladores pueden ser diseñados y construidos con un control de calidad que supera ampliamente los estándares habituales de la construcción civil, con la ventaja que pueden ser inspeccionados y eventualmente reemplazados como un dispositivo de repuesto. Por el contrario, la reparación de los elementos dañados de una estructura no es una tarea simple de implementar.

3.1 *Aisladores conformados por resortes helicoidales metálicos con amortiguadores visco elásticos*

Las primeras aplicaciones del sistema se realizaron sobre máquinas de pequeño porte, luego se extendieron a fundaciones de máquinas pesadas e instalaciones industriales de importancia. En los últimos años se han realizado estudios sobre la respuesta de estructuras aisladas utilizando dichos sistemas Ref. [7], [8].
Los sistemas basados en resortes metálicos han sido utilizados en viviendas para proveer aislamiento en las tres direcciones, fueron originalmente diseñados, para controlar las vibraciones que generaban las turbinas en plantas hidroeléctricas. El sistema está conformado por paquetes de resortes con baja

rigidez en sentido horizontal y vertical (Fig. 1). Para aumentar el amortiguamiento del sistema de aislamiento se instalan junto a amortiguadores visco-elásticos (Fig. 2). Ref. [5].

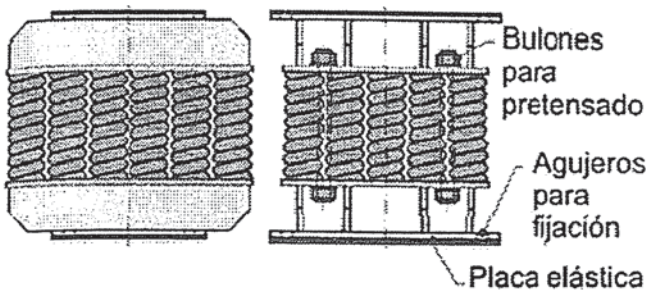


Figura 1. Paquetes de resortes helicoidales metálicos

El sistema presenta como característica una rigidez lineal, tanto horizontal como vertical y un amortiguamiento cuyo comportamiento se aproxima al lineal viscoso (Fig. 3). Los aisladores poseen frecuencias propias horizontales bajas, de aproximadamente 1 a 1.5 Hertz y frecuencias propias verticales de aproximadamente 3 a 3.5 Hertz. El sistema con dichas propiedades dinámicas conduce a movimientos verticales y pendulares de la estructura aislada frente al movimiento del terreno inducido por el terremoto. Las fuerzas y amplitudes horizontales se transforman en desplazamientos pendulares y verticales lo que permite reducir las fuerzas dinámicas en la superestructura.

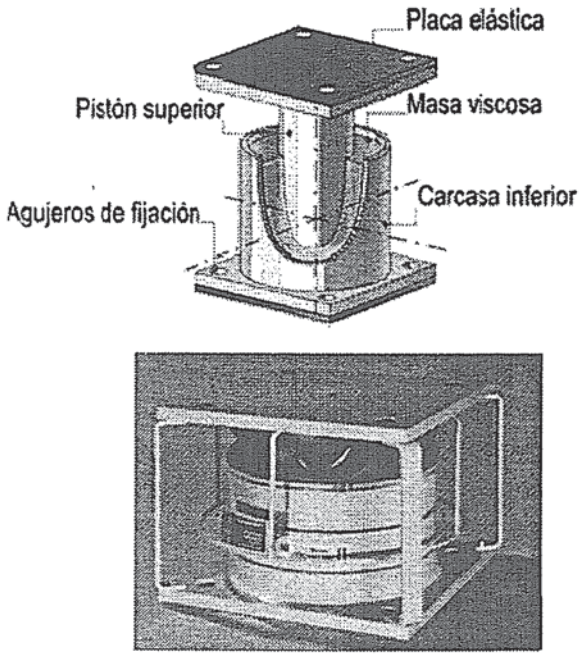


Figura 2. Amortiguadores visco-elásticos de eje vertical

3.1.1 *Influencia de la rigidez vertical del sistema de resortes y amortiguadores visco – elásticos en la respuesta del conjunto aislado*

Una de las diferencias fundamentales del presente sistema de aislamiento, comparado con otros (elastoméricos, friccionales, Ref. [5]) es su baja rigidez vertical. El sistema de aislamiento indicado en la Fig. 1 y 2 han sido utilizados en un edificio de tres niveles perteneciente a la Residencia de estudiantes de la Facultad Regional Mendoza de la UTN, Ref. [5], [8], [9].

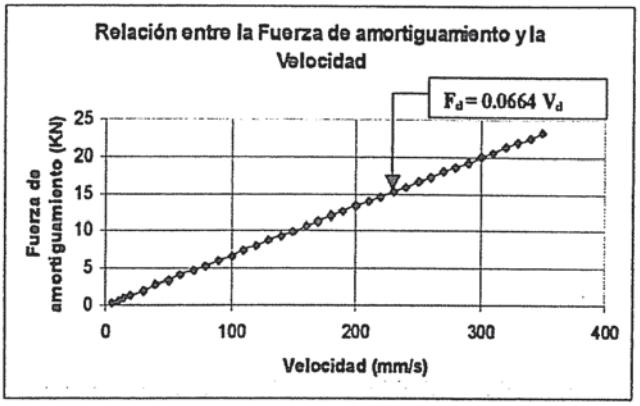


Figura 3. Relación lineal entre la fuerza máxima de amortiguamiento y el valor máximo de la velocidad

Si se considera al edificio como un cuerpo rígido apoyado sobre el sistema de aislamiento con rigidez horizontal K_h y rigidez vertical K_v (Fig. 4), el sistema presenta un modo pendular con polo inferior P_i y otro modo pendular con polo superior P_s, Ref. [7]. Un aumento de la rigidez vertical aleja el polo inferior convirtiéndolo en un modo de traslación horizontal, mientras que el polo superior tiende al centro de gravedad *(CG)*, convirtiéndose en un modo rotacional sobre dicho centro. En la Fig. 4 no se indica el modo vertical M_v.

En Tabla 1 se resumen las características dinámicas del sistema de aislamiento de resortes helicoidales metálicos instalados junto a los amortiguadores visco - elásticos.

El estudio de la determinación de los modos pendulares y la posición de los polos inferiores y superiores se realiza a través de una variación de la relación de rigideces horizontales y verticales (situación que solamente es posible realizarlo en el sistema de resortes y no para otros sistemas de aislamiento). En Tabla 2 se indican los modelos estudiados y sus correspondientes valores de rigideces. En Tabla 3 se indican los valores de rigideces verticales combinados con los valores indicados en Tabla 2.

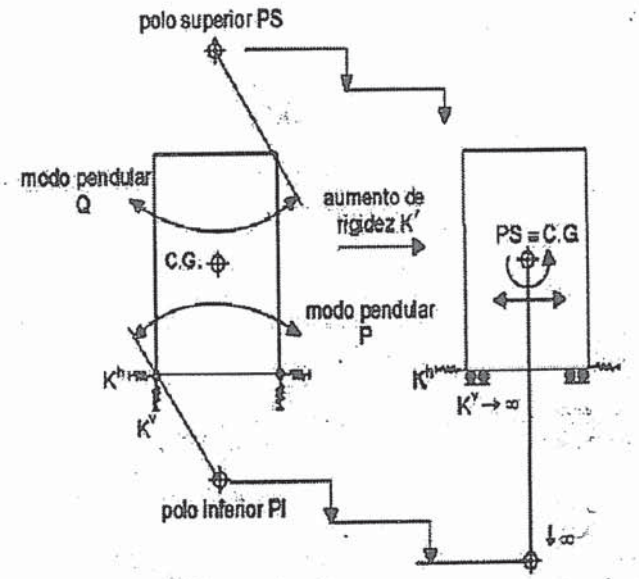


Figura 4. Modos pendulares con la ubicación de los polos superiores e inferiores del edificio.

Tabla 1. Características dinámicas del sistema de aislamiento

Parámetro	Valor
Capacidad nominal carga vertical	768 KN
Rigidez vertical	29500 KN/m
Rigidez horizontal	3940 KN/m
Amortiguamiento horizontal	26%
Amortiguamiento vertical	13%

Tabla 2. Modelos estudiados con variación de rigidez horizontal.

Tipo de modelo	K_h (KN/mm)	T_h (seg)
I	4.58	0.83
II	1.28	1.57
III	0.79	2.00

Tabla 3. Modelos estudiados con variación de rigidez vertical.

Kv (KN/mm)	fv (Hz)
2842	30.0
896	16.9
316	10.0
79	5.0
34	3.3
20	2.5

Con los modelos analizados (Tabla 2 y 3) y para distintas relaciones de amortiguamiento, bajo la hipótesis de edificio rígido, es posible estimar las distancias de los polos al *CG* (Fig. 4). Los valores han sido determinados admitiendo que el edificio es simétrico en sus ejes coordenados, situación que no difiere demasiado de la situación real, por lo tanto las frecuencias de los modos pendulares f_{pi} (frecuencia del modo pendular con polo inferior) y la f_{ps} (frecuencia del modo pendular con polo superior) en planos verticales son idénticas.

Las frecuencias de los modos y las relaciones de amortiguamiento son aplicables en forma aproximada al modelo de la estructura real en tanto la magnitud de la frecuencia del modo considerado no se acerque a la primera frecuencia natural de la estructura rígidamente apoyada, es decir 5.90 Hz (0.17 seg.). Por lo tanto del análisis para evaluar la distancia del polo al *CG* se desestiman los valores que verifiquen con la condición citada.

Atendiendo a razones de extensión del presente trabajo, en Tabla 4, se resumen algunos valores obtenidos que verifican la situación buscada.

Tabla 4. Variación de "ξ" para los modelos P_i, P_s, M_v, M_t. Distancia al *CG* y frecuencias propias de los modos P_i y P_s.

Variación del amortiguamiento (ξ)				Distancia al *CG*		f_{pi} (Hz)	f_{ps} (Hz)
P_i (%)	P_s (%)	M_v (%)	M_t (%)	Polo Sup. (m)	Polo Inf. (m)		
26	23	5	51	0.42	-29	1.10	4.10
19	30	7	51	0.71	-18	1.04	2.31

En los modos combinados (aisladores = resortes + amortiguadores visco - elásticos) se observa una participación importante de la distorsión de los aisladores y del edificio rígido ubicado encima del mismo. Este efecto puede observarse en la Fig. 5.

Estudios realizados sobre la respuesta de sistemas de aislamiento conformado por resortes y amortiguadores visco – elásticos, Ref. [7], indicaron que la variación de la rigidez vertical no modifica significativamente la respuesta horizontal en el rango de rigideces estudiadas (valores de Tabla 2 y 3), ni tampoco los desplazamientos a nivel del sistema de aislamiento. Por otro lado, la rigidez vertical no conduce a modificar la tendencia general de encontrar menores desplazamientos y mayores aceleraciones para rigideces horizontales mayores.

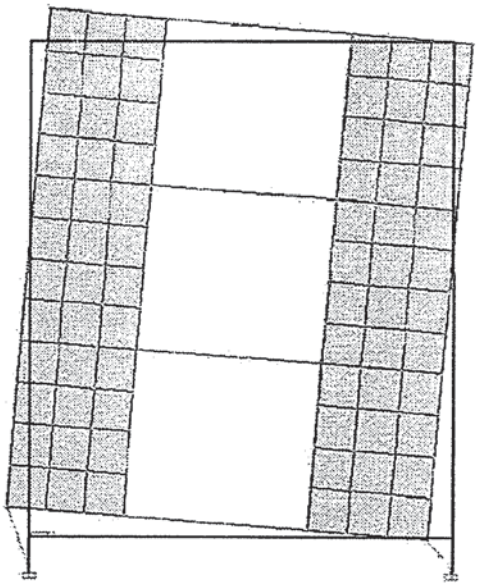


Figura 5. Modo 4 de uno de los casos de estudio. f = 3.22 Hz. (0.3106 seg.).

3.1.2 *Respuestas en la superestructura*

El diseño del sistema de aislamiento instalado en el edificio de la residencia de estudiantes de la Facultad Regional Mendoza. UTN, Ref. [8], [9], fue diseñado utilizando un modelo en 3D de elementos finitos y con un análisis no lineal en el dominio del tiempo. Para dicho análisis se utilizaron registros de terremotos asociados a falla cercana entre los cuales se destacan: Irán, Imperial Valley, Coalinga, Loma Prieta, Cape Mendocino, Northridge, Kobe, Taiwán, Mendoza-85, etc.

El diseño del sistema de aislamiento implicó el estudio de distintas respuestas: desplazamientos, aceleraciones, esfuerzos internos, distorsiones de piso, cortes, fuerzas sísmicas, etc. Atendiendo a razones de extensión del presente trabajo a continuación se presentan los resultados de algunas respuestas del sistema y los mismos se comparan con otro edificio idéntico pero de base fija con el objeto de poner en evidencia la conveniencia de la implementación de los sistemas de aislamiento sísmico de base. En Tablas 5, 6 y 7 se indican algunas respuestas encontradas.

Tabla 5. Corte en la base del edificio

Terremoto	Edificio base fija (KN) - (a)	Edificio Aislado (KN) - (b)	Relación (b/a)
Tabas	4612	2936	0.64
Imperial Valley	4060	2301	0.57
C. Mendocino	5325	2099	0.39
Tarzana	5944	1945	0.33
Duzce	2671	354	0.13

Tabla 6. Reacción normal en la base del edificio

Terremoto	Edificio base fija (KN) - (a)	Edificio Aislado (KN) - (b)	Relación (b/a)
Corralitos	3550	2610	0.73
Taiwán	3596	2654	0.74
El Centro	6507	4050	0.62
Caucete	3117	1983	0.64
Mendoza-85	2841	2273	0.80

Tabla 7. Cortes máximos en una columna vértice del edificio, ubicada por encima del sistema de aislamiento

Terremoto	Edificio base fija (KN) - (a)	Edificio Aislado (KN) - (b)	Relación (b/a)
Tabas	159	84	0.53
Imperial Valley	160	62	0.39
Coalinga	77	36	0.47
Tarzana	211	107	0.51
Mendoza-85	68	35	0.51

4 CONCLUSIONES

- Los efectos producidos por terremotos destructivos, ocurridos en distintas partes del mundo, implican cuantiosas pérdidas económicas para los países donde ellos han ocurrido, en muchos casos, inclusive, con lamentables pérdidas de vidas humanas. La ingeniería civil, en general, no ha dado al día de la fecha una respuesta satisfactoria a éste problema, por lo tanto es necesario una revisión critica de las filosofías del diseño sismorresistente utilizados hasta la fecha.
- Los sistemas innovativos (aislamiento sísmico y disipación de energía) se presentan como una alternativa viable y relativamente económica para controlar los efectos de los terremotos sobre las construcciones y las personas. Los resultados encontrados y su comparativa con las respuestas obtenidas para un edificio tradicional indican la conveniencia del uso de sistemas de aislamiento sísmico.
- Los sistemas de aislamientos conformados por resortes poseen, a diferencias de otros sistemas, una baja rigidez vertical, lo cual conduce a que el conjunto aislado presente modos pendulares con polos inferiores y superiores. La variación de la rigidez vertical no modifica significativamente las respuestas horizontales ni tampoco los desplazamientos a nivel del sistema de aislamiento.

- Debido al atraso que manifiesta nuestro país (comparados con otros de la región) en la implementación de sistemas innovativos, es necesario transferir, en forma urgente al medio profesional las investigaciones realizadas en dicho campo. Este aspecto debería cumplimentarse con la redacción y aprobación de códigos sobre dicha temática que incentiven el empleo de tales sistemas. Estos dos mecanismos ponen en evidencia la necesidad de continuar con las investigaciones que en los últimos años se vienen realizando en la Facultad Regional Mendoza. UTN.

AGRADECIMIENTOS

El trabajo fue desarrollado dentro del programa de becas para docentes de la UTN para realizar carreras de doctorado. Se agradece a las autoridades de la FRM de UTN en el desarrollo del proyecto, a investigadores y becarios del CeReDeTec y al permanente apoyo de la empresa GERB.

REFERENCIAS

[1] J. Gere & H.C. Shad. Terra non firma: Understanding and Preparing for Earthquake. Edit. W.H. Freeman. ISBN: 0716714965, 1995.

[2] OFDA & DAES. Departamento de asuntos económicos y sociales de Naciones Unidas, División Población. [on line] [Disponible en http://undp.org/bcpr/disred/documents/publication/rdr/espanol/ae/t3.pdf], 2005.

[3] DIS, Inc. Significant California Earthquake. Source: California Governor's Office of Emergency Services. [on line] [Disponible en http://www.dis-inc.com/quakecov.htm, 2005.

[4] A. Martelli. Modern seismic Protection Systems for Civil and Industrial Structures. Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Antisísmica. IX Jornadas. Conferencista Invitado. CD. ISSN 0718-2678., 2005.

[5] Tornello M. & Sarrazin M. Aislamiento sísmico para controlar los efectos de los terremotos sobre las construcciones. II Encuentro de Investigadores y docentes de Ingeniería. EnIDI, 2006.

[6] INPRES. Listado de terremotos históricos. [on line] [Disponible en http//www.inpres.gov.ar/seismology/historic/hist.panel.htm], 2005.

[7] J. Stuardi, J. Massa & A. Brewer. Eficiencia de sistemas de aislamiento sísmico basado en resortes helicoidales y amortiguadores viscosos comparada con aisladores de goma – metal. VIII Congreso Argentino de mecánica computacional. CD. 16-18, 2005.

[8] Tornello M. & Sarrazin A. Respuesta estructural de dos sistemas de aislamiento sísmico frente a terremotos de fuente cercana. Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Antisísmica. IX Jornadas. Paper A13-04. CD. SIN: 07118-2678., 2005.

[9] Tornello M. & Sarrazin A. Implementación de un sistema de aislación sísmica para el edificio de la residencia universitaria de la Facultad Regional Mendoza. Revista de Ciencia y Tecnología Proyecto Leonardo. Editor Facultad Regional Mendoza. Año 0. Vol. 1 CD. SIN: 1668-5784, 2004.

ABSTRACT

The past history suggest that occurrence destructive earthquake generate the important damages, economic loss and people life loss. No too much years the structural collapse thinking to occur the undevelopment country because they employed a lot of adobe and masonry with little seismic prescription. Anyway the San Fernado (1971), Northridge (1994) and Kobe (1995) earthquakes had been obviousness, for development country, that earthquake effects are not economic problem but status knowledge. The seismic isolation and energy dissipation techniques are new system for mitigate the earthquake effects; anyway, we have not more application in Argentina. The paper show the recompilation earthquake effects in dissimilar part of world, besides to show the results of analytical study on building isolation with spring isolation and viscous – elastic damper. The results suggest the benefit the isolation system for earthquake design.

Key Words: Isolation Systems - Dissipation Energy.

Estudio del uso de un residuo industrial para hormigones sustentables con materiales locales

N.G. Maldonado

ngm@frm.utn.edu.ar
Centro Regional de Desarrollos Tecnológicos para la Construcción, Sismología e Ingeniería Sísmica (CeReDeTeC), Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza

P. Helene

paulo.helene@poli.usp.br
Escola Politécnica da Universidade de Sao Paulo

A.M. Guzmán & M. Oropel

mguzman@frm.utn.edu.ar & dptocivil@frm.utn.edu.ar
Departamento de Ingeniería Civil. Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional.

RESUMEN: Los principios de sustentabilidad en la tecnología del hormigón implican hoy el uso de aditivos y adiciones naturales o artificiales en las dosificaciones del hormigón. Estos materiales producen cambios en las mezclas de referencia con una fuerte influencia en el hormigón resultante. El desafío de los tecnólogos del hormigón es seleccionar la mejor combinación entre las distintas adiciones y aditivos que se están promocionando para usar en hormigones durables. Dentro de un programa de investigación para desarrollar hormigones de alta performance en Mendoza, Argentina, con materiales locales, se evalúa el comportamiento de la dosificación para cementos normales y puzolánicos con el uso de sílica fume y de un residuo industrial local molido. El trabajo enfatiza la necesidad del estudio del comportamiento de los residuos industriales a través de ensayos específicos. Los resultados del trabajo mostraron diferentes comportamientos de los hormigones en estado fresco pero sólo con los ensayos de durabilidad se pudo identificar unívocamente el uso del residuo.

Palabras clave: residuo - sustentabilidad – durabilidad – proporcionamiento - succión

1 INTRODUCCIÓN

Los métodos de dosificación de los hormigones estructurales han vuelto a tener importancia en la industria de la construcción en la última década 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 conocidas como la silica fume, ceniza volante, metakaolin, etc. También, los conceptos de durabilidad, vida de servicio y medio ambiente

sustentable han introducido una nueva generación de códigos [Ref. 1] y ellos están impactando en la tecnología del hormigón y en la sustentabilidad ambiental cuando se trata de residuos industriales [Ref. 2]

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 o 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 hormigones confeccionados con cemento Pórtland normal y puzolánico y dos adiciones: silica fume y un residuo mineral industrial de origen local finamente molido.

2 METODOLOGÍA DE TRABAJO

2.1 *Antecedentes*

En el Centro Regional de Desarrollos Tecnológicos para la Construcción, Sismología e Ingeniería Sísmica (CEREDETEC), se ha llevado a cabo un programa de investigación para desarrollar hormigones de alta performance con los materiales locales. Si bien hay muchos métodos de dosificación como los de Bolomey, Fuller, Joisel, ACI, ICPA y otros citados [Ref. 3], el uso del nomograma de diseño de mezclas de Helene & Monteiro [Ref. 4] permite hacer una comparación correcta y adecuada entre las diferentes familias de hormigones, adoptando la misma referencia en el eje de resistencia a compresión, en vez de la habitual comparación de resultados individuales de mezclas de la mayoría de los métodos.

Durante la primera parte de esta investigación se obtuvieron resistencias especificadas de 60 MPa sin adiciones [Ref. 5] para hormigones con cementos Pórtland normal.

2.2 *Situación respecto a la normativa*

Las nuevas reglamentaciones nacionales [Ref. 1] requieren un diseño de hormigón para una vida útil de servicio de 50 años. En ellas se incorpora el medio ambiente como una acción más sobre la estructura, el que debe ser identificado para establecer los criterios de protección de la estructura. Las condiciones de exposición se clasifican en generales y/o específicas; las condiciones generales corresponden a las que producen degradación en las estructuras por procesos de corrosión y las específicas corresponden a acciones de congelación y deshielo, ataques por sustancias contenidas en suelos y aguas de contacto.

Respecto a la incorporación de adiciones no normalizadas como es este caso, 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

2.3 *Programa experimental*

2.3.1. Materiales utilizados

Los agregados gruesos utilizados se extraen del fondo aluvial de los ríos de montaña, donde predominan gravas rodadas de origen basáltico y granítico. En este caso, se usó grava rodada y grava rodada partida. Los agregados gruesos tienen un tamaño máximo de 19.5 mm y un módulo de finura de 6.16.

El agregado fino usado fue una arena de río rodada lavada con una densidad de 2.57 kg/m3, absorción de agua de 0.81 % y un módulo de finura de 3.1.

Se usaron dos tipos de cementos: cemento Portland normal CPN 40 (ASTM Tipo I) que cumple la norma IRAM 50000 [Ref. 6] y un cemento Portland puzolánico CPP40 (ASTM tipo IP) que cumple la norma IRAM 50001 [Ref. 6].

Para lograr mezclas trabajables se utilizó un aditivo superplastificante en forma de solución acuosa de base polimérica acrílica con 32% de contenido de sólidos.

El desecho industrial molido es originado en la ignición del horno de sílice y calcio, que genera como materia prima siliciuro de calcio. Los desechos de producción son mantenidos en pilas al aire libre sin destino de uso. Esta situación genera preguntas sobre la compatibilidad con el medio ambiente y el uso probable en hormigones.

La Tabla 1 muestra las principales características de los cementos Pórtland utilizados, sílica fume y residuo industrial finamente molido usado en este trabajo. Los valores de las características químicas del residuo no permiten identificar el material ni como escoria granulada de alto horno según norma IRAM 1667 [Ref. 6] ni como silica fume con norma internacional ACI 234R [Ref. 7].

El mejor porcentaje de aditivos fue establecido mediante el ensayo de compatibilidad de aditivos y adiciones buscando la combinación más económica en condiciones de laboratorio mediante la aplicación del ensayo del mini-cono de Kantro [Ref. 8]. En la Tabla 2 se presentan resultados de las superficies extendidas del ensayo de compatibilidad para distintas relaciones a/c y la misma dosis de superplastificante y en la Tabla 3 se presentan los porcentajes de consumo de aditivo superplastificante para las distintas mezclas estudiadas.

Tabla 1: Análisis de los materiales cementantes utilizados

Item	Cemento Portland Normal	Cemento Portland Puzolánico	Silica fume	Residuo industrial molido
Norma	IRAM 50000	IRAM 50000-50001	CAN/CSAA 23.5-M86	No hay
Area específica m2/kg	350	310	19000	100
Peso específico kg/m3			450-500	
SiO_2 %	21,4	28,4	96,5	59,5
Fe_2O_3 %	4,41	4,90	2,0	0,74
Al_2O_3 %	3,83	4,23	0,5	---
CaO %	63,4	54,6	0,8	21,4
MgO %	1,12	1,04	0,9	4,97
Na_2O %	0,54	0,48	0,4	1,37
K_2O %	0,78	0,59	2,0	2,55
SO_3 %	2,16	3,50	--	40
Coeficiente de puzolanidad	--	0,68	--	---
Pérdida por ignición %	2,20	1,53	3,5	6,9

Tabla 2: Resultados de los ensayos de compatibilidad de aditivos en cm^2 de superficie extendida

Relación a/mc	Dosis: 1.5 % de superplastificante en peso del cemento					
	CPN 40	CPN40 + 7,5 % silica	CPN40 +7.5 residuo	CPP 40	CPP 40 + 7.5% silica	CPP 40+ 7.5% residuo
0.25	64	15	68	60	15	--
0.30	158	84	131	159	22	76
0.35	260	80	222	275	92	177

2.3.2 Mezclas elaboradas

En este trabajo se comparan los resultados entre mezclas diferentes: la llamada mezcla de referencia (N) con cemento pórtland normal, la mezcla de referencia (P) con cemento Pórtland puzolánico, las mezclas (N) y (P) con reemplazo de parte del cemento por silica fume (S) y las mezclas (N) y (P) con reemplazo de parte de cemento con el residuo de industria local molido (H). El porcentaje de reemplazo de materiales cementicios en las mezclas con (S) y (H) fue del 7,5% respecto al peso original del cemento.

Se usaron tres relaciones de relación (m) en peso de masa seca de agregado/masa de material cementicio, (mc) para cada familia de hormigón: 3/1, 4/1 y 5/1 para confeccionar el nomograma de diseño de mezcla [Ref. 4]. Este método de proporcionamiento usado requiere sólo el ajuste por contenido de humedad del agregado fino y grueso. Las proporciones estudiadas y los resultados medidos en estado fresco se presentan en la Tabla 3. Todas las mezclas tienen la misma trabajabilidad en estado fresco medida mediante el ensayo del cono de Abrams (70 ± 20 mm).

Todos los materiales fueron almacenados a 20° C de temperatura y una humedad relativa ambiente del 50 % en laboratorio y fueron mezclados en mezcladora de aspas en las mismas condiciones en laboratorio.

El orden de incorporación de los materiales en la mezcladora fue: 80% del agua, agregado grueso, cemento, parte de aditivo superplastificante,

agregado fino y finalmente el agua restante para las mezclas (N) y (P) y para las mezclas con (S) y (H) la adición fue mezclada con el agregado fino. Una vez que los materiales estuvieron en la mezcladora, el tiempo de mezclado estuvo entre 7 y 10 minutos.

Cada tongada incluyó suficiente cantidad de hormigón para realizar el ensayo del cono de Abrams [Ref. 6], del contenido de aire en estado fresco, peso unitario del hormigón y 20 probetas cilíndricas de 100 mm de diámetro y 200 mm de altura para los ensayos de resistencia mecánica y para ensayos de absorción. Los especímenes fueron cubiertos por un film plástico y dejados en el molde durante 22 horas, después de las cuales fueron desmoldados y curados en tanques de inmersión hasta la edad del ensayo.

Todos los especímenes cilíndricos fueron encabezados con material especial de alta resistencia.

Tabla 3: Proporciones de los materiales utilizados

1: m	ID	Cemento portland	Adición	Agregados		a/mc	Peso unitario	Asentamiento medido	Material cementicio	Aditivo
				Fino	Grueso		kg/m^3	Mm	kg/m^3	% peso cemento
1 : 3	N	1	0	1,24	1,76	0,34	2343	50	547	0,7
1 : 3	P	1	0	1,24	1,76	0,34	2371	50	547	1,0
1 : 3	S	0,925	0,075	1,24	1,76	0,36	2377	70	545	3,0
1 : 3	H	0,925	0,075	1,24	1,76	0,36	2370	80	544	2,0
1 : 4	N	1	0	1,80	2,20	0,42	2369	50	437	0,6
1 : 4	P	1	0	1,80	2,20	0,42	2369	50	437	1,0
1 : 4	S	0,925	0,075	1,80	2,20	0,46	2359	70	432	2,0
1 : 4	H	0,925	0,075	1,80	2,20	0,46	2350	90	430	2,0
1 : 5	N	1	0	2,36	2,64	0,50	2387	50	367	0,6
1 : 5	P	1	0	2,36	2,64	0,50	2385	50	367	1,0
1 : 5	S	0,925	0,075	2,36	2,64	0,52	2336	80	358	5,0
1 : 5	H	0,925	0,075	2,36	2,64	0,52	2330	90	357	2,0

3 RESULTADOS DE ENSAYOS Y DISCUSIÓN

3.1 *Resistencia a compresión*

Los resultados de las propiedades del hormigón endurecido se presentan en la Tabla 4. El valor de la resistencia a compresión representa el resultado del promedio de tres ensayos a la misma edad en probetas cilíndricas de 100x200 mm. El ajuste estadístico de los resultados obtenidos confirma que la resistencia a la compresión verifica la Ley de Abrams para cada familia de hormigones [Ref. 5].

Estudiando la trabajabilidad del hormigón fresco, se observó que la principal diferencia entre las mezclas (H) con las mezclas (N), (P) y (S) se debe a que el residuo de industrial local molido actúa como agregado fino sin efecto puzolánico. En la Fig. 1 correspondiente al nomograma con las proporciones ensayadas para cemento puzolánico, donde se representan los cuadrantes correspondientes a la resistencia, durabilidad, trabajabilidad y cantidad de material cementicio, se pueden observar las diferencias mencionadas.

El crecimiento de la resistencia a la compresión en el tiempo para las mezclas estudiadas muestran que las mezclas con adición de sílica fume (S) siempre permiten obtener el valor máximo de resistencia a compresión. También muestra los valores similares de las mezclas (N), (P) y (H) en Tabla 4.

Los valores de resistencia a compresión verifican los requisitos de normas nacionales, pero no permiten distinguir por resistencia el uso del residuo industrial local molido.

3.2 *Succión capilar*

Para identificar el comportamiento del residuo se realizó el ensayo de succión capilar normalizado según norma IRAM 1871 [Ref. 6] a través del incremento del peso de la probeta por absorción capilar del agua.

La velocidad de succión en las mezclas con el residuo de industria local molido es mayor que en las otras mezclas. Esto confirma el comportamiento de esta adición como agregado fino respecto las otras mezclas y ratifica el comportamiento de aumento de la impermeabilidad por el uso de la sílica fume.

Tabla 4: Resultados de la resistencia a compresión

1 : m	ID	Mezcla	Resistencia a compresión		
			28 días	91 días	180 días
			MPa	MPa	MPa
1:3	P	M3	41,3	47,3	51,5
1:3	P+S	M5	52,9	54,8	58,4
1:3	P+H	M14	37,0	41,0	44,0
1:3	N	M8	46,3	62,7	67,0
1:3	N+S	M9	55,9	74,0	79,0
1:3	N+H	M15	38,5	42,0	48,5
1:4	P	M1	35,7	42,0	47,9
1:4	P+S	M4	45,9	50,0	49,5
1:4	P+H	M16	34,0	39,0	41,0
1:4	N	M10	41,2	54,1	62,0
1:4	N+S	M11	47,5	62,8	70,0
1:4	N+H	M7	28,5	39,0	47,3
1:5	P	M2	29,4	32,0	33,8
1:5	P+S	M6	40,5	42,0	43,0
1:5	P+H	M17	28,0	32,0	37,0
1:5	N	M12	36,5	47,3	52,0
1:5	N+S	M13	44,5	56,8	58,0
1:5	N+H	M18	23,7	32,5	37,5

La Tabla 5 muestra los resultados de los ensayos de succión por absorción capilar. La principal dificultad de este ensayo está en cómo obtener la condición del hormigón endurecido y el tiempo necesario para hacer los ensayos debido a la falta de una distribución uniforme del secado en horno [Ref. 9]. El requisito de la normativa nacional respecto a condiciones sin agresividad establece como límite una velocidad de succión capilar menor a 4 $g/m^2 s^{1/2}$ para probetas secadas a 50° C para requerimientos de penetración de agua [Ref. 1] como se presenta en la Fig. 1.

El mejor comportamiento corresponde a las mezclas con silica fume (S). La incorporación del residuo de industria local molido en las mezclas (H) implica una mayor cantidad de aditivos, y si se incorpora en un porcentaje mayor, la resistencia a compresión disminuirá porque no tiene efectos de propiedades puzolánicas.

Tabla 5: Resultados del ensayo de succión

1: m	ID	Mezcla	Velocidad de succión	
			6 h	24 h
			$g/m2.s^{0.5}$	$g/m2.s^{0.5}$
1:3	P	M3	5,28	3,90
1:3	P+S	M5	3,60	2,60
1:3	P+H	M14	5,32	4,20
1:3	N	M8	5.29	3,90
1:3	N+S	M9	3.54	2,70
1:3	N+H	M15	5.29	4,70
1:4	P	M1	5,60	4,00
1:4	P+S	M4	5,30	3,80
1:4	P+H	M16	5,70	4,20
1:4	N	M10	5,70	4,30
1:4	N+S	M11	4,40	3,90
1:4	N+H	M7	4.58	4,40
1:5	P	M2	7,40	5,40
1:5	P+S	M6	4,90	4,00
1:5	P+H	M17	7,40	5,50
1:5	N	M12	7,10	5,30
1:5	N+S	M13	5,00	4,50
1:5	N+H	M18	7,50	5,40

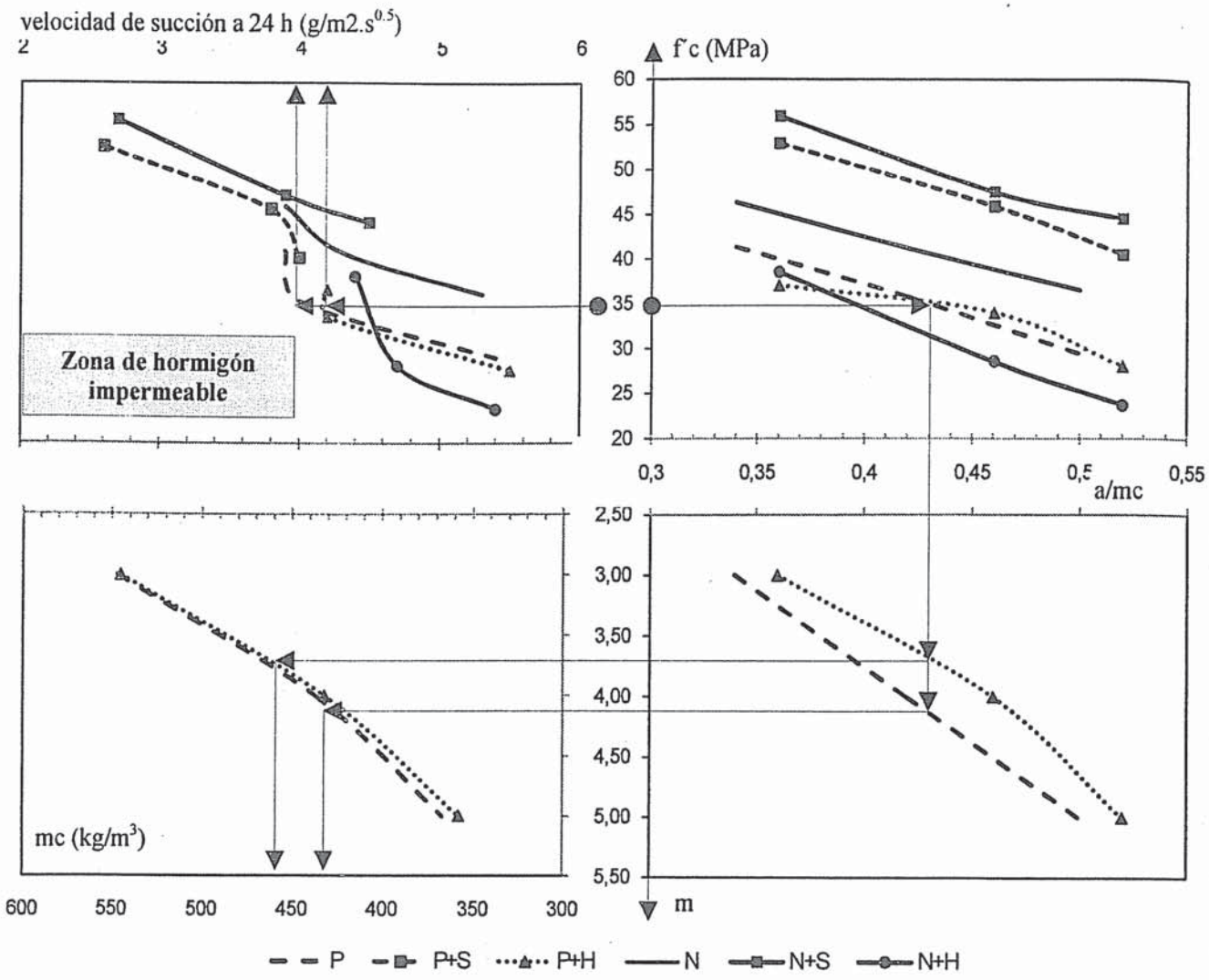


Figura 1. Nomograma de proporcionamiento de mezclas a 28 días

4 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.

- El residuo de industria local molido modifica las propiedades del hormigón fresco debido a que actúa como fino y mejora la trabajabilidad pero no las características mecánicas.

- 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 SO_3 supera los requerimientos de normas vigentes por durabilidad.

- El uso de silica fume es compatible con los agregados locales y las proporciones de mezclas 1:3 y 1:4 permiten obtener un hormigón impermeable de acuerdo a los nuevos requerimientos de las normas nacionales.

- La evaluación de la velocidad de succión muestra las diferencias en el comportamiento entre las distintas proporciones de hormigones en forma unívoca, en especial cuando se incorpora el residuo estudiado.

- La incorporación del residuo de industria local molido no ha obtenido un mejor rendimiento respecto a los costos de materiales.

- La incorporación de la silica fume ha alcanzado la mayor resistencia a compresión para hormigones de elevada resistencia pero se desperdicia en hormigones de resistencias menores o convencionales.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó con la colaboración de la Dirección de Minería de la Provincia de Mendoza y del LEMIT de la Provincia de Buenos Aires.

REFERENCIAS

[1] CIRSOC 201. Proyecto de Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón. Buenos Aires, Argentina, INTI. 2002.

[2] S. M. Levy y P. Helene. Durability of recycled aggregates concrete: a safe way to sustainable development, Cement and Concrete Research 34: 1975-1980. 2004.

[3] N. G. Maldonado & P. Helene. HSC designed by three mixture proportioning methods: how much different are they?, In V.M. Malhotra (ed.), High-performance concrete. Performance and quality of concrete structures; Proc. of the third intern. conf., Recife, PE, Brazil, 2002. Publication SP-207: 311-326. Farmington Hills, MI, USA: American Concrete Institute.

[4] P. Helene & P. Monteiro. Designing concrete mixtures for strength, elastic modulus and fracture energy, Materials and Structures, 26 (162): 443-452. 1993.

[5] N. G. Maldonado & P. Helene. Dosificación de hormigones de altas prestaciones con diferentes métodos para agregados rodados. En Desarrollos e Investigaciones Científico-Tecnológicos en Ingenierías, Rivera y McLeod (Edit). pp. 49-58. 2005

[6] Catálogo Normas IRAM. 2006.

[7] ACI 234.R.-00. Guide for the use of silica fume in concrete. ACI Committee 234. Farmington Hills, MI, USA: American Concrete Institute. 2000.

[8] D. L. Kantro. Influence of water reducing admixture on properties of cement-paste – a miniature test. Cement, Concrete and Aggregates 2 (2): 95-108.1980.

[9] N. G. Maldonado & P. Helene. ¿Hay diferencias entre métodos de dosificar hormigones de alta performance para evaluar durabilidad?, In A. A. Di Maio (ed.), Structural concrete and time; Proc. of the fib Symposium, La Plata, Argentina, 28-30 sept., 2005. Publication 1: 163-170. AAHES-LEMIT-AATH.

ABSTRACT

The principles of sustainability of concrete technology imply now to include admixtures and natural or artificial additions in the mixture design of concrete. These materials generate changes in the original reference mixture and they have a strong influence on concrete. The challenge to concrete technologists is to select the best combination among different admixtures and additions which are being promoted to be used in concretes with special performance.

A research program has been carried out to develop high performance concretes in Mendoza, Argentine, with local materials, as well as to evaluate normal and pozzolan cements with the use of silica fume and a milled residue of a local industry in the mixture design of concretes. This paper emphasizes the need to evaluate industry residues by performance tests. The results show different performance in fresh state but it is only durability tests give to identify univocally the residue.

Key Words: residue - sustainability – durability - proportioning - suction

Evaluación de rehabilitación y reparaciones del Puente "Los Árboles", Río Tunuyán, Rivadavia, Mendoza, Argentina

L.A. Olivencia
luis_olivenciat@yahoo.com.ar
Departamento Ingeniería Civil, Facultad Regional Mendoza, U.T.N.

J.G. Aloy & J.C. Jefferies & O. Pascolatti
Departamento Ingeniería Civil, Facultad Regional Mendoza, U.T.N.

M.A. Pagnotta
HORMISUELO Ingeniería

RESUMEN: En este trabajo se presenta un caso de estudio correspondiente al Puente "Los Árboles" sobre el Río Tunuyán, Rivadavia, Mendoza, que fue construido entre 1951 y 1955. Los daños causados por la creciente del año 1982 implicaron su reparación, rehabilitación y habilitación en 1985. En 2007 se realiza una inspección para relevar el estado y se identifican problemas de patología en el puente, los que generan las propuestas de reparaciones a efectuarse. Este trabajo pone en valor la necesidad de monitoreo y mantenimiento de este tipo de obras de infraestructura en forma sistemática.

Palabras clave: Puente - Patología - Daño - Reparación - Habilitación

1 ANTECEDENTES

El puente en estudio tiene 52 años en servicio, desde su puesta en servicio en 1955 hasta su primera reparación pasaron 30 años. Corresponde a un puente Tipo A-30 de acuerdo a lo exigido por la Dirección Nacional de Vialidad, Ref. [1,2].

1.1 *Superestructura*

El puente fue construido con una superestructura de vigas continuas acarteladas en cinco tramos de 18 m cada uno, que apoyan en dos estribos extremos y cuatro pilas intermedias, integrando las losas (como viga T) de hormigón armado, que constituyen el tablero del puente. El hormigón utilizado en su construcción corresponde a un tipo Clase B, de 350 kg. de cemento por m3, relación agua/cemento de 0,60 y resistencia cilíndrica a compresión a 28 días de 25 MPa. En el Pliego de Licitación, se especifican características y calidades que deben cumplir los cementos, los áridos y el agua. Así también se citan Normas para los ensayos y las formas de elaboración, colado y curado. Se mencionan las Normas AASHTO T 21 y T 27 para determinar los valores límites de las curvas granulométricas de los agregados fino y grueso respectivamente. Ver Fig. 1.

El acero utilizado en la construcción de vigas y losas, era conocido como "acero dulce" en barras (liso) con límite de fluencia 240 MPa, alargamiento a la rotura 20 %, módulo de elasticidad E=210.000 MPa. El acero permitido no debía exceder el límite de 0,25 % de carbono.

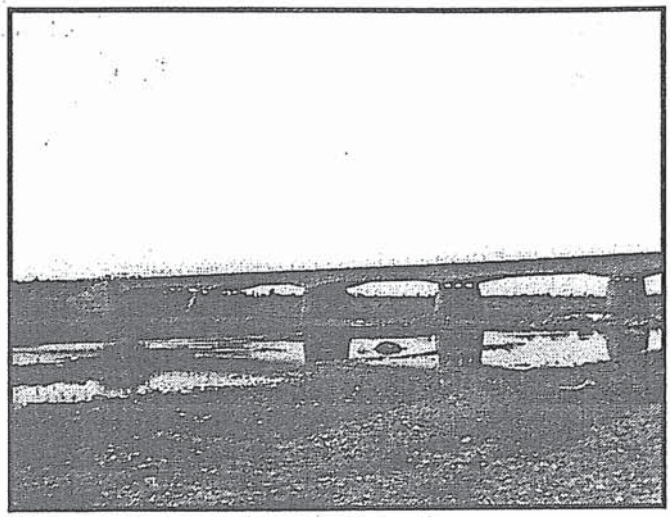


Figura 1. Puente sobre Río Tunuyán.

1.2 *Infraestructura*

Las pilas y estribos se fundaron en el lecho del río de acuerdo a las evaluaciones de aquél entonces y los estudios de suelos disponibles habituales mediante calicatas y el aporte empírico del conocimiento sobre la formación de fondo de los ríos.
El diseño geométrico de las pilas existentes respondía a criterios adoptados hasta esa fecha. Las pilas se construyeron sobre una fundación de cajones conformados por una pantalla perimetral 0,40 m. de hormigón armado Clase B de 350 kg. de cemento/m3 y cargando interiormente con hormigón ciclópeo de 250 kg. de cemento/m3. La cota de fundación de estos cajones se diseñó a una cota menos 7,00 m., por un ancho de 3,20 m y largo de 2,80 m. Sobre estos cajones se emplazaron las pilas. Las pilas tienen una forma redondeada aguas arriba y más puntiaguda hacia aguas abajo que permiten orientar los filetes del flujo. Se estimó en el proyecto que los 7,00 m. de fundación por debajo de la cota de lecho eran suficientes para evitar cualquier socavación. Los estribos se fundaron sobre muros de sostenimiento (de gravedad) donde se apoyaron los muros de cabecera y alas. Cuando se construyó el puente los apoyos fueron del tipo moldeado y forjado con placas en acero debidamente cepillados, en cantidad de 20 de tipo móviles y 4 fijos.

1.3 *Modificaciones de Obra*

En la documentación del Puente Los Árboles, Ref. [1], se observa que se presenta un legajo posterior solicitando una modificación en las defensas de ambas márgenes del Río Tunuyán, en función de lo que la inspección observó (crecidas año 51/52). Se fundamentó y justificó la necesidad de acortar las defensas de la margen izquierda y el costo ahorrado se trasladó a recrecer la defensa en la margen derecha, teniendo en cuenta que en aquel momento el flujo divagaba en ese sector del Río. Además el fundamento técnico se basaba en que en la margen izquierda existían plantaciones de sauces y álamos que mantenían consolidado a dicha margen.

2 PROBLEMAS DE PATOLOGÍA

En el año 1982, a raíz de la condición divagante del flujo del Río Tunuyán, éste se recostó sobre la margen izquierda generando perturbaciones y erosiones al pié de la misma, para luego el flujo discurrir hacia la zona de la primer pila (extremo sur-margen derecha) formalizando una erosión de fondo y socavando lateralmente en forma parcial y/o total hasta la cota de fundación, donde inclusive se formaron vórtices que complicaron la situación. Esto provocó la desestabilización de la posición vertical de la pila. Teniendo en cuenta el achicamiento de la sección hidráulica en el puente en relación a la sección hidráulica aguas arriba del puente, esto equivale a que para erogar el flujo por el sector del puente la velocidad se caracterizó como crítica y las tensiones en el lecho movilizaron arrastre de fondo. Esta acción hidráulica configuró que la pila perdiera la plomada y volcara parcialmente (inclinada), por falta de sustentación homogénea de la fundación. Ver Fig. 2.

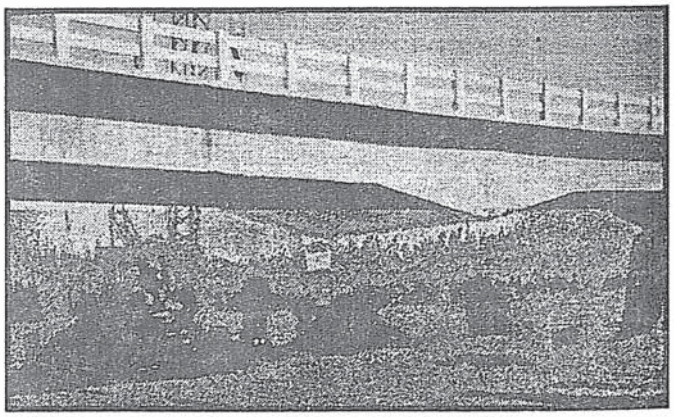


Figura 2. Pila colapsada margen derecha.

Para que una pila sea estable, debe estar proyectada contra vuelco, deslizamiento y aplastamiento, además profundidad de erosión. En esto intervienen la clasificación del perfil de suelo, la capacidad portante y la saturación del mismo.

2.1 *Causales de falla, Patología de las vigas y Reconstrucción de la Pila*

El legajo del Pliego del Proyecto de reconstrucción, indica que la pila primitiva fundada sobre dos cajones de hormigón armado y, a raíz de las aguas de la crecida y de las características desfavorables del terreno de fundación (limo – arenoso), se produjo el hundimiento e inclinación de los cajones de fundación conjuntamente con la pila y los apoyos del puente, quedando por consiguiente la estructura únicamente sostenida por el estribo sur y la pila subsiguiente. Las otras tres pilas no se vieron afectadas.

Las condiciones del comportamiento de la estructura siniestrada, deja en claro que la patología presentada en dicho puente, estaba fuera de fallas directas por calidad del hormigón y de los aceros. Justamente la respuesta fue excelente, porque se generaron fisuras y grietas y no se produjo un colapso de la superestructura. En consecuencia, el origen de los daños estuvo centrado en el comportamiento exigido por solicitaciones excesivas debidas a las condiciones hidráulicas y las características de los suelos que conforman el perfil del lecho del río.

Para realizar la reconstrucción de la pila y teniendo en cuenta que las condiciones constructivas eran desfavorables, se debió recurrir a dejar enterrados los dos cajones de la fundación de la pila siniestrada, porque resultaba costosa su demolición y extracción.

El estudio de suelo del pliego de la licitación de reconstrucción establece la realización de perforaciones para evaluar el perfil de fundación y las características del suelo. Se obtuvieron los siguientes datos: Los suelos desde el nivel de fondo del cauce del río y por debajo de la rasante del puente, en coincidencia con la pila presentó:

a) Entre nivel de cauce y cota – 11,50 m por debajo del fondo, está compuesto por un material arenoso con gravas y gravillas sin finos plásticos, mal graduados.
b) Entre – 11,50 m. y – 16,50 m. (entre 6 y 13 m. de profundidad) sigue material aluvional grueso, compuesto por mezclas mal graduadas de arena y grava de granos duros y redondeados y cantos rodados de tamaño máximo 6", con muy buena compacidad.
c) La resistencia a la penetración mediante penetrómetro Terzaghi (nº 30) para distintas profundidades fue la siguiente: 6,50 m 5 golpes / 7,50 m 6 golpes / 8,50 m 12 golpes / 9,50 m 20 golpes / 10,50 m 35 golpes / 11,50 m 40 golpes / 12,50 m 53 golpes y de los 13,50 m a 18,50 m mas de 100 golpes.
d) A 0,50 m por debajo del nivel de fondo del cauce en la zona de emplazamiento previsto para los pilotes se detecta una potente napa freática.

Para el dimensionamiento de las fundaciones se consideraron los siguientes parámetros: cargas máxima (sobrecarga A – 30, peso propio, puente pilas y pilotes) = 60 kN. Resistencia de punta en cota de fundación = 1,5 MPa Cota de fundación = -17,50 m. Angulo de fricción interna F = 35º, Peso específico aparente ? = 0,15 kN /m3.

3 REPARACIONES

Se decidió construir una nueva pila, fundada sobre pozos de hormigón armado de diámetro 80 cm y 10 m. de profundidad con hormigón de 25 MPa y acero de alta resistencia, los cuales se construyeron en dos grupos de cuatro en ambos extremos fuera de la zona ocupada por los cajones de fundación siniestrados. Los dos grupos de pilotes se unieron en sus cabezas mediante vigas de 14 m. de luz que fueron parte integrante de la nueva pila a construir. En el Pliego se dieron las normas, métodos constructivos, pautas de ensayo, características y calidades de los materiales y metodología de la excavación y proceso constructivo. Ver Fig. 2 y 3.

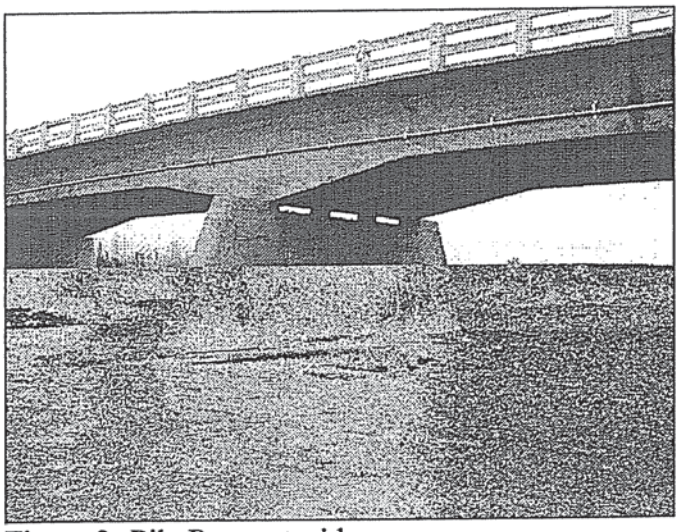


Figura 3. Pila Reconstruida.

La superestructura del puente se debió elevar para permitir la colocación de los apoyos de neopreno, se autorizó a utilizar gatos especiales de 7 kN., cada uno, no debiendo transmitir al hormigón una presión

superior a 10 MPa. La carga de los gatos se formalizó mediante la utilización de elementos rígidos para controlar la distribución uniforme de las cargas. Las deformaciones se controlaron con flexímetros convenientemente colocados. Ver Fig. 4.
Cuando se hizo la visita a fines del año 1984, las condiciones eran desconocidas, porque ya se había formalizado la reconstrucción de los pilotes de fundación y la nueva pila y la viga se había contra flechado en unos dos a tres cm. Esta contra flecha fue determinada por los profesionales de la Comitente a los efectos de realizar la restauración y restitución a su estado primario mediante la utilización de inyección de epoxi. Luego de formalizado los trabajos de inyección de epoxi se relajaría para que quedase según las condiciones originales, eliminando dicha contra flecha.
Para esto se colocaron gatos especiales para elevar y generar dicha contra flecha, a la vez que sirvió para colocar los nuevos apoyos que en este caso fueron de neopreno de acuerdo a las características más modernas en reemplazo de los tradicionales apoyos metálicos de rodillo. Ver Fig. 4.
Esta modificación de los apoyos solamente se realizó en la pila recuperada, dejando las condiciones de apoyo tradicionales y existentes en las otras tres pilas y en los dos estribos. Las condiciones de funcionamiento y funcionalidad entre ambos sistemas son diferentes, y en los apoyos de neopreno actuales se rigen por normas de Estados Unidos, en el caso de España del Instituto Eduardo Torroja y en la Argentina con la norma IRAM, Ref. [3], que genera los métodos de cálculo y las formas de montaje y servicio.

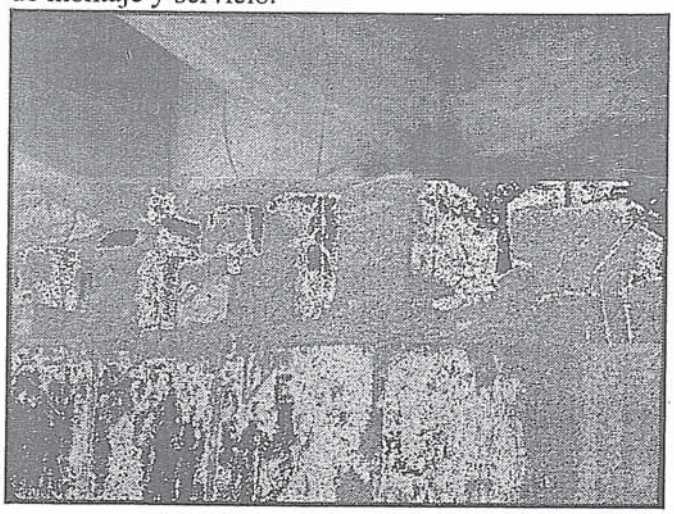


Figura 4. Ubicación de gatos para elevar el Puente.

La vida útil en servicio de los apoyos de neopreno es de 50 años, si bien las normas indican verificar el estado cada 20 años. Los apoyos de puentes reemplazados son de neopreno dureza Shore 50 ± 5, el acero inoxidable según IRAM 503 F 24 intercalados en capas y el cojinete del sustrato apoyo de s_{bh} = 30 MPa con barras F 10 mm. matriz c/5 x 5 cm. y s_{ek} = 440 MPa.
En el caso de los rodillos de acero, pueden ser afectados en el tiempo por problema de corrosión y de esta manera generar que se traben, condicionen y coaccionen los movimientos y la libertad según la solicitación del puente.
Las vigas de la superestructura se encontraban en posición apoyada sobre la nueva pila. Se debe tener presente que dada la baja resistencia a la tracción del hormigón que es del orden del 10% de la resistencia a compresión, generaron mediante solicitaciones en forma de cargas y/o de acciones indirectas las patologías detectadas caracterizadas como fisuras. Estas fisuras tenían la forma de ? (símbolo de conjunción en lógica). En la visita en el año 1984 no se observó fluencia y/o relajación del acero. Se observó además que el estado del hormigón era adecuado y efectivamente era aplicable la tecnología de la inyección de epoxi para soldar los sectores de fisuras, a los efectos de restituir la estructura con una ponderación del 90% al 95% del estado original.

3.1 *Reparaciones de fisuras*

En la mayoría de los tipos de fallas, la técnica de reparación ha encontrado un valioso auxiliar en las resinas epoxi debido a las excelentes propiedades adhesivas, resistentes, de durabilidad y de compatibilidad con el hormigón. Dichas resinas son poliésteres derivados del petróleo y de la hulla.
La primera aplicación en el campo de la construcción data del año 1954, en California a cargo del State Highway Department de Estados Unidos.
Las resinas epoxi son empleadas para reparaciones y refuerzos por las siguientes razones:

- retracción química prácticamente despreciable,
- retracción térmica muy pequeña,
- la reactividad puede regularse dentro de amplios márgenes,
- pueden ser compatibles con la humedad,
- excelente adhesión con el hormigón y el acero,
- excelentes resistencias mecánicas,
- su red reticular es totalmente estable frente a la intemperie y los medios agresivos,
- presentan la particularidad de poder formar reticulación de una red más o menos flexible.

Tabla 1: Propiedades de epoxi, comparadas con el acero y el hormigón.

Propiedad	*U*	*Acero*	*H°*	*Epoxi sin carga*	*Epoxi con carga*
Compre-sión	MPa	260	30 a 50	--	100 a 150
Tracción	MPa	240	4 a 6	60 a 90	15 a 25
Flexión	MPa	300	5 a 8		~ 30
Mód. Elasticidad	MPa	2×10^5	$2,3 \times 10^4$	$1,2 \times 10^4$	$2,3 \times 10^4$
Coef. Expansión	Cm/ cm . °C	$1,2 \times 10^{-5}$	1×10^{-5}	5×10^{-5}	2×10^{-5}
Elongación	%	20	0,02	~ 10	0,1
Densidad	kN/ m3	--	0,24	0,11	0,20

Las propiedades del epoxi son:
Mecánicas: la resistencia a la tracción, si bien esto no es suficiente como caracterizador, sin embargo la posibilidad de un valor de 90 N/cm2 es indicador que la mitad de dicha carga pueden ser soportadas por las formulaciones durante años. Si contrastamos los datos de la tabla del epoxi y del hormigón, se observa que la resistencia a la compresión es de 2 a 3 veces mayor y en el caso de la resistencia a la tracción es de 3 a 4 veces mayor, por lo tanto si estos son sometidos a esfuerzos, la falla ocurre en el hormigón.
Esto es importante en el caso que se presentó en el Puente Los Árboles, al caracterizar la patología en las vigas con el criterio de fisuras o grietas que determinaron los ajustes de formulación a pié de obra con el aporte de filler para acercar las condiciones del epoxi a las del hormigón, a los efectos que estos trabajen monolíticamente y evitar tensiones superiores a las del hormigón. Para fisuras con aberturas de 3 mm., las inyecciones de epoxi estaban libres de harinas o filler, para grietas se cargó con distintas relaciones de filler de acuerdo a la abertura de las mismas. Igualmente se aplicó en el sector de la losa por el sustrato inferior y/o sustrato superior.
En laboratorio el contenido de epoxi puede ser determinado a través del método que se describe en la norma ASTM D 1652-73 epoxi contents of epoxi resin, Ref. [4]. Para el contenido de carga el método es de la norma ASTM D 482-79 Ash from petroleum products, Ref. [4]. Todo depende de la naturaleza físico-química y de la granulometría de la carga que resulta importante para las propiedades finales de la resina combinada.
Plastodeformación: Bajo carga permanente esta propiedad es importante, teniendo en cuenta que la estructura debe permanecer por décadas, dependiendo de la formulación y la temperatura.
Resistencia a la adhesión es superior a la resistencia del hormigón. Esto es válido aún para hormigones de alta resistencia (70 MPa).
Para los trabajos de inyección, Ref. [5], se indican los siguientes lineamientos a seguir. Para estas formas de actuación se tiene el siguiente cronograma:
Limpieza superficial de la estructura dañada, teniendo en cuenta no deteriorar los labios de las fisuras o grietas.
Limpieza superficial y exterior con chorro de aire.
Cosmética en forma artesanal preparando la superficie y verificando que no haya detritus que obture algún sector de la traza de la fisura o grieta.
Aplicación de un gel de epoxi tomando 5 cm. a cada lado de la traza de la fisura o grieta, a modo de "primer" para asegurar la adherencia al sustrato del siguiente paso.
Aplicación de una masilla epoxi (en este caso las cargas son marmolinas), al mismo tiempo se van colocando los picos para inyección. Estos picos han sido determinados de acuerdo al conocimiento de las patologías de la estructuras. Los picos se numeran desde abajo hacia arriba, a los efectos de ordenamiento y luego seguir las anotaciones de insumos del epoxi de inyección. Este insumo de material de inyección es importante porque en forma cualitativa va dando una idea de las condiciones de la patología y de la recuperación con el tratamiento de inyección. Se deja reticular a la masilla epoxi.
Se procede previamente a inyectar aire siguiendo el mismo orden que se seguirá cuando se proceda a la inyección de epoxi. Esto es por los picos inferiores y siguiendo el orden superior. Se observa si el aire circula por el pico superior. Luego se pasa al segundo pico y se procede de igual forma, así hasta el último pico. De esta manera se interpreta como están conectadas las fisuras o grietas interna. Asimismo se observa si hay pérdidas por sectores del sellado. Si el sellado es correcto, esta disponible a seguir la etapa de inyección de epoxi. Si se detectan fugas de aire, se procede de la siguiente manera:

a) si los tiempos son cortos para el endurecimiento se repasa otra vez con masilla epoxi y si las fugas son chicas, se utiliza "poxipol 10 minutos",

b) si las fugas son importantes, el indicador es preparar nuevamente masilla epoxi y generar una nueva capa sobre la anterior, para formar una contención de mayor espesor.

Para la inyección de epoxi hay que tomar las siguientes condiciones:

Equipo de bombeo. Consta de un equipo de fabricación mínima, que esta compuesto con un tanque de recepción de la formulación de epoxi, reloj de temperatura, reloj de presión, reloj horario con alarma, boquilla para manguera de aire, boquilla para manguera del producto, su correspondiente tapa con cierre a rosca hermética.

En países como Estados Unidos, Europa, Japón, etc. se utilizan equipos de bombeo mas sofisticados que permiten regular en el pico las formulac iones, esto es importante para ciertas prestaciones donde no es posible generar un encapsulamiento de ambas caras como es en recuperación de pavimentos o ciertos tipos de estructuras que no tienen acceso en todas sus caras.

Se debe disponer de un compresor con un tanque de almacenamiento y de accionar automático de recarga, que abastezca con buena presión (0,5 a 1 MPa) y con suficiente caudal constante. Máquina rotopercutora para perforar la zona a colocar los picos. Se debe disponer de brocas suficientes y del diámetro de los picos. Amoladoras eléctricas y herramientas manuales.

Los accesorios son: pistola de inyección con elementos de enchufe y abrazaderas para los picos instalados en la estructura, manguera de entrega del flujo de epoxi desde el equipo al pico, esta manguera deberá tener un largo de tal forma que permita libertad de movimiento cuando se traza el esquema de la inyección de epoxi. La longitud no debe ser menor de 10 metros. Se tendrá que disponer de dos a tres mangueras en función a la ma gnitud de trabajo para no interrumpir la continuidad de inyección.

Se deberán disponer de guantes plásticos para las manos, lentes de protección industrial, barbijos para nariz y boca, cascos y botiquín de acuerdo a normas con medicamentos para atender en emergencia al personal afectado.

Diluyentes especiales: Acetona y Tolueno para limpieza de equipamiento, y para caso de emergencia demoler un epoxi endurecido. Estopas, trapos para limpieza.

Recipientes para mezclado de la formulación de epoxi, recipientes con tapas de cierre hermético para descarte de envases utilizados o decomisados, debiendo cuidar el medio ambiente y la salud de las personas. Cintas de seguridad para áreas restringidas de trabajo o de seguridad. Queda prohibida la presencia de personas ajenas a los trabajos dentro del área marcadas como restringida. Cualquier situación de presión extrema por obturación en la vía de inyección puede ser alcanzada con producto y poner en peligro piel, ojos, etc. como así también la vestimenta.

Los envases con el producto de epoxi y catalizador (dos componentes) deben ser provistos por el fabricante debidamente individualizado y etiquetado con características y especificaciones de cada producto a utilizar. El personal asignado al trabajo de inyección de epoxi debe ser capacitado para responder con prontitud a las distintas etapas del proceso. Contar con elementos de individualización para diferenciarlos, por el trabajo y seguridad.



Figura 5. Inyección de epoxi.

La supervisión y responsabilidad debe es tar a cargo de un profesional (ingeniero) debido que su trabajo es recuperar estructuras de hormigón armado.

Se procede a efectuar la inyección de epoxi. Para esto previamente se mezclan los dos componentes de epoxi con un mezclador manual o eléctrico, de tal manera que el producto generalmente de dos colores quede homogéneo y uniforme con el color resultante. Así mezclado se hace el colado en el tanque del equipo de inyección y se procede a cerrar herméticamente. Se coloca el reloj en alarma t = 30 a 45 minutos, ajustando según la temperatura ambiente que es el tiempo abierto límite de la formulación de epoxi teniendo en cuenta que con temperaturas altas puede oscilar en 45/60 minutos, por lo tanto hay un margen de tolerancia abierto. Se comienza a inyectar en el pico inferior marcado con

número uno hasta que fluya líquido en el pico dos y así sucesivamente. No debe salir material con burbujas de aire, en ese caso continuar inyectando material. Se van anotando los insumos de acuerdo a cada carga de producto que generalmente es de medio a un litro y se anota la sumatoria insumido en el sector. De esta manera se valora la respuesta de ponderación en el proceso. También se tendrá que observar la resistencia en la inyección para interpretar las condiciones internas de las fisuras de la estructuras. Cuando se observa resistencia en la inyección se debe a que puede ser micro fisuras, o que resultó interconectada la fisuras con otros sectores. Ver Fig. 5.

En el caso de las vigas de la obra del puente Los Árboles se presentaron dos casos:

El líquido de la inyección siguió su flujo hasta dos metros desde el punto de inyección, generando en un área de la viga exudación de epoxi y en otro sector flujo con derrame. Esto fue positivo porque se observó y determinó que el líquido de la inyección de epoxi fluyó entre las armaduras y el hormigón, garantizando la calidad de la adherencia original acero / hormigón. Las inyecciones finalmente se realizaron en las vigas y losas del tablero del puente. En algunos casos en los tableros no se hicieron a presión, sino por gravedad colando desde posición horizontal. Se aprovechaba el equipo con flujo a muy bajísima presión hasta el pico y luego percola ba por gravedad dentro de la fisura o grieta.

A los cinco días de haber terminado la inyección, período en el cual se superaban las 72/96 horas mínimas de acuerdo al fabricante para alcanzar la resistencia máxima del epoxi inyectado, se procedió a efectuar los ensayos de carga. Estos consistieron en medir con un flexímetro, las sobrecargas aplicadas en forma dinámica y estática.

Para los ensayos de carga, se utilizaron camiones de Vialidad Provincial cargados con arena y se procedió a hacer circular los camiones a velocidad restringida por el puente y, a medida que se desplazaban, generando la acción dinámica, se tomaban los valores del flexímetro, y se median la flecha y su tiempo de recuperación.

Para contrastar, se tomaron mediciones en otros sectores del puente donde no se habían producido fallas. Luego se cargaba con camiones en posición sin movimiento (cargas estáticas) y se mantenían por un determinado tiempo, controlando los valores en el flexímetro. En el caso de las acciones dinámicas se solicitaba el puente con el paso de los mismos.

Se controlaron los horarios de los ensayos, las cargas, la temperatura, los estados de carga en cada sector del puente y lecturas del flexímetro. Los productos epoxi utilizados en la recuperación de las vigas y losas del puente Los Árboles fueron: Adhesivo epoxi Araldit AH 101, Masilla epoxi Araldit RM 101, Epoxi para inyección EP IS.

Se inauguró el 12-01-85. Extracto del Diario Los Andes cuando se habilitó el puente. Ver Fig. 6.


En Rivadavia habilitan el puente Los Arboles, sobre el rio Tunuyán

Figura 6. Habilitación Puente.

Es una de las pocas obras públicas documentadas, tanto en su confección como reparación y que fue pionera en usar el sistema de reparación estructural con epoxi en la Provincia.

4 INSPECCIÓN DE LA REPARACIÓN

Se efectúa la visita de inspección en 2007 para evaluar su estado, y relevamiento fotográfico.

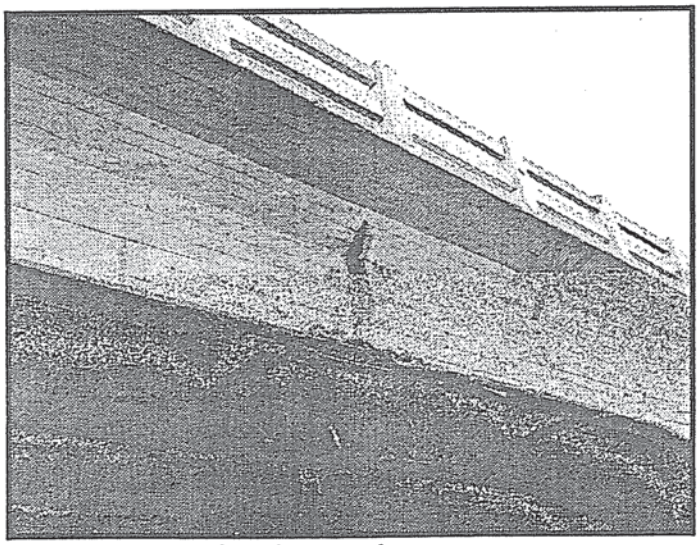


Figura 7. Corrosión de armaduras.

La Pila reconstruida y las inyecciones de epoxi han tenido buen comportamiento y duración. El puente se encuentra en uso y no presenta situación grave de colapso. Se observan deteriores importantes en algunos sectores, con desprendimientos de recubrimiento de armaduras, especialmente en zona inferior de vigas, Ver Fig. 7.
Hay acumulación de materiales pétreos en sector de apoyos de vigas que obstaculizan el buen desempeño de los apoyos metálicos con oxidación y corrosión. Existen fisuras en las pilas más antiguas. Hay daños en barandas superiores del puente, y en juntas de dilatación.

5 RECOMENDACIONES

Se indican las tareas para rehabilitar la estructura del Puente, [Ref. 6]:

a)-Preparar la superficie mediante chorro de agua a presión.
b)-Limpiar profundamente las armaduras con corrosión, previo ampliar el sector y eliminar todo el hormigón deteriorado, utilizando cepillado manual (cepillo metálico) y/o cepillado mecánico eliminando todo vestigio de corrosión.
c)-Medir los diámetros de las barras. Si el diámetro es adecuado preparar previamente un tratamiento con un producto que proteja al acero de la corrosión.
d)-Realizar parcheo según el caso con un producto de base cemento industrializado ó utilizando un mortero epoxi. En ambos casos se debe proceder a efectuar una imprimación con un gel de epoxi.
e)-Si especialmente los diámetros del acero han quedado reducidos, se aconseja realizar refuerzo mediante fibra de carbono, por lo menos extendido fuera del área tratada, a cada lado del sector reparado en un metro ó más. Este sistema se adhiere con epoxi al hormigón y trabaja a tracción, puesto que tienen una rigidez a flexión despreciable.

6 CONCLUSIONES

Este trabajo demuestra la necesidad de evaluar cuál es la vida útil prevista de obras de infraestructura antes de la obra con el fin de prever su mantenimiento. En el caso de reparaciones y rehabilitaciones también es necesario realizar tareas de mantenimiento a fin de asegurar un comportamiento compatible con el servicio del puente.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha logrado gracias a la colaboración de la D.P.V.-MZA, por su aporte con material y documentación de la construcción y reparación del puente. También con el valioso material fotográfico y antecedentes de los trabajos de inyección con epoxi, de la firma HORMI SUELO Ingeniería.

REFERENCIAS

[1] Pliegos de Condiciones y Especificaciones de la Dirección Provincial de Vialidad sobre obra Puente s/Río Tunuyán – Los Árboles – Rivadavia – Mendoza.
[2] Normas y Reglamentos para Puentes de D.N.V.
[3] Normas I.R.A.M.
[4] Normas A.S.T.M. D 1652-73 y D 482-79.
[5] Memorias s/trabajos de inyección con epoxi, para reparación Puente s/ Río Tunuyán – Los Árboles – Rivadavia – Mendoza, de la firma HORMISUELO Ingeniería.
[6] Material del Curso de Postgrado Patología y Terapéutica del Hormigón Armado dictado por los profesores Dr. Ing. P. R. do Lago Helene y Dra. Ing. N. G. Maldonado, UTN – FRM, dictado en el marco de la Maestría de Ingeniería Sismorresistente. 2007.

ABSTRACT

In this work a case of study corresponding to the Bridge "Los Arboles" appears on the Tunuyán River, Mendoza that was constructed between 1951 and 1955. The damages caused by the flood of year 1982 implied their repair, rehabilitation and rating in 1985. In 2007 an inspection is made to release the state and problems of pathology in the bridge are identified, those that generate the proposals of repairs to take place. This work puts in value the necessity of monitored and maintenance of this type of infrastructure works in systematic form.

Key Words: Bridge - Pathology - Damage - Repair - Rehabilitation

Desarrollo e implementación de una base de datos de registros sísmicos

F.J. Atencio
fatencio@gmail.com
Universidad de Mendoza

C.D. Frau, N.G. Maldonado, E.O. Silva & S. Panella
cdfrau@frm.utn.edu.ar, silvaeo@frm.utn.edu.ar, silvaeo@frm.utn.edu.ar & spanella.@frm.utn.edu.ar
Centro Regional de Desarrollos Tecnológicos para la Construcción, Sismología e Ingeniería Sísmica. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza.

RESUMEN: El desarrollo de la ingeniería sísmica tiene como uno de sus pilares el conocimiento de las características del movimiento del suelo durante un terremoto. El registro del terremoto de El Centro (1940, California – EEUU) inició un nuevo camino hacia la comprensión del fenómeno sísmico sobre las estructuras. Con el transcurrir de los años la instalación de nuevos instrumentos permitió a los países más avanzados recolectar una gran cantidad de registros, base de muchas investigaciones en ingeniería sísmica, disponibles hoy en día en Internet. En Mendoza, la Facultad Regional Mendoza de la Universidad Tecnológica Nacional inició en 1980 el desarrollo de instrumentación sísmica. El avance tecnológico permitió incorporar acelerómetros y sismómetros con los cuales se pueden obtener datos compatibles con las bases de datos internacionales. Con el fin de facilitar el acceso a la información obtenida se creó el Sistema de Información Sísmica (SIS), dentro del cual se ha desarrollado una base de datos con acceso público a través de Internet que permite una difusión amplia de los resultados obtenidos de la red de acelerómetros administrada por el CEREDETEC. Este trabajo describe las características de esta base de datos, la información que suministra y la manera de acceder a ella.

Palabras clave: registros sísmicos – base de datos – Internet - información sísmica.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 *Importancia de la instrumentación sísmica*

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 [1].

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 con acceso mediante la red Internet.

1.2 *Situación en la República Argentina*

En Argentina el Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES) tiene a su cargo la Red Nacional de Estaciones Sismológicas, la Red Nacional de Acelerógrafos; sin embargo, la falta de desarrollo tecnológico del país, sumado a las grandes distancias geográficas no han permitido un adecuado crecimiento de la instrumentación sísmica. y muestra deficiencias en relación con otros países sudamericanos de escasa sismicidad [2].
En Mendoza, el Grupo de Construcciones Antisísmicas de la Facultad Regional Mendoza de la Universidad Tecnológica Nacional inició en 1980 el desarrollo de instrumentación propia con sismoscopios para sismos moderados y fuertes [3]. El avance tecnológico permitió incorporar acelerómetros y sismómetros, con los cuales se pueden obtener datos compatibles con las bases de datos internacionales.

1.3 *El Servicio de Información Sísmica*

Con el fin de facilitar el acceso a la información obtenida, el CEREDETEC crea en 1996 el Servicio de Información Sísmica (SIS) con el fin de informar a los medios de comunicación y público en general sobre las características de los sismos locales de grado III o superior en la escala Mercalli Modificada. A partir del sismo del 16/04/2001 esta información comienza a estar disponible en la página web del CEREDETEC, lo cual agiliza la interacción entre el público y la información.

1.4 *Origen de la base de datos*

En respuesta al aumento en cantidad y complejidad de los datos de registros sísmicos manejados por el SIS, en el año 2004 se desarrolla en la Universidad de Mendoza un trabajo final de grado para el procesamiento y organización de registros sísmicos pertenecientes al CEREDETEC- UTN [4].
En el año 2006 este trabajo da origen al desarrollo e implementación de una base de datos con acceso público a través de la red Internet, que permite facilitar la carga e interpretación de los datos obtenidos por la red de acelerómetros administrada por el CEREDETEC, además de una rápida y amplia difusión de la información obtenida.
Este trabajo describe las características de esta base de datos, la información que suministra y la manera de acceder a ella.

2 INTERNET Y LA INFORMACIÓN SÍSMICA

La red Internet es sin duda uno de los medios de difusión de la información de mayor alcance desde principios de la década del noventa. La principal ventaja de utilizar esta red es, dentro del ámbito académico, la posibilidad de difusión y acceso inmediato a la información, lo que permite una estrecha colaboración entre docentes e investigadores de todas las áreas. Por otra parte, para el público en general, es una herramienta cada vez más utilizada para mantenerse permanentemente informada.
En la actualidad, y desde hace más de una década, se encuentran disponibles en Internet diferentes bases de datos de registros sísmicos, administradas por los principales centros de investigación del mundo, ya sea pertenecientes a entidades gubernamentales, universidades o consorcios de empresas privadas. Su difusión ha permitido a los investigadores en el área de la ingeniería sismorresistente contar con gran cantidad de datos provenientes de eventos sísmicos de cualquier parte del mundo donde se hayan producido, y así asociar resultados de terremotos de similares orígenes (*near fault*, terremotos de fallas transcursivas, etc.).
Aquí se presentan algunos sitios frecuentemente utilizados por los investigadores para obtener registros sísmicos. La información disponible está no solo orientada al ámbito científico, sino también para el público en general, quien puede consultar los últimos sismos producidos en un área determinada.

2.1 *United States Geological Survey (USGS) - Earthquake Hazards Program*

USGS es un centro de investigación en Geología perteneciente al Departamento del Interior de EEUU. Dentro de este centro funciona el programa *Earthquake Hazards Program*. Para cada sismo se cuenta con registros de aceleración, velocidad, desplazamiento, espectro de respuesta y espectro de amplitudes de Fourier [5].

2.2 *European Strong-motion data*

Sitio administrado por centros de investigación de universidades europeas, cuyo principal objetivo es ofrecer una plataforma de acceso público y gratuito a información de sismos registrados en Europa [6].

2.3 *Instituto Nacional de Prevención Sísmica*

En Argentina, el Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES), ubicado en la provincia de San Juan, cuenta en su sitio web con información de acceso público de las características de los últimos sismos producidos en el territorio nacional, así como información sobre prevención sísmica y normativas de construcción [7].

3 DESARROLLO DE LA BASE DE DATOS

3.1 *Origen*

Desde su creación, el objetivo fundamental del Sistema de Información Sísmica (SIS) ha sido divulgar el conocimiento sobre la actividad sísmica producidos en la zona; así como facilitar el acceso a la información generada por el instrumental administrado por el CEREDETEC a la comunidad profesional y científica.
Teniendo siempre en cuenta este objetivo, en el año 2006 se implementó, dentro del SIS, una base de datos de información sísmica de acceso público en Internet, la cual permite al CEREDETEC organizar la gran cantidad de datos generada por el instrumental que administra, así como publicar la información obtenida.
Esta base de datos tiene su origen en el año 2004, cuando en la Universidad de Mendoza se presentó un trabajo final de grado para el procesamiento y organización de los registros sísmicos pertenecientes al CEREDETEC - UTN [4]. Desde un principio, el objetivo de esta tesis de grado era desarrollar un trabajo que ofreciera una solución práctica y económica a algún problema dentro del ámbito local, y con posibilidades de ser implementada en un tiempo razonable.

3.2 *Componentes*

El sistema en su totalidad se encuentra configurado en los servidores de la Universidad Tecnológcia Nacional, Facultad Regional Mendoza. Está conformado básicamente por tres componentes:

- una base de datos con información sísmica del SIS, alojada en el servidor de bases de datos.
- una aplicación web para administrar dicha información, alojada en el servidor web.
- un sitio web de acceso público a la información, también alojado en el servidor web.

3.3 *Carga de información*

Ante la ocurrencia de un sismo, el personal de guardia del SIS procede a obtener los datos del sismo registrados en los distintos instrumentos con que cuenta el Centro de Investigación. Estos datos son ingresados al Administrador de Información Sísmica. En la Fig. 1 se observa la comunicación entre los componentes involucrados en este caso.

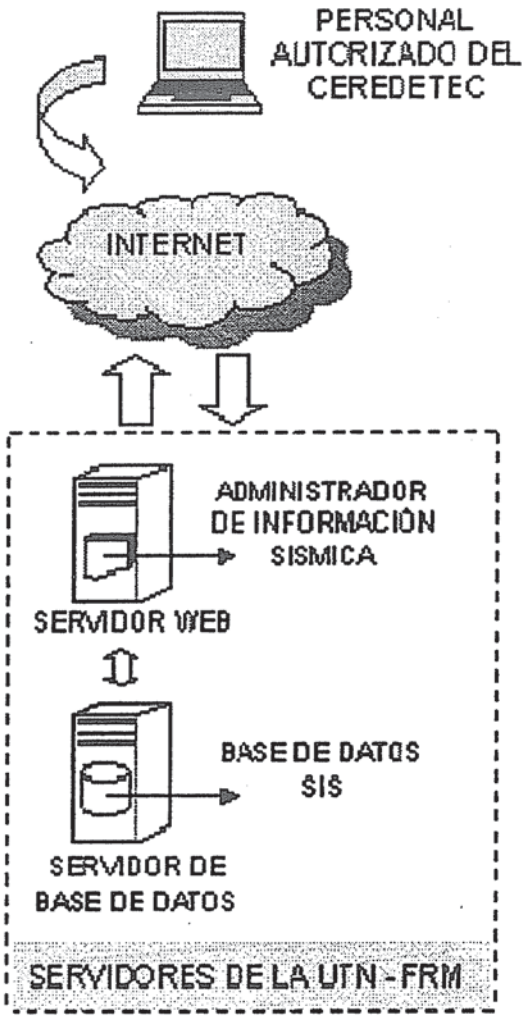


Figura 1. Esquema de acceso al Administrador de Información Sísmica.

3.4 *Consulta de la información*

Una vez ingresada la información y validada por el personal a cargo, ésta ya se encuentra disponible para su libre consulta en el sitio web del SIS - CEREDETEC. En la Fig. 2 se observa la

comunicación entre los componentes al realizar una consulta al área de acceso público.

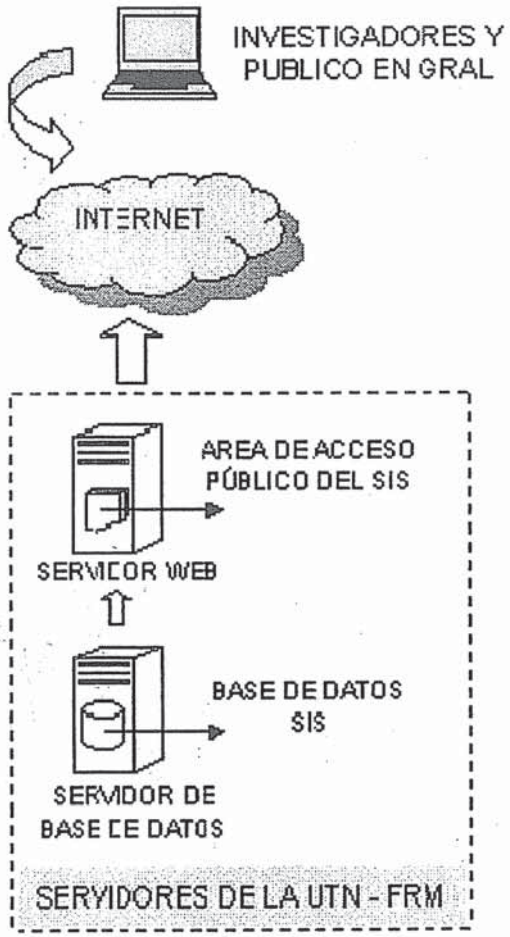


Figura 2. Esquema de acceso al área de acceso público del SIS.

3.5 *Software utilizado*

Para la implementación de la base de datos y los sistemas de administración y consulta se utilizó software de libre acceso. El uso de este tipo de software permite a las universidades y a los investigadores tener acceso a herramientas de desarrollo sin costo, pero de excelente calidad y rendimiento. Todo el software se encuentra instalado en los servidores de la UTN – Facultad Regional Mendoza.

La base de datos se encuentra implementada utilizando *PostgreSQL 8.1.* [8].

El Administrador de Información Sísmica y el área de acceso público se encuentran corriendo sobre un servidor web *Apache 2* [9].

Para el acceso a la base de datos, tanto desde el Administrador, como desde el área de acceso público se utiliza *PHP 5* [10].

4 ADMINISTRADOR DE INFORMACIÓN SÍSMICA

Para administrar la información contenida en la base de datos, el CEREDETEC cuenta con una herramienta llamada 'Administrador de Información Sísmica' (Fig. 3). Este sistema le permite al personal autorizado tener acceso, a través de Internet, a toda la información contenida en la base de datos, ingresar nueva información, modificar la existente, como también definir qué información se encontrará disponible en el sitio web del SIS.

4.1 *Información ingresada*

Para un determinado sismo es posible ingresar los siguientes datos generales del mismo, los cuales son comunes a cualquier estación registradora:

- nombre con que se identifica al sismo
- fecha y hora
- latitud y longitud
- profundidad
- magnitudes
- intensidad estimada
- zona epicentral
- observaciones

En esta sección es posible adjuntar el Informe Preliminar que entrega el SIS a los medios de comunicación que soliciten información inmediatamente de ocurrido un temblor.

Luego de los datos generales, se ingresan los datos específicos aportados por las diferentes estaciones registradoras administradas por el CEREDETEC:

- estación registradora
- distancia epicentral e hipocentral
- componentes
- frecuencia de muestreo del instrumento
- datos del registro
- duración
- número de muestras
- unidad de aceleración
- filtros Pasa-bajas y Pasa-altas
- aceleraciones, velocidades y desplazamientos máximos registrados para cada una de las componentes

En este apartado se adjuntan, en archivos de texto, los registros acelerométricos para cada una de las componentes (dos horizontales y una vertical).

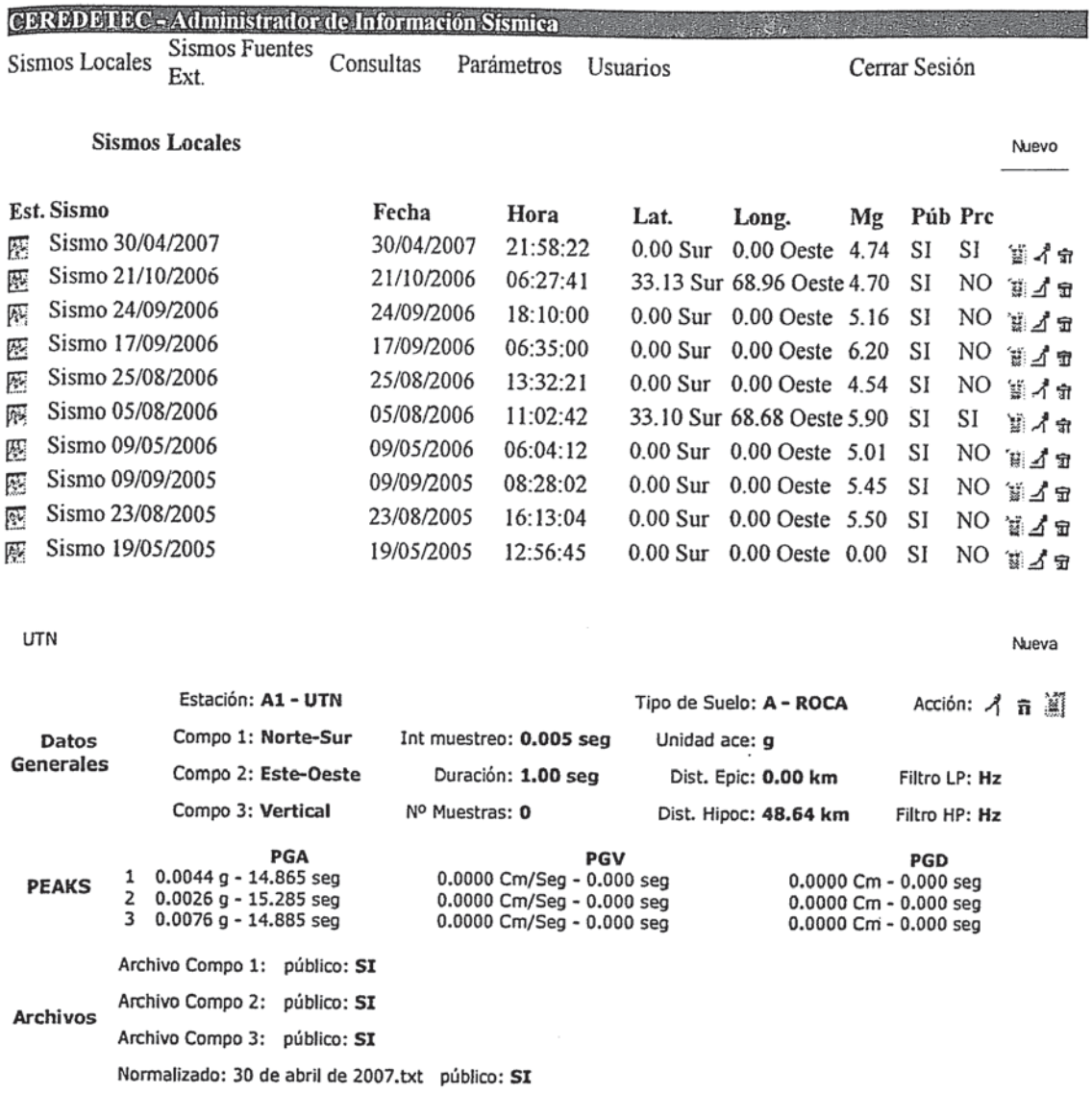


Figura 3. Administrador de Información Sísmica

4.2 *Red de Estaciones*

El Administrador de Información Sísmica permite también llevar un control sobre la ubicación y las características de las diferentes estaciones sismológicas administradas por el SIS – CEREDETEC. Los datos que se registran son:

- código
- nombre
- equipo
- ubicación (edificio, instalación, etc.)
- latitud y longitud
- dirección
- terreno (elevación y tipo de suelo)
- observaciones

5 AREA DE ACCESO PÚBLICO

La información que se encuentra disponible y libre de acceso a través de Internet en el sitio web del SIS – CEREDETEC se obtiene de la base de datos de registros sísmicos, de acuerdo a los parámetros establecidos en el Administrador de Información Sísmica. Es decir que el personal a cargo del SIS ingresa la información en el Administrador, y establece si se va a encontrar disponible o no en el área de acceso público.

5.1 *Acceso*

El acceso al sitio web de la base de datos de registros sísmicos del SIS se encuentra en el portal de la Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Mendoza [11].

5.2 *Información disponible*

Una vez que se ingresa al sitio, la primer información disponible es la correspondiente al sismo más reciente registrado por el CEREDETEC (Fig. 4). Se dispone de un mapa con la ubicación probable del epicentro y de los principales parámetros del sismo:

- nombre que identifica al sismo
- fecha y hora
- latitud y longitud
- profundidad
- magnitud
- distancia focal
- duración
- aceleraciones máximas
- intensidad estimada
- zona epicentral
- observaciones sobre la existencia de daños

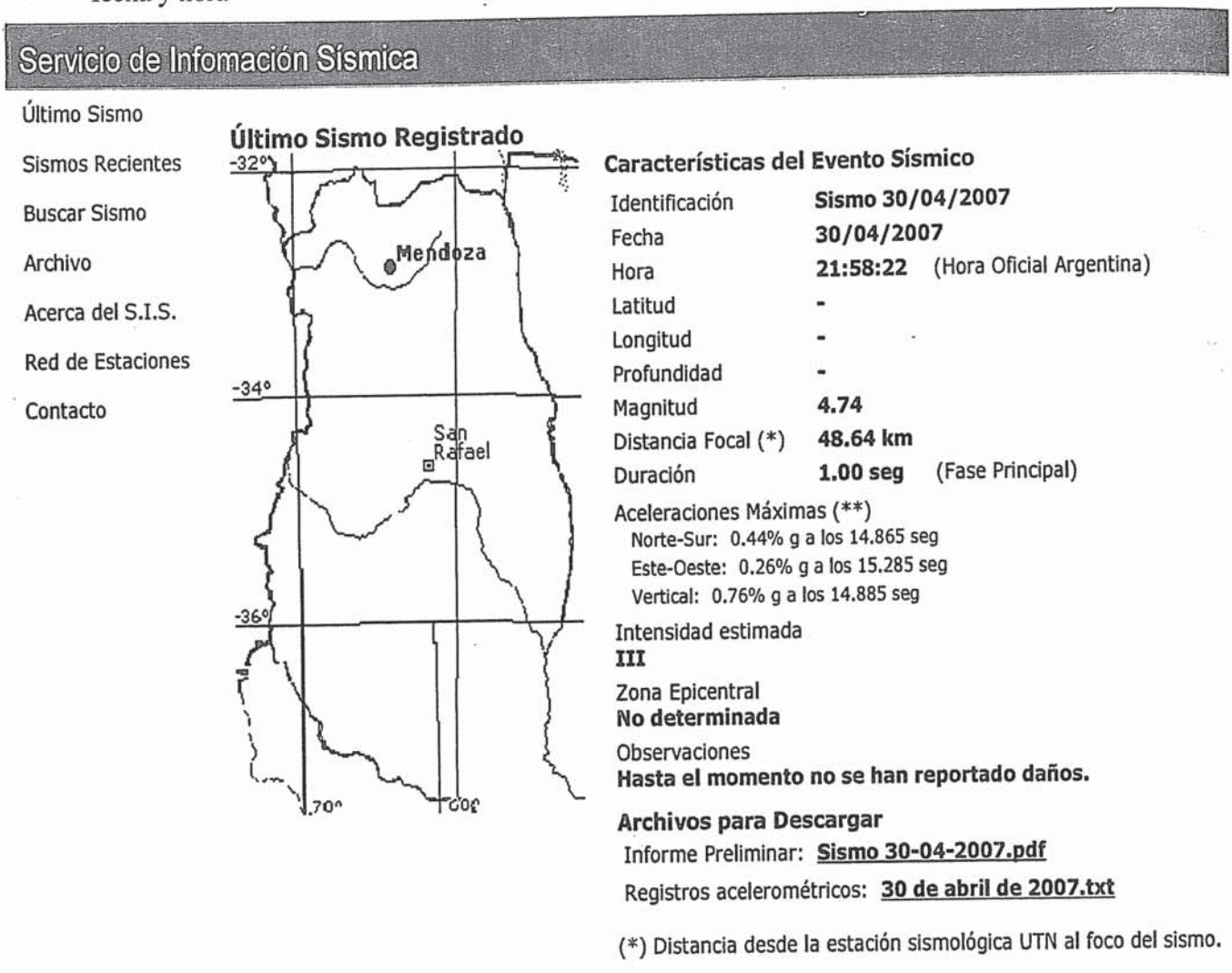


Figura 4. Portal del Servicio de Información Sísmica

5.3 *Archivos para descargar*

Para cada sismo, se encuentra disponible un Informe Preliminar preparado por el SIS (Fig. 5), y los registros acelerométricos para cada una de las componentes, generados por la estación sismológica ubicada en la UTN – Facultad Regional Mendoza (Fig. 6).

5.4 *Sismos Recientes*

El sitio permite tener acceso a la lista de los 10 últimos sismos registrados. Desde aquí es posible seleccionar un sismo para acceder a toda la información disponible del mismo. También permite acceder directamente a los archivos disponibles para

ANEXO III

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Mendoza

Servicio de Información Sísmica (S.I.S.)
Centro Regional de Desarrollo Tecnológico para la Construcción, Sismología e Ingeniería Sísmica - (CeReDeTeC)

Por la presente informamos a Uds. que se ha producido un evento sísmico, con las características que más abajo se detallan.

CARACTERISTICAS DEL EVENTO SISMICO

1.- Fecha del evento		24/09/06
2.- Hora aproximada de producido el evento (H.O.A.)		18 horas 10'
3.- Intensidad en el CEREDETEC		II – III Escala Mercalli Modificada
4.- Magnitud preliminar		5.16 ML
5.- Distancia al foco		239.043 km
6.- Aceleraciones máximas	Este – Oeste	0.005344 g
	Vertical	0.002462 g
	Norte - Sur	0.003719 g
7.- Duración de la fase principal		13.24 segundos

Observaciones:
Se estima existencia de daños SI NO

Nota: Datos preliminares estación UTN Regional Mendoza.

descargar para cada uno de los diez sismos listados (registros acelerométricos e Informe Preliminar).

Figura 5. Informe preliminar entregado por el SIS.

```
CORRECTED ACCELEROGRAM                          CHAN 1
UNCORRECTED ACCELEROGRAM DATA                   PROCESSED: 08/31/2005
23AGO05L.EVT: 08/23/2005 19:16:45 (GMT)         (ORIGIN: 08/23/2005 19:16:45 GMT)
STATION NO.    32.902N 68.086E ETNA    S/N 267 (4 CHNS OF 4 AT STA)
ETNA S/N 2673 CHAN 1: TRAN  (STA CHN: 1)
INSTR PERIOD = 0.0048 SEC,  DAMPING =0.7000,  SENSITIVITY =1.251 VDC/G
RECORD LENGTH =122.000 SEC
UNCOR MAX = -0.232 G, AT  3.515 SEC- RMS ACCEL OF (UNCOR) RECORD =
0.008 G
ACCELEROGRAM BANDPASS FILTERED WITH RAMPS AT 0.060-0.120 AND 43.00-
45.00 CYC/SEC
24400 POINTS OF INSTRUMENT- AND BASELINE-CORRECTED ACCEL, VELOC,
AND DISPL DATA AT EQUALLY-SPACED INTERVALS OF  0.005 SEC.
PEAK ACCELERATION =  222.017   CM/SEC/SEC AT  38.615  SEC.
PEAK  VELOCITY =   5.782   CM/SEC   AT  38.590  SEC.
PEAK DISPLACEMENT =   0.296     CM     AT  38.445  SEC.
INITIAL VELOCITY =   0.000  CM/SEC;  INITIAL DISPLACEMENT =   0.000  CM
23AGO05L.EVT                    08/23/2005 19:16:45 (GMT)
  1  1  1  4  4  0  1  0  0  0  0  0  0  0  0  0
  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  024400  12  13  65  0
  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
  0  0244002440024400  1  1  10  0  0  65  13  1  1  024400
  024400  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
 0.005   0.700  122.000   0.008   0.100   1.251  -0.232   3.515
208.000   0.000   0.000   0.000   5.000   0.000   5.000   5.000
  0.000   0.000   0.000  98.067   0.005 122.000   0.000   0.000
  0.000  45.000   2.000 122.000   0.005   0.120   0.060   0.000
 38.615 222.017  38.590   5.782  38.445   0.296   0.000   0.120
 43.000   0.005   0.005   0.000   0.000   0.000   0.000   0.000
24400 POINTS OF ACCEL DATA EQUALLY SPACED AT 0.005 SEC. (UNITS:
CM/SEC/SEC)
-0.326  -0.313  -0.276  -0.197  -0.070   0.087   0.227   0.303
 0.297   0.226   0.125   0.016  -0.081  -0.142  -0.151  -0.113
-0.054   0.001   0.047   0.083   0.102   0.093   0.058   0.005
-0.067  -0.156  -0.236  -0.253  -0.170  -0.018   0.120   0.183
 0.180   0.163   0.161   0.156   0.119   0.046  -0.039  -0.105
-0.136  -0.127  -0.089  -0.054  -0.054  -0.083  -0.099  -0.065
 0.005   0.060   0.068   0.049   0.046   0.074   0.112   0.137
 0.140   0.123   0.075  -0.006  -0.096  -0.162  -0.187  -0.185
-0.177  -0.161  -0.119  -0.041   0.063   0.167   0.238   0.246
```

Figura 6. Ejemplo de un registro acelerométrico disponible para descargar.

5.5 *Buscar Sismo*

Otra posibilidad para acceder a un sismo en particular o a un grupo de sismos, es realizando una búsqueda de acuerdo a los criterios o características solicitadas. Es posible realizar búsquedas por rango de fechas, de ubicación, de magnitud, o de profundidad del evento sísmico. Como en la opción 'Sismos Recientes', desde aquí es posible acceder al detalle del sismo buscado, o descargar los archivos disponibles.

5.6 *Red de Estaciones*

Desde el área de acceso público es posible también acceder a la información sobre la red de acelerómetros administrada por el CEREDETEC. Para cada estación se especifica su ubicación y el tipo de instrumental instalado.

6 FUTURAS ACTUALIZACIONES Y MEJORAS

El desarrollo de este sistema abre el camino para una gran cantidad de mejoras y actualizaciones, en función de la demanda. Entre ellas se pueden mencionar:

- publicación de todos los registros de la red de acelerómetros administrada por el CEREDETEC
- publicación de información más detallada del instrumental
- trabajo conjunto con otros centros de información sísmica
- actualización automática de la información mediante acceso remoto a los datos de las estaciones que componen la red

7 CONCLUSIONES

La utilización de este sistema a través de Internet permite un manejo más completo y eficiente de la información sísmica. La capacidad de búsqueda permite una rápida ubicación de determinados datos, además de facilitar la comparación entre distintos eventos sísmicos.

La disposición de una estructura de administración y procesamiento de información sísmica consolidadas permite una mejor comunicación y trabajo conjunto con otras instituciones dedicadas a la investigación en ingeniería sísmica, al utilizar los mismos parámetros internacionales de medición.

La utilización de herramientas desarrolladas localmente permite una mejor adaptación a las necesidades del medio y una mayor integración con las herramientas y metodología existentes. Es de esperar que con el uso surgirán más necesidades para ampliar la capacidad de manejo de información del Administrador, así como para ampliar el espectro de información suministrada por el sitio web del SIS.

Se invita a los distintos centros de investigación que dispongan de instrumentación sísmica y deseen divulgar sus datos a contactarnos, a fin de incorporarlos a esta base de datos de registros sísmicos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al CeReDeTeC y al Programa de Becas de Posgrado para Docentes de la Universidad Tecnológica Nacional que permitieron la elaboración del presente trabajo.

REFERENCIAS

[1] E.O. Silva, G. Gioacchini, S.D. Panella, M. Siguelnitzky ¡ G. Poletto, Instrumentos sísmicos de uso habitual en el área Sismicidad del CEREDETEC, Página web de las VII Jornadas Estudiantes Investigadores, Concepción del Uruguay, Entre Ríos, 2005.

[2] PICTO, Riesgo Sísmico, Documento de la Dirección Nacional de Programas y Proyectos Especiales, Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Nación, mayo 2005.

[3] E.O. Silva, Desarrollo de un sismoscopio para el registro de sismos de mediana intensidad – Red de sismoscopios – Coeficientes sísmicos y efectos frente a sismos típicos, Memorias III Jornadas Argentinas de Ingeniería Estructural, Tomo II, Título 24, 1983.

[4] F.J. Atencio, Procesamiento y organización de registros sísmicos pertenecientes al CEREDETEC – UTN, Universidad de Mendoza, Facultad de Ingeniería, Ingeniería en Informática, 2004.

[5] United States Geological Survey (USGS) - Earthquake Hazards Program, earthquake.usgs.gov

[6] European Strong-motion data, www.isesd.cv.ic.ac.uk/ESD

[7] Instituto Nacional de Prevención Sísmica, www.inpres.gov.ar

[8] PostgreSQL, www.postgresql.org. Sistema de base de datos relacional *open source*

[9] Apache Software Fundation, www.apache.org.. Portal de proyectos de software *open source*

[10] PHP, www.php.net. Lenguaje para el desarrollo de aplicaciones web *open source*.

[11] Portal en Internet de la Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Mendoza, www.frm.utn.edu.ar.

ABSTRACT

The development of seismic engineering is primary based on the knowledge of the characteristics of the ground motion during an earthquake. The study of El Centro earthquake (California, 1940) initiated a new era towards the understanding of the seismic phenomenon on the structures. In the following years the installation of new instruments allowed the most advanced countries to collect a great amount of strong motion records. In Mendoza, the Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional initiated in 1980 the development of seismic instrumentation. The technological advance allowed the incorporation of accelerometers and seismometers. With this instruments the obtained data are compatible with the international data bases. To facilitate the access to the obtained data the Servicio de Información Sísmica (SIS) was created. As a part of this project a database with public access through Internet has been developed. It allows a wide diffusion of the results coming from the accelerometers network administered by the CEREDETEC. This work describes the characteristics of this database, the contained information and the way to access it.

Key Words: seismic records – database – Internet – seismic information

Comprobación de las características físicas y mecánicas a cumplir por los ladrillones de fabricación artesanal

A. Cantú, M. López de Mendoza, M. Gallina & J. Martín Tempestti.
acantu@uncu.edu.ar
Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo

RESUMEN: La mampostería que se utiliza en un importante porcentaje de las construcciones en nuestro medio corresponde a la de ladrillones macizos comunes, pero estos mampuestos que se producen en la zona son de fabricación artesanal y no se ajustan a estándares mínimos de calidad. En este trabajo, se analizan las características físicas del ladrillón verificando sus dimensiones, peso, resistencia característica a la compresión, a la flexión y la capacidad de absorción de agua, determinadas a partir de los ladrillones que se fabrican en nuestra provincia. Se establecen además criterios y recomendaciones para implementar un control de calidad sistemático que verifique los requisitos mínimos que deben exigirse a los mismos para su uso en la industria de la construcción. Se han verificado también las características mínimas que éste debe cumplir referidas a calidad, resistencia, capacidad de aislación térmica y acústica, contrastadas con los valores establecidos por la normativa provincial y nacional en vigencia. Por último se efectúan recomendaciones para la recepción del ladrillón en obra, muestreo y verificación visual de los mismos.

Palabras clave: ladrillones - calidad del ladrillón - ladrillos macizos

1 INTRODUCCIÓN

La mampostería que se utiliza en un importante porcentaje de las construcciones en nuestro medio corresponde a la de ladrillones comunes, conformada por elementos cerámicos de dimensiones reducidas y unidas por un mortero de asiento.

Muchos de estos mampuestos que se producen en la zona son de fabricación artesanal y no se ajustan a estándares mínimos de calidad. A diferencia de otros materiales de la construcción, el ladrillón artesanal se utiliza sin controles de calidad de producto durante su elaboración. Por lo tanto es difícil predecir su comportamiento y durabilidad durante la vida útil de la construcción.

Es así que frecuentemente deben realizarse mantenimientos periódicos y reparaciones en la mampostería como consecuencia de una deficiente calidad de los mampuestos.

Estas manifestaciones se presentan a modo de eflorescencias, falta de uniformidad en dimensiones y color, espesores de juntas irregulares, excesiva porosidad, fragilidad, etc.

En este trabajo, se analizan las características físicas y mecánicas de los ladrillones, determinadas a partir de los que se fabrican en nuestra provincia y se establecen criterios y recomendaciones para implementar un control de calidad sistemático que unifique los requisitos mínimos que deben exigirse a los mismos para su uso en la industria de la construcción.

2 OBJETIVOS DEL TRABAJO

Se busca con este trabajo obtener información acerca de la calidad de la producción local del ladrillón, determinar las características generales que presentan estos elementos, proponer medidas de control de calidad en su recepción, establecer estándares mínimos a cumplir por los ladrillones cerámicos artesanales fabricados en Mendoza y proponer bases para su normalización.

3 DEFINICIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL LADRILLÓN

Se considera al ladrillón como una pieza de arcilla o tierra arcillosa moldeada (a mano o mecánicamente) y cocida, en forma de un paralelepípedo o prisma regular, empleado en albañilería. En la elaboración se puede adicionar otros materiales de suficiente plasticidad o consistencia, que puedan tomar formas permanentes y al secarse no presenten grietas, nódulos o deformaciones. Para considerarlo como ladrillón macizo, éste no tendrá perforaciones en su interior que superen el 20 % de su volumen. Ref. [1].

3.1 *Material*

Están fabricados de arcilla o tierra arcillosa por cocción al rojo, a una temperatura mínima de 800°C. Una vez cocidos, serán de masa homogénea y resistencia uniforme, de color rojizo uniforme y sonido metálico al golpe con un material duro. No podrán contener sustancias que produzcan eflorescencias destructivas o manchas permanentes en su terminación superficial. El ladrillón será de ángulos y aristas rectas, sin manchas, eflorescencias, quemaduras o descascarados aparentes.

3.2 *Dimensiones*

Las dimensiones de un ladrillón reciben los nombres siguientes: Ref. [2].

- Dimensión mayor: soga
- Dimensión media: tizón o ancho
- Dimensión menor: espesor, grueso o altura

El ladrillón de primera será de ángulos y aristas rectas, sin defectos de planeidad (cualidad de las caras del mismo por la cual todos sus puntos están en un mismo plano), pudiendo presentar pequeñas imperfecciones en sus caras exteriores y variación de rectitud en sus aristas de hasta 5 mm.

El ladrillón de segunda calidad podrá presentar imperfecciones en sus caras exteriores y variación de rectitud en sus aristas de hasta 8 mm.

Según Norma DIN 1052, los ladrillos deben poseer un formato modular aritmético, donde su longitud es 4 veces mayor que su altura y su ancho es 2 veces inferior a su longitud lo que evita numerosos cortes en la obra.

De acuerdo requerimientos técnicos para la ejecución de muros de mampostería, la dimensión real de un ladrillo debe ser tal que, sumada al espesor de la junta, dé una medida modular. Para asegurar la traba y conseguir aparejos comunes, se debe cumplir:

- Un largo = dos anchos + una junta
- Un ancho = dos espesores + una junta

Según la Norma CIRSOC 103, las juntas tendrán un espesor máximo de 2 cm. (12.2.1). Ref. [4].

Además, de acuerdo a lo que establece el CCSR87, la mínima relación longitud / ancho de los mampuestos debe ser 2.

En Mendoza es usual el uso del ladrillón el cual no se encuentra normalizado, surgiendo como una solución constructiva para cumplir los requerimientos y exigencias de las normas locales. Ref. [5], [6].

El criterio y la justificación de sus dimensiones parecen obedecer a la necesidad de lograr muros de 20 cm. de espesor, considerando las dos caras revocadas.

De acuerdo a la información obtenida en los ensayos realizados por el IMERIS, según norma IRAM 12588, los valores dimensionales promedio de los ladrillones son: Ref. [7].

Tabla 1: Medidas promedio del ladrillón

	L cm	H cm	B cm
Promedio	26,23	6,73	16,64
Máximo	27,20	7,00	17,90
Mínimo	25,60	5,88	15,80

Siendo las medidas más frecuentes de los mampuestos disponibles en el mercado, expresadas en centímetros:

- Ladrillo común = 6 x 13 x 27 cm
- Ladrillón = 7 x 17 x 27 cm.

En ningún caso la altura de los mampuestos será mayor que 2/3 de su longitud, con excepción de los medios mampuestos utilizados en los bordes verticales de los muros para obtener la trabazón correspondiente. Ref. [4].

3.3 *Aislación térmica*

El estudio térmico o aislamiento se puede definir como la resistencia que oponen al paso del frío o calor cada uno de los materiales que componen el cerramiento, de modo tal de conseguir un ahorro energético y confort térmico interior.
En el caso de muros de mampostería esto depende, principalmente, de la compacidad del ladrillón y aumenta con el espesor del mismo. Ref. [8].
Es decir, que la cantidad de calor que pasa a través de una pared depende del coeficiente de conductividad térmica λ del material, pero también del espesor de la misma, según la relación λ/e, llamada conductancia térmica.
Por lo general las normas y códigos se refieren, no a la resistencia térmica Rt, sino a su inversa y la llaman transmitancia térmica K, o coeficiente de transmisión total $K = 1/Rt.\ (m^2.K/W)$.
La transmisión del calor por los muros es un fenómeno complejo, por lo que se adoptan algunas simplificaciones en el planteo del problema:

- La superficie es grande comparada con el espesor y en consecuencia el calor se transmite solamente normal a la superficie del elemento.
- Las temperaturas no varían con el tiempo.

Para el cálculo de la transmitancia térmica tomamos el promedio de los valores obtenidos en los ensayos:

- Espesor del ladrillón = 0,165 m
- Espesor revoque exterior/interior = 0,02 m

Además, se tiene en cuenta las Resistencias superficiales interior y exterior que se originan en todo cerramiento de caras plano-paralelas, en función del sentido de flujo de vapor, que se sumarán a las resistencias del muro.

3.4 *Contracción y dilatación*

Son despreciables en condiciones normales, debido a la temperatura que alcanza el ladrillón durante el proceso de cocción.

3.5 *Porosidad*

Determinada por la absorción de agua en relación al peso seco del ladrillón, con valores entre 18 y 22 %. Ref. [7].

3.6 *Helacidad.*

El mayor enemigo de los ladrillos cerámicos macizos es el agua, ya que la porosidad de estos es muy variable debido al proceso de fabricación. A través de un ensayo específico, sometiendo el ladrillo a ciclos hielo y deshielo, se detectan fallos de fabricación, especialmente de cocción, que pueden afectar a la durabilidad del mismo. Ref. [7].
Un ladrillón ha sido bien "cocido" cuando dentro de su masa se ha formado una estructura cerámica adecuada; sin embargo no es posible determinar por el aspecto u otros ensayos sencillos si tal proceso ha tenido lugar.
El sonido metálico y campanil, claro y agudo, que se obtiene cuando se golpea con un cuerpo duro o con otro ladrillón, puede ser también una buena indicación para el experto sobre el grado de cocción de estos mampuestos.

3.7 *Eflorescencias.*

Son manchas superficiales en las caras de los ladrillones, generalmente blanquecinas, producidas por la cristalización de sales solubles, arrastradas por el agua hacia el exterior en los ciclos de humectación y secado.
La existencia de óxido de cal (CaO) en la arcilla empleada, el cual al entrar en contacto con el agua, pasa a ser hidróxido de calcio ($Ca[OH]^2$), aumenta su volumen, lo que origina presiones interiores en los poros, modificando la estructura interior del ladrillón y las características mecánicas del mismo, siendo una de las causas de su destrucción.

3.8 *Succión.*

Es la capacidad de imbibición de agua por capilaridad mediante inmersión parcial del ladrillón en un período corto de tiempo.
La práctica de sumergir brevemente en agua los ladrillones antes de su colocación es aconsejable en cualquier caso e imprescindible si la succión es mayor de 0,15 g/cm² por minuto, para evitar así la deshidratación del mortero que puede ocasionar problemas de penetración de agua a través de los muros.

3.9 *Coloración.*

Para evitar problemas en la recepción sobre color y tono de los ladrillones, es conveniente que quede reflejado en la documentación técnica del proyecto si se pretende una coloración uniforme o si se admiten variaciones en tono e intensidad, manteniéndose siempre una entonación homogénea en los paños de mampostería.

3.10 *Fisuras.*

Son las hendiduras más o menos irregulares que afectan a la totalidad del espesor de una pared de ladrillones.
Un secado muy rápido, por regla general realizado al aire libre y a pleno sol, produce un gradiente de humedad elevado, lo cual se refleja en la masa del ladrillón con fisuraciones debido a las tensiones interiores. Tomando seis unidades de la muestra no se admitirá más de una pieza fisurada.

3.11 *Exfoliaciones.*

Todo defecto originado en el moldeo consistente en una estructura hojosa o laminar del ladrillón. Ningún ladrillón de la muestra presentará síntomas de exfoliación.

3.12 *Desconchados por caliche.*

Caliche es un grano de óxido cálcico, producido durante la cocción del ladrillón, que se expansiona al hidratarse dando lugar a la aparición de desconchados. Este desprendimiento de una parte superficial del material, hace aparecer un cráter más o menos profundo en el ladrillón, de dimensión media superior a siete milímetros.
Los desconchados no producidos por caliche no se considerarán por no ser un problema de recepción del material en obra. Tomando seis unidades de la muestra no se admitirá más de una pieza que tenga un desconchado por caliche en sus caras y en ningún caso, que el desconchado tenga una dimensión superior a 15 mm.

4 RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LOS MAMPUESTOS

La resistencia a la compresión de una clase de ladrillo es el valor característico de la tensión aparente de rotura, normalmente expresada en MN/m2. Según la calidad del ladrillo puede alcanzar valores entre 7 y 12 MN/m2. Ref. [4]. [9].
Para realizar las verificaciones de resistencia y control de calidad establecida en el Reglamento CIRSOC 103, se utilizará la resistencia característica del mampuesto, determinada teniendo en cuenta su área neta de asiento. Ref. [4].
La resistencia característica se determinará considerando la probabilidad de que su valor sea alcanzado por el 90% de las piezas ensayadas.
El valor característico se determinara en base a la información estadística disponible sobre el mampuesto considerado.
Los valores de la resistencia característica σ'_{PKm} se determinarán en base a la información estadística proporcionada por el fabricante, o bien mediante la obtenida de los ensayos correspondientes de una muestra representativa del tipo de mampuestos empleados. Dicha muestra representativa estará compuesta por no menos de 30 unidades.
En todos los casos se ensayarán, como mínimo, 3 lotes de por lo menos 5 unidades cada uno.
Los ensayos para determinar la resistencia a compresión de cada tipo de mampuesto, se realizarán de acuerdo con la norma o especificación correspondiente. Ref. [9].

4.1 *Condiciones de resistencia y utilización de los mampuestos*

No se admite la reutilización de mampuestos en la ejecución de muros portantes, a menos que se demuestre su aptitud mediante ensayos, especialmente de adherencia entre morteros y mampuestos.
Para los ladrillones utilizados en la ejecución de muros resistentes, la resistencia característica σ'_{PK} será como mínimo, igual a 4,5 MN/m2.
De acuerdo con las condiciones de resistencia y utilización de los ladrillos cerámicos macizos, éstos se clasifican en Clase A y B. Ref. [10]

4.2 *Ladrillos cerámicos macizos Clase A*

Para que el ladrillo sea de la Clase A, según la norma IRAM 12518, la resistencia media mínima a compresión determinada sobre 5 probetas, debe ser no menor que 12 MN/m2 y ninguno de los 5 valores obtenidos debe ser menor que 9,5 MN/m2.
Si se los adopta como tipo de mampuestos a emplear, los ladrillos cerámicos macizos Clase A se utilizarán obligatoriamente para todos los edificios cuya altura sea mayor que 7 m o cuyo número de pisos sea mayor que 2.

4.3 *Ladrillos cerámicas macizos, Clase B*

Para que el ladrillo sea de la Clase B según la norma IRAM 12518, la resistencia media mínima a compresión determinada sobre 5 probetas, debe ser no menor que 7,5 MN/m2, y ninguno de los 5 valores obtenidos debe ser menor que 6 MN/m2.

Los ladrillos cerámicos macizos Clase B podrán utilizarse para todos los edificios cuya altura sea no mayor que 7 m o cuyo número de pisos no sea mayor que 2.
Con el objeto de comprobar los distintos parámetros físicos del ladrillón, se realizó una recopilación de la información disponible y el análisis de los valores obtenidos en los distintos ensayos realizados en el IMERIS, pertenecientes a proveedores de la zona centro y norte de Mendoza. Ref. [11].
Se presentan en la Tabla 2 los valores promedio de los diferentes ensayos realizados a ladrillones, desde el año 2003 hasta el 2006.

Tabla 2. Valores promedio de peso y tensión de rotura por flexión del ladrillón.

	Medidas			Peso Total	Tensión de rotura
Nº	cm	cm	cm	kN	MN/m2
Promedio	26,24	6,75	16,65	0,043	3,28
Máximo	27,50	7,50	18,00	0,050	7,15
Mínimo	25,00	5,70	15,50	0,035	0,78

Tabla 3. Valores promedio de tensión de rotura por compresión y % de absorción del ladrillón.

	Tensión de rotura	Absorción
Nº	MN/m2	%
Promedio	8,57	20,58
Máximo	21,99	26,7
Mínimo	3,75	11,9

4.4 *Cálculo de la transmisión de calor*

De acuerdo con los valores obtenidos del cálculo para muros realizados con ladrillón y con ambas caras revocadas, estos superan el valor Kmáx = 2,35 W/(m^2.K) equivalente a un muro de ladrillos macizos de 20 cm de espesor con 2 cm de mezcla cementicia según fija el Código de Edificación de la Ciudad de Mendoza (H.4.1.4)
Por otro lado, de acuerdo con la Norma IRAM 11603, la Provincia de Mendoza está comprendida dentro de las siguientes zonas bioambientales:
- Templado Cálido III_a
- Templado Frío IV_a (de montaña)
  IV_b (de máxima irradiancia)
- Frío V
- Muy Frío VI

Para cada una de estas zonas la Norma IRAM 11.605 establece los valores de "K_{MaxAdm}" de acuerdo a la estación del año (invierno y verano) y define tres grados según el nivel de confort higrotérmico:
- Nivel A: Recomendado
- Nivel B: Medio
- Nivel C: Mínimo

En nuestra provincia para verano (zona bioambiental III y IV) se tiene:
- Nivel A = 0,50
- Nivel B = 1,25
- Nivel C = 2,00

Y para invierno (zona bioambiental V y VI y temperaturas de -2ªC):
- Nivel A = 0,35
- Nivel B = 0,95
- Nivel C = 1,67

La Secretaria de Vivienda de la Nación exige con carácter de obligatorio el cumplimiento de estas normas. En otras operatorias de vivienda, como las del IPV, se observa que para los casos de mampostería ejecutada con ladrillones con y sin revoques en ambas caras, las condiciones mínimas de acondicionamiento higrotérmico no verifican.

4.5 *Aislación acústica para un muro de ladrillón*

La Norma IRAM 4044 e informe de CECON establecen para un muro de ladrillo común con ambas caras revocadas y espesor total 150 mm una resistencia acústica de 50 dB; sin embargo, ensayos realizados por el Laboratorio de Acústica y Sonido de la UTN-FRM para un muro de ladrillón sin revoque de 168,8 mm y 1350 kg/m3 de densidad determinaron un valor de 45,18 dB.Ref. [13].

5 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Con el objeto de comprobar la calidad de los mampuestos utilizados en las construcciones de nuestro medio, se realizó el análisis de los diferentes parámetros físicos y mecánicos obtenidos a partir de los resultados de los ensayos realizados en el IMERIS a ladrillones.
Se muestra en los gráficos la recta promedio de los valores obtenidos y analizados, con la tendencia en el tiempo de cada uno de ellos, interpretando que en los parámetros de ancho la tendencia es algo creciente, pero en longitud se visualiza una tendencia constante a mantener su medida estándar.

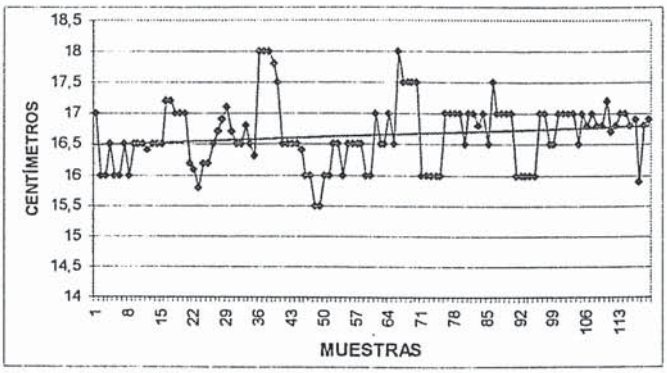


Figura 1. Ancho promedio del ladrillón



Figura 2. Longitud promedio del ladrillón

Analizando los valores obtenidos en los ensayos de rotura por flexión realizados con ladrillones de la zona, vemos que este se mantiene constante en el tiempo.

En cambio la resistencia a compresión tiende a ser decreciente y la absorción muestra una tendencia a aumentar de acuerdo a los últimos ensayos realizados.

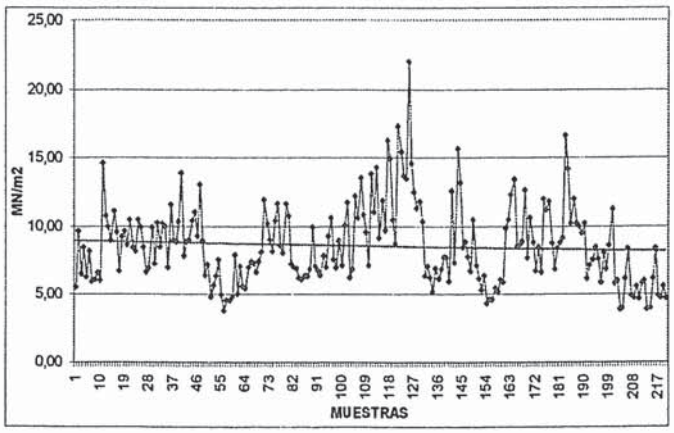


Figura 3. Promedio tensión de rotura por flexión

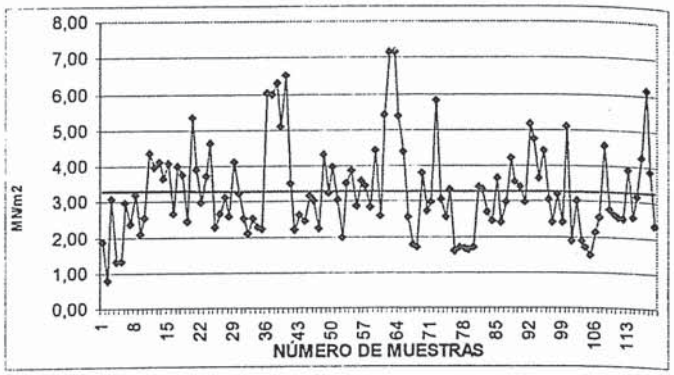


Figura 4. Promedio resistencia a compresión del ladrillón.

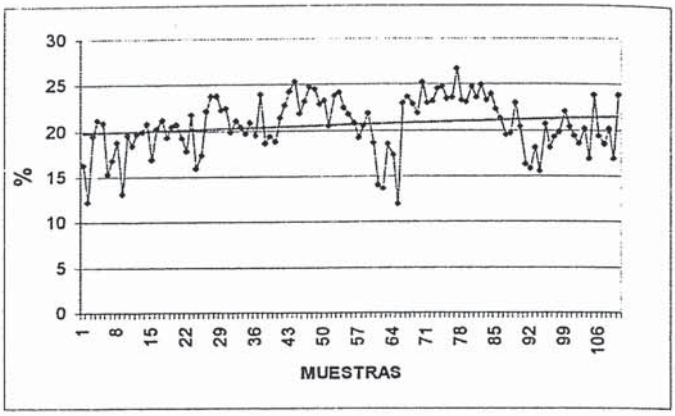


Figura 5. Promedio % absorción del ladrillón.

6 RECOMENDACIONES GENERALES

Los criterios específicos de recepción a aplicar en cada obra deberán ser establecidos por la Dirección de Obra. Debe señalarse en el proyecto y fijar las características particulares que debe cumplir el ladrillón para su recepción, especificando las tolerancias admisibles.

Los ladrillones presentarán regularidad de dimensiones y forma, que permitan la obtención de hiladas de espesor uniforme y paramentos regulares, satisfaciendo para ello las características que se especifican en la documentación de obra.

Es recomendable que los ladrillones se suministren en obra preferentemente empaquetados o paletizados. El suministro de ladrillones empaquetados facilita la descarga por medios mecánicos. La descarga de éstos por vuelco de la caja del vehículo de transporte produce, en general, un alto porcentaje de unidades descartadas o rechazadas por rotura, fisuración o desconchado.

6.1 *Recepción en obra y extracción de muestras*

La extracción de las muestras se establecerá por convenio previo, pudiendo efectuarse durante las operaciones de carga y descarga ya sea en el horno o en la obra. De preferencia se separarán los ladrillones al comienzo, al promediar y hacia el final de la operación. Cuando se trate de montones o pilas se fijará de antemano la capa o fila en que se realizará la extracción, retirando los ladrillones a intervalos regulares.

6.2 *Muestreo en obra, cantidad de cada muestra*

A efectos de fijar un criterio común se entiende por lote o partida el conjunto de elementos de la misma designación y procedencia, recibidos en obra en una misma unidad de transporte. Cuando en la obra se reciben en el mismo día varias unidades de transporte con ladrillones de la misma designación y procedencia, puede considerarse que el conjunto constituye el lote o partida.
Para lotes formados de hasta 20.000 ladrillones, la muestra estará constituida por 15 piezas. Para lotes mayores de 20.000 y hasta 100.000, 30 piezas. Para lotes mayores de 100.000 y hasta 500.000, 45 piezas. Para lotes mayores de 500.000 y hasta 1.000.000 de ladrillones, 60 piezas.
Por convenio previo podrá extraerse en cada caso una muestra adicional que se reservará para efectuar eventuales contraensayos.
Cada muestra se embalará por separado de modo que las piezas no corran riesgo de fracturarse.
El embalaje de las muestras llevará en lugar visible las indicaciones necesarias a los fines de la identificación, incluyendo la clase del ladrillón, el número de la remesa, la fecha de extracción, la marca o nombre del fabricante y el lugar de fabricación.
En todos los casos para la verificación de los requisitos establecidos en normas, se realizarán como mínimo 5 determinaciones operando respectivamente con igual número de probetas. Pero por acuerdo previo podrá establecerse un número mayor de determinaciones para cada ensayo y en proporción a la cantidad de muestras de cada lote o partida.

6.3 *Aceptación y rechazo*

Cuando algún o alguno de los resultados de los ensayos no concordaran con los valores respectivos especificados en normas, podrá repetirse el o los ensayos con un número doble de muestras. Si los nuevos ensayos son satisfactorios se aceptará el lote o la partida, en caso contrario se rechazará.

6.4 *Control de recepción*

El ladrillón de primera será de ángulos y aristas rectas, pudiendo presentar pequeñas imperfecciones en sus caras exteriores y variación de rectitud en sus aristas de hasta 5 mm. La mínima resistencia a la compresión será de 9,5 MN/m^2. La absorción máxima de humedad será de 18%.
El ladrillón de segunda calidad podrá presentar imperfecciones en sus caras exteriores, y variación de rectitud en sus aristas de hasta 8 mm. La mínima resistencia a la compresión será de 6 MN/m^2. La absorción máxima de humedad será de 25%.
Los ladrillones de un mismo tipo deben tener dimensiones uniformes, no debiendo admitir variación mayor del 4%.
No podrán contener material que produzca eflorescencias destructivas o manchas permanentes en su terminación superficial.
Deben carecer de huecos y grietas, debiendo desechar los ladrillones rotos o trizados. Deben presentar regularidad en las formas y uniformidad de dimensiones.
Serán de masa homogénea, de color rojizo uniforme y sonido metálico al golpe con un material duro. Deben presentar facilidad de corte, sin disgregaciones. Se debe disminuir al máximo el manipuleo en obra.

7 CONCLUSIONES

En Mendoza es usual el uso del ladrillón el cual no se encuentra particularmente normalizado.
El criterio y la justificación de sus dimensiones parecen obedecer a la necesidad de lograr muros de 20 cm de espesor, considerando las dos caras revocadas.
De acuerdo al promedio obtenido, no es fácil llegar a un espesor de 20 cm de mampostería, con ambas caras revocadas. Además, la junta debe tener un espesor máximo de 2 cm.
Del análisis de los valores obtenidos se determina que en los parámetros de ancho y peso la tendencia es creciente, pero en longitud se visualiza una tendencia constante a mantener su medida estándar.
De acuerdo a los valores de resistencia analizados, la calidad del ladrillón disponible en Mendoza, corresponde al ladrillo cerámico macizo clase B, ya

que el promedio de las resistencias medias obtenidas por ensayos de compresión es de 8,57 MN/m^2, y la característica es de 6,82 MN/m2, mostrando en el análisis de los gráficos una tendencia decreciente en los valores de resistencia a compresión.
Respecto al valor de rotura por flexión ésta tiende a mantenerse constante en el tiempo. Ref.[4], Ref.[14].
La absorción muestra una tendencia a aumentar de acuerdo a los últimos ensayos realizados, con un promedio general de 20,58 %.
En cuanto a la capacidad de aislación térmica, se observa que para los espesores promedio de los ladrillones no se verifican los valores admisibles del coeficiente de transmitancia térmica "K" y por lo tanto se necesitaría un espesor de ladrillón mínimo de 18 cm con ambas caras revocadas para que se cumpla con lo establecido por la Normativa vigente.
Si entendemos que los muros constituyen la "piel" o envolvente de la vivienda, debemos pensar que deben ser construidas con materiales, que además de asegurar una estructura resistente y durable en el tiempo, cumpla también con las Normas de acondicionamiento térmico y acústico y que se verifique una correcta posición del plano de condensación.
El Código de Edificación de la Ciudad de Mendoza (Art. EII4.3.b) establece que los muros divisorios entre unidades locativas aseguren una Resistencia acústica de 41 dB. De acuerdo con este valor los muros de ladrillón, aún sin revoque cumplen satisfactoriamente con el Código de Edificación de la Ciudad de Mendoza según lo establecido como aislamiento acústico mínimo. Sin embargo, para los Estándares mínimos de calidad para la vivienda de interés social (art. 4.3.4), que fija como valor mínimo 48 dB, no satisface bajo las condiciones ensayadas. Esto lleva a que las autoridades y profesionales intervinientes en las obras contemplen la necesidad de exigir ladrillones de 18 cm de espesor para cumplir con los requerimientos normativos vigentes.

REFERENCIAS

[1] IRAM 12502 – Ladrillos y bloques cerámicos para la construcción de muros – Nomenclatura y definiciones.
[2] N. M. Nieto, Construcción de edificios, diseñar para construir. Ed. del autor. 1994.
[3] IRAM 12585 – Ladrillos y bloques cerámicos para la construcción de muros – Método de determinación de las características geométricas
[4] Normas CIRSOC 103, Parte III.
[5] E. F. Pujol, Control de calidad en la construcción. UTN – FRM. Mendoza, 1982.
[6] Pujol, E. F. Ladrillos y ladrillones. UTN – FRM. Mendoza, 1984.
[7] IRAM 12588 – Ladrillos y bloques cerámicos para la construcción de muros – Método de ensayo de la capacidad de absorción de agua por inmersión en agua fría y en agua caliente.
[8] IRAM 11601. Aislamiento térmico de edificios. Métodos de cálculo
[9] IRAM 12586 – Ladrillos y bloques cerámicos para la construcción de muros – Método de ensayo de la resistencia a la compresión
[10] Norma IRAM 12518
[11] Información suministrada por IMERIS (Instituto de Mecánica Estructural y Riesgo Sísmico, Facultad de Ingeniería, UNCuyo.)
[12] Código de Edificación, Ciudad de Mendoza.
[13] C.E. Boschi, S.G. Acosta, A.F. González, Determinación del coeficiente de aislamiento acústica de un muro construido con ladrillones.
[14] Código de Construcciones Sismorresistentes de la Provincia de Mendoza. 1987.

ABSTRACT

A large number of constructions use a hand made common brick, but without a strict quality control. This paper analyzes physics characteristics of common bricks, made in Mendoza, like weight, length, compression resistance, flexion resistance and absorption capability. Criteria and recommendations are made in order to establish control reception and quality specifications for this material.

Key Words: bricks - quality control - masonry

El control estadístico de procesos en la estimación de la incertidumbre

J. Ortigala, C. Bello, G. Cuadrado
julioortigala@yahoo.com.ar & cab@frm.utn.edu.ar
CIEMI (Centro de Investigación y Educativa en Matemática para Ingeniería)

RESUMEN: En todas las organizaciones de la sociedad, es necesario garantizar la calidad de los procesos. Los laboratorios de ensayo y/o calibración no son ajenos a esta realidad. La calidad de la medición se evalúa a través de la cuantificación de la incertidumbre. Este trabajo analiza las cartas de control estadístico de procesos para estimar la precisión intermedia de mediciones físicas y químicas, realizadas en laboratorios de ensayos y calibraciones. Obtenido el valor de variabilidad, se puede calcular la incertidumbre de la medición. El uso de cartas de control para el cálculo de la precisión intermedia permite considerar el efecto entre días en el valor de variabilidad y evita subestimar el valor de incertidumbre de medición. Se inspecciona el concepto de control estadístico de procesos tomando las cartas de control estadístico de procesos que son la herramienta más poderosa. Se analizan los tipos de cartas de control y se eligen las de rango móvil por presentar la ventaja en la facilidad de implementación y la característica de posibilitar el trabajo con tamaños de muestra igual a uno. Los criterios de validación de los métodos de ensayos físicos y químicos, se toman de las definiciones aportadas por las normas internacionales más usadas. Se considera que este trabajo aporta a las metodologías de trabajo de grupos de servicios y laboratorios de la comunidad Universitaria.

Palabras clave: control – trazabilidad – precisión – incertidumbre – medición

1 INTRODUCCIÓN

1.1 *La actualidad en las organizaciones*

En la actualidad, la calidad total de los procesos en todas las organizaciones es una necesidad y obligación. Los laboratorios de ensayos y calibraciones no son ajenos a esta problemática, que tiende a transformar algunas de las prácticas habituales. Los laboratorios están obligados a demostrar que sus métodos de ensayos físicos y químicos proporcionan resultados confiables y que son adecuados para los propósitos que ellos persiguen. Muchas de las decisiones que se toman, incluidas aquellas que afectan la vida humana, están basadas en la información que los resultados de los ensayos que los laboratorios proporcionan.

1.2 *Sistemas de aseguramiento de la calidad*

Un laboratorio de ensayo y/o calibración es una organización productiva, ya que recibe materias primas e insumos y genera un producto, constituido por el informe de un ensayo. En esta organización se puede determinar un proceso productivo donde se hallan entradas, transformaciones y salidas.
La calidad de este proceso está basada en la calidad de las mediciones realizadas, las cuales están sustentadas en la calidad del método de medición, en

la calidad de los aparatos utilizados, en la capacitación de los ensayistas y la responsabilidad de la organización.
Los sistemas de calidad aplicados en los laboratorios de ensayo y/o calibración están basados en el seguimiento de normas y el cumplimiento de la legislación vigente. En este sentido la norma internacional de mayor difusión es la ISO /IEC 17025, versión 2005 [1]. Esta norma contiene los elementos necesarios para garantizar la calidad de gestión y la calidad en las mediciones, cumplir con ella permite a los laboratorios demostrar que son técnicamente competentes.

2 VALIDACIÓN DE METODOS DE ENSAYO

La validación de un método de ensayo es un proceso permite asegurar la confiabilidad de los resultados de una medición.

2.1 *Requisitos de validación*

Los criterios de calidad que comprenden la validación de un método físico o químico pueden ser de tipo estadístico o bien operativo. Dentro de los requisitos de tipo estadístico tenemos [2]:

- Veracidad. Precisión
- Trazabilidad. Incertidumbre
- Límite de detección
- Límite de cuantificación
- Robustez

Los requisitos de tipo operativo-económico son:

- Rapidez operativa
- Uso simplificado
- Menor inversión de capital

2.1.1 Trazabilidad

La trazabilidad se define según el Vocabulario Internacional de Metrología, como "la propiedad del resultado de una medición que le permite relacionarlo con referencias determinadas, generalmente nacionales o internacionales a través de una cadena ininterrumpida de comparaciones todas ellas con incertidumbre conocida". Este concepto es de suma importancia fundamentalmente porque compromete una serie de comparaciones que aportan mucha confianza en los resultados obtenidos, ya que al comparar los resultados con una referencia se puede afirmar que están libres de cualquier error sistemático significativo en cualquiera de las etapas involucradas en el método de medición. Además nuestros resultados pueden compararse con los obtenidos por otros laboratorios en las mismas condiciones.
Las mediciones físicas tienen algunas diferencias con las químicas desde el punto de vista de la trazabilidad. En primer lugar se debe decir que la naturaleza de los errores es diferente, ya que mientras que en las mediciones físicas predominan los errores sistemáticos, en las mediciones químicas predominan los errores aleatorios. Por lo tanto en las mediciones físicas la trazabilidad se logra mediante el uso de patrones certificados e instrumentos calibrados que se interconectan entre si hasta llegar al patrón físico fundamental, como por ejemplo el metro.

2.1.2 Precisión

La precisión según la norma ISO 3534 [4], es el grado de concordancia entre ensayos independientes obtenidos bajo condiciones estipuladas. En cada ensayo pueden variarse distintos factores y a partir de estas variaciones, las condiciones pueden fluctuar alrededor de parámetros metrológicos determinados. Algunos de los factores que pueden variarse son el analista, el aparato de medición, el laboratorio, el sistema de calibración del equipo de medición, los reactivos y el momento en que se hace el ensayo .
Teniendo en cuenta los factores que varían durante los ensayos, puede obtenerse tres tipos distintos de precisión: la reproducibilidad, la repetibilidad y la precisión intermedia.
Según el VIM (Vocabulario Internacional de Metrología) la repetibilidad de resultados de mediciones es: La proximidad de concordancia entre los resultados de mediciones sucesivas del mismo mensurando bajo las mismas condiciones de medición. Donde: 1) Estas condiciones son llamadas condiciones de repetibilidad, 2) Las condiciones de repetibilidad incluyen: el mismo procedimiento de medición, el mismo observador, el mismo instrumento de medición, las mismas condiciones de medición, el mismo lugar, repetición en un período corto de tiempo 3) La repetibilidad puede ser expresada cuantitativamente en términos de la dispersión característica de los resultados
En el estudio de precisión a la repetibilidad se la conoce como variabilidad interna a la condición.
De acuerdo con el VIM la reproducibilidad de resultados de mediciones es: La proximidad de concordancia entre los resultados de mediciones sucesivas del mismo mensurando bajo condiciones de medición que cambian, donde: 1) una declaración

válida de reproducibilidad requiere que se especifique la condición que cambia, 2) las condiciones que cambian pueden incluir: método de medición, observador, instrumento de medición, patrón de referencia, lugar, condiciones de tiempo, de uso, 3) la reproducibilidad puede ser expresada cuantitativamente en términos de la dispersión característica de los resultados 4) se entiende que los resultados usualmente son resultados corregidos.
Tradicionalmente en los estudios de precisión de resultados de mediciones a la repetibilidad se la conoce como la variabilidad entre las condiciones.
La repetibilidad y la reproducibilidad de un método pueden calcularse a partir de los ensayos colaborativos siguiendo la metodología propuesta por la norma ISO 5725. [5]
El procesado intermedio se obtiene cuando dentro de un laboratorio se varía uno o más factores entre ensayos. Hay diferentes tipos de precisión intermedia dependiendo de los factores que se varíen. Por ejemplo, si los ensayos se hacen en días diferentes se obtiene la precisión intermedia de días diferentes "time-different intermediate precision" y si se hacen variando el analista y el día se obtiene la precisión intermedia de días y analistas diferentes "time+operator different intermediate precision".
Con esto se puede evaluar la precisión intermedia de días diferentes. Distintas simulaciones realizadas cambiando otro parámetro con la finalidad de producir la precisión intermedia de días, analistas, o instrumentos, han demostrado que la estimación obtenida de esta manera tiene una facilidad y una exactitud muy alta.

2.2 *Aplicación práctica*:

El caso que se ha elegido para ejemplificar la necesidad del cálculo de la precisión intermedia, es la calibración de una balanza monoplano.
Las fuentes de incertidumbre que se tienen en cuenta son: de la calibración, la deriva, y la incertidumbre de la propia medida la calidad. Esta última depende de la resolución de la balanza y de la precisión de la medida. Con respecto al empuje hidrostático del aire desplazado se estima despreciable en esta calibración.
Para estimar la variabilidad de las mediciones no se utiliza la desviación típica de repetibilidad y se prefiere el uso de la precisión intermedia (tiempo y analista) y como método alternativo a los diseños de experimentos, se selecciona el método gráfico mediante las cartas de rango móvil.

El gráfico utilizado, tiene la característica que puede usarse con grupos de datos o con mediciones individuales. Se han obtenido tres datos por día y se grafican como si fueran muestras individuales, es decir muestras de tamaño1. Para el cálculo de la línea central se estima el rango medio Ec. (1), siendo cada rango individual la diferencia entre dos mediciones sucesivas, con lo que se obtienen 29 rangos individuales ver figura N° 1.

$$\overline{R} = \frac{\sum_{i=1}^{n} R_i}{n} \qquad (1)$$

Para calcular los límites de control, se supone que la característica de calidad está distribuida normalmente y por lo tanto se puede definir la amplitud relativa W= R/ σ. Por lo tanto, R= W.σ
La desviación estándar de R es $\sigma R = d_3 . \sigma$, donde d_3 es una constante que depende del tamaño de la muestra. Un estimador no sesgado de σ es R/ d_2, la expresión anterior queda.

$$\sigma R = d_3 R/d_2 \qquad (2)$$

El límite superior de control de tres sigmas resulta:

$$LSC = R + 3\,\sigma R = R + 3\,d_3 R/d_2 = RD_4 \qquad (3)$$

Donde D_4 es una constante que depende del tamaño de la muestra. A partir de la Figura 1 donde del gráfico de rango móvil estimamos la $s= 2{,}44\ 10^{-4}$

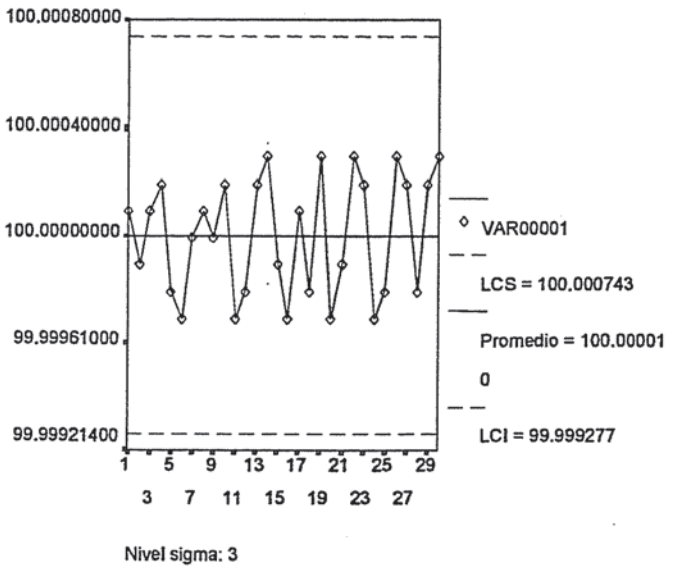


Figura 1. Gráfico de media.

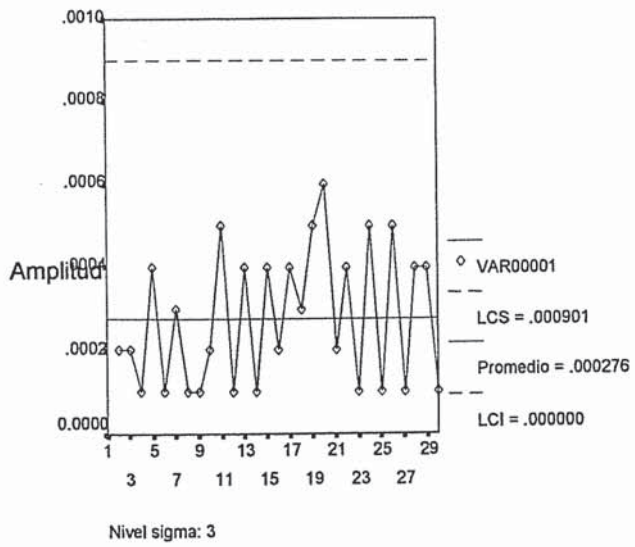


Figura 2. Gráfico de rango Móvil.

3 INCERTIDUMBRE DE UNA MEDICIÓN

La calidad del resultado de una medición debe estar medida cuantitativamente de alguna manera segura y confiable. Es decir que al informar el valor de una medición, éste debe ser capaz de garantizarle al usuario que responde a sus necesidades. De no cumplirse esta condición los resultados de las mediciones no pueden compararse, ya sea entre ellos o con valores de referencia dados por una especificación o un patrón.

Históricamente se han usado los términos de error y análisis del error como parte práctica de la ciencia de las mediciones o metrología. El término y el concepto de incertidumbre como una característica cuantificable del resultado de una medición, es bastante nuevo en el desarrollo de la metrología.

Actualmente se considera la existencia de un componente de incertidumbre sobre el resultado de una medición, aun cuando se hayan evaluado correctamente todas las componentes conocidas o supuestas de un error y aplicado las correcciones adecuadas [8]

La duda es cuanto representa el resultado de una medición el valor de la magnitud que se está midiendo.

Es lógico pensar también que en un mundo totalmente interconectado y globalizado y en el cual el uso universal del Sistema Internacional de Medidas (SI), brinda coherencia a todas las mediciones científicas y tecnológicas, se debe desarrollar un método confiable y científicamente aceptado para medir la incertidumbre de las mediciones, las cuales se usarán en ciencia, tecnología y comercio. Por esto, el método que se utilice debe ser coherente y difundido mundialmente, para que las mediciones realizadas en diferentes puntos del planeta sean comparables.

La incertidumbre es un parámetro asociado al resultado de una medición, caracteriza la dispersión de los valores que podrían ser razonablemente atribuidos al mensurando. (Vocabulario Internacional de Metrología).

El parámetro puede ser un desvío estándar o la semiamplitud de un intervalo de nivel de confianza especificado.

La incertidumbre de una medición tiene varios componentes. Algunos de ellos pueden evaluarse a partir de la distribución estadística de los resultados de series de mediciones y pueden ser caracterizados por desvíos estándar experimentales. Otros componentes que también pueden representarse por desvíos estándar, serán evaluados a partir de distribuciones de probabilidad supuestas, basadas en la experiencia u otra información pertinente.

3.1 *Modelo matemático de medición*

El modelo matemático de la medición se basa en la idea de que el mensurando Y es una variable aleatoria, que en la mayoría de los caso no se mide directamente sino que se determina a partir de otras N magnitudes de entrada $X_1, X_2, \ldots, X_N$ a través de una relación funcional, Ec. (4)

$$Y = f(X_1, X_2, \ldots X_N).. \qquad (4)$$

Las magnitudes de entrada $X_1, X_2, \ldots X_N$ de las cuales depende la magnitud de salida Y, pueden ser vistas a su vez como mensurandos y depender de otras magnitudes, incluyendo correcciones y factores de corrección por efectos sistemáticos, dando lugar por lo tanto a relaciones funcionales complicadas, que nunca podrían expresarse explícitamente.

En el caso que los datos indiquen que la función no modela la medición hasta el grado impuesto por la exactitud requerida, deben incluirse magnitudes de entrada adicionales en la función para adecuar el modelo. Esto puede requerir la introducción de una magnitud de entrada que refleje el conocimiento incompleto de un fenómeno que afecta al mensurando.

3.2 *Componentes de la incertidumbre*

La incertidumbre de la medición está integrada por componentes que pueden ser agrupados dentro de dos categorías, según se estime su valor numérico:
La categoría A está formada por aquellos componentes que se evalúan por métodos estadísticos, a través de una serie de mediciones.
La categoría B está formada por aquellos componentes que se evalúan por distribuciones de probabilidad conocidas y se obtienen a través de información confiable.

3.3 *Análisis de la categoría A de la incertidumbre de medición*

Los componentes de la categoría A se obtienen calculando las variancias estimadas s_i^2 (o desvíos estándar estimados s_i) y el número de grados de libertad v_i. En el caso de variables correlacionadas, deben informarse las covariancias.

3.4 *Análisis de la categoría B de la incertidumbre*

Para una estimación x_i de una magnitud de entrada X_i que no ha sido obtenida por observaciones repetidas, la variancia estimada asociada $u^2(x_i)$ o la incertidumbre estándar $u(x_i)$, son evaluadas mediante el juicio científico basado en toda la información disponible respecto a la variabilidad de X_i.
El resultado de una medición se determina sobre la base de una serie de mediciones en condiciones de repetibilidad, reproducibilidad o precisión intermedia. Las variaciones en las mediciones repetidas, se supone que aumentan debido a que las magnitudes que pueden afectar los resultados de la medición no se mantienen constantes a lo largo del experimento.
El concepto de incertidumbre, en definitiva, resalta las dudas que pudieran existir sobre la exactitud del resultado obtenido sobre una medición, una vez que se han tenido en cuenta todas las posibles fuentes de error y se han aplicado las correcciones que correspondieran. Por esto decimos que la incertidumbre proporciona la idea más acabada sobre la calidad de una medición y del resultado informado, teniendo en cuenta que cuantifica cuanto puede alejarse un resultado del valor considerado verdadero.

3.5 *Expresión de la incertidumbre*

No cabe duda de la importancia que posee la determinación de la incertidumbre para garantizar la calidad de los resultados de una medición. Pero su cálculo es una tarea bastante engorrosa debido al elevado número de fuentes de error presentes en un ensayo cualquiera.
También debe destacarse que el cálculo de la incertidumbre en medidas químicas es más complejo que en el caso de las medidas físicas. Para este último existe una aproximación que cubre la mayoría de los casos y que ha sido desarrollada por las Normas ISO y publicada en el año 1993.

3.6 *Incertidumbre estándar combinada. Magnitudes de entrada independientes*

En el caso que las magnitudes de entrada no estén correlacionadas, la incertidumbre estándar de el mensurando (Y), se obtiene relacionando las incertidumbres de las estimaciones de las variables de entrada x_1, x_2, ...x_N . La incertidumbre estándar combinada de la estimación del mensurando Y, es decir $u_c(y)$, Ec. (5):

$$u_c(y)=\sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1}\right)^2 u^2(x_1)+\left(\frac{\partial f}{\partial x_2}\right)^2 u^2(x_2)+\ldots+\left(\frac{\partial f}{\partial x_N}\right)^2 u^2(x_N)} \qquad (5)$$

Esta ecuación está basada en un desarrollo de serie de Taylor de primer orden y expresa lo que comúnmente se denomina ley de propagación de la incertidumbre.
Cada u (x_i) es una incertidumbre estándar evaluada como Tipo A o como tipo B según corresponda. La incertidumbre estándar combinada, $u_c(y)$, es una desviación estándar combinada y caracteriza la dispersión de los valores que podrían ser razonablemente atribuidos al mensurando.
Las derivadas parciales $\partial f / \partial x_i$ se denominan coeficientes de sensibilidad y describen como varía la estimación de salida y, en función de las variaciones en los valores de entrada $x_1, x_2, \ldots x_N$.

3.7 *Incertidumbre expandida*

Aunque $u_c(y)$ puede ser utilizada universalmente para expresar la incertidumbre de un resultado de medición, frecuentemente es necesario, en ciertas aplicaciones comerciales, industriales o reglamentarias, o en los campos de la salud o la seguridad, dar una medida de la incertidumbre que

defina, alrededor del resultado de la medición, un intervalo de probabilidad dentro del cual pueda esperarse encontrar gran parte de la distribución de valores que razonablemente podrían ser atribuidos al mensurando.
Para obtener la incertidumbre expandida, U, se debe multiplicar la incertidumbre combinada $u_c(y)$ por un factor de probabilidad α, Ec. (6)

$$U = \alpha . u_C(y) \qquad (6)$$

Es conveniente expresar el resultado de una medición en la forma Y= y ± U, donde y es la mejor estimación del valor atribuible al mensurando Y. El intervalo de probabilidad se expresa como $y - U \leq Y \leq y + U$
Es habitual que se denomine a este intervalo, intervalo de confianza, pero este concepto no es totalmente válido [9]. Para que se pueda utilizar esta denominación, el intervalo debe cumplir con otras propiedades de las que carece, incluida la que todos los componentes de la incertidumbre que contribuyen a $u_c(y)$ se obtengan mediante evaluaciones de Tipo A. Por este motivo, no se utiliza el concepto de "*confianza*" para definir a este intervalo y es más adecuado usar el término de intervalo de probabilidad de cobertura. En estas condiciones, este tipo de intervalo nos expresa que existe una determinada probabilidad "p", de que el verdadero valor del mensurando se halle dentro de estos valores.

3.8 *Elección del factor de probabilidad*

La elección de un factor de probabilidad "α" se realiza teniendo en cuenta las expectativas que se poseen sobre el interés de la magnitud en estudio y el mensurando, realmente se encuentre dentro de los valores provistos por el intervalo.
En general, en la práctica no se cumplen los postulados principales que permiten obtener el valor del factor de probabilidad de la distribución normal. En su reemplazo y para mejorar la estimación, debe usarse la distribución de probabilidad "t" de Student con una cantidad de grados de libertad dados por la fórmula de Welch-Satterhwaite. Esto se debe a que la distribución "t" con n -1 grados de libertad, no describe en general la distribución de la variable en estudio ni siquiera cuando cada x_i es la estimación de una magnitud de entrada X_i distribuida normalmente.

Se puede lograr una aproximación muy exacta a esta variable por medio de una distribución "t" con un número efectivo de grado de libertad υ_{ef} obtenido mediante la ecuación de Welch-Satterhwaite

$$\nu_{ef} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^{N} \frac{u_i^4(y)}{\nu_i}} \qquad (7)$$

3.9 *Cálculo de la incertidumbre*

Calibración: se extrae del certificado de calibración, que proporciona una incertidumbre expandida calculada con un valor de k=2, Ec. (8)

$$u(cal) = \sqrt{\left(\frac{U_c}{2}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{3{,}210^{-5}}{2}\right)^2} = 1{,}610^{-5} \qquad (8)$$

Deriva de la balanza: se calcula como la diferencia entre las correcciones obtenidas entre dos calibraciones sucesivas. La incertidumbre de deriva se calcula asumiendo una distribución rectangular, Ec. (9)

$$u(der) = \sqrt{\frac{dif^2}{3}} = \sqrt{\frac{(4{,}710^{-7})^2}{3}} = 2{,}71.10^{-7} \qquad (9)$$

Incertidumbre de la medida. Depende de la precisión intermedia dia-operador y de la resolución de la balanza, Ec. (10):

$$u(med) = \sqrt{s(x_i)^2 + \frac{res^2}{3}} = \sqrt{(2{,}44.10^{-4})^2 + \frac{0{,}00005^2}{3}} \qquad (10)$$

u(med) = 2,45 . 10^{-4} , Ec. (11)

$$u_c = \sqrt{\left(\frac{Uc}{2}\right)^2 + \left(\frac{s_{i^2}}{n} + \frac{res^2}{3}\right) + \left(\frac{dif^2}{3}\right)} \qquad (11)$$

$u_c = 2{,}61 .10^{-4}$

Para obtener la incertidumbre total expandida, se debe multiplicar a u por un factor de cobertura obtenido de la distribución "t" con una cantidad de

grados de libertad dados por la ecuación de Welch-Satterhwaite, Ec. (12)

$$\nu_{ef} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^{n} \frac{u_i^4(y)}{\nu_i}} \qquad (12)$$

$$\nu_{ef} = \frac{\left(2{,}61.10^{-4}\right)^4}{\frac{\left(2{,}45.10^{-4}\right)^4}{29} + \frac{\left(2{,}71.10^{-7}\right)^4}{10^4} + \frac{\left(1{,}6.10^{-5}\right)^4}{200}} \qquad (13)$$

$$\nu_{ef} = 37$$

El valor de t con 37 grados de libertad y una probabilidad del 95 %, es = 1,68
$U = 2{,}61.10^{-4} \times 1.68 = 4{,}38.10^{-4}$

4 CONCLUSIONES:

El correcto cálculo de la incertidumbre de medición en ensayos físicos y químicos de laboratorios de ensayo y/o calibración es fundamental para garantizar la confiabilidad de los resultados. La obtención de una menor incertidumbre implica que se han eliminado errores aleatorios y sistemáticos y que a su vez se está operando con aparatos calibrados exactos y precisos. Para no subestimar la estimación de la incertidumbre, es necesario tener en cuenta todas las fuentes de errores. De aquí la importancia de trabajar en condiciones de precisión intermedia. Si no se hiciera así, se estaría obviando el efecto del día en los valores de variabilidad.

Para obtener valores de precisión intermedia, se podría trabajar con un diseño de experimento, técnica suficientemente conocida. En este trabajo se ha priorizado el uso de cartas de control estadístico de procesos. Los resultados obtenidos a través de las gráficas propuestas muestran una gran precisión y exactitud, como lo demanda la norma internacional más usada en laboratorios de ensayos y calibración, tal es la norma ISO 17025/2005.

Las cartas de control de rango móvil son las que mejor se adaptan a estos propósitos, ya que permiten trabajar con tamaños de muestra igual a 1, lo cual se adapta razonablemente bien al trabajo de los laboratorios.

REFERENCIAS

[1] IRAM 301. ISO/IEC 17025 Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración. Cuarta Edición 2005.

[2] ISO- 10012-1. Quality assurance requirements for measuring equipment – Part. 1: Metrological.

[3] Spiridonov V. P. Tratamiento Matemático de datos Físico-Químicos Ed Mir Moscú1973

[4] International Organization for Standardization, Statistics, Vocabulary and symbols, ISO 3534-1 ISO , Geneva 1993.

[5] International Organization for Standardization, Accuracy (Trueness and Precision) of Measurement Methods and Results ISO Guide 5725-3 ISO, Geneva 1994.

[6] Montgomery, Douglas. Control Estadístico de la Calidad. Interamericana 1996

[7] Besterfield, Dale. Control de Calidad. Cuarta Edición Prentice Hall, 1995.

[8] EA-4/02 Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration España Ed. 1, 1997.

ABSTRACT

In all organizations of society, is necessary to guarantee the quality of the processes. The rehearsal laboratories and/or calibration are not unaware or this reality. The quality of the measurement is evaluated through the quantification of the uncertainty. In this work the letters of statistical control of processes were analyzed for the estimate of the intermediate precision of physical and chemical measuring, carried out in laboratories of rehearsals and calibrations. With this value of variability, the uncertainty of the measuring is calculated. The use of control letters for the calculation of the intermediate precision allows to consider the effect among days in the value of variability. With this it is possible not to underestimate the value of measuring uncertainty. The concept of statistical control of processes was looked over and from this they take the letters of statistical control of processes, its more powerful tool. The different types of control letters are analyzed and the letters of control of mobile range are chosen. These letters have the advantage that

they are easy to implement and that they can be worked with sizes the sample equal to one. The approaches of validation of the methods of physical and chemical rehearsals are take from the definitions contributed the most widely international standards.

Key Words: control – Trazability - precision - uncertainty - measuring

Modelación con código Melcor 1.8.5 del comportamiento de la Central Nuclear Atucha I para una hipotética rotura en una de las ramas frías con falla total del sistema TJ de baja presión.

E. González Videla & J. E. Núñez Mc Leod
egonzalez@cediac.uncu.edu.ar & jmcleod@cediac.uncu.edu.ar
Instituto CEDIAC, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo

RESUMEN: El objeto del presente trabajo es evaluar el comportamiento de la planta frente a un evento hipotético de pequeña rotura de 175 cm2 en la rama fría con falla total del sistema TJ de baja presión. Esta modelación de la Central Nuclear Atucha I (CNA I) incluye los circuitos primario, moderador, secundario y la contención. En este trabajo se detallan los resultados hipotéticos del comportamiento de las distintas variables termodinámicas durante el desarrolla del accidente para las hipótesis de cálculo consideradas.

Palabras clave: Atucha – MELCOR – nuclear – modelación – accidente

1 INTRODUCCIÓN

La CNAI está a 100Km al noroeste de Buenos Aires en el margen derecho del río Paraná de las Palmas en Argentina.
Los edificios principales de la central, se encuentran sobre la cota +25.60 m .
El espacio se encuentra distribuido en una zona nuclear y otra convencional.
Los edificios que se hallan comprendidos en la zona nuclear son el del reactor, el de las instalaciones auxiliares del mismo y el de la casa de piletas.
En el edificio del reactor, que es en el que se centra este trabajo, se encuentran todos los sistemas principales, envueltos en una capa de seguridad doble. Una envolvente esférica inferior de acero, con un diámetro de 50 m, que se ha diseñado para una presión de 2,8 at a 125 °C. Y una envolvente exterior de hormigón, con un espesor de paredes de 80 cm en la parte cilíndrica y de 60 cm en la parte esférica, que tiene por finalidad, por una parte, apantallar respecto a la radiación directa y, por otra parte, recoger, en el caso de que ocurra una rotura en la envolvente de acero, la cuota de fugas (según el valor de diseño 0.5% del volumen contenido dentro de la esfera de acero por día). A está fuga se la hace pasar por filtros de carbón activo, se la somete a control y se la deja salir por la chimenea.
El interior del edificio del reactor está dividido en los locales para el servicio y para la instalación.
Se supone un hipotético accidente en la Central Nuclear Atucha I en el que se analiza la secuencia accidental de rotura de 175 cm2 en una rama fría con falla total del sistema TJ de baja presión. Además, se postula la falla del Segundo Sumidero de Calor. Para esto se trabajó con un modelo que se desarrollo anteriormente Ref. [1], el cual se desarrollo con el código Melcor 1.8.5 Ref. [2]. Se da una descripción del modelo utilizado, que consiste en una ampliación a los que se les ha agregado los calefactores del presurizador y los acumuladores del TJ de alta presión. El modelo está conformado por el

reactor y su sistema primario y moderador, el sistema secundario y la contención.
El accidente comienza con la rotura de 175 cm2 en la rama fría del QH02. Dicha falla en el modelo se encuentra entre la bomba principal correspondiente a dicho lazo y la vasija del reactor. Esta situación accidental va más allá de su base de diseño Ref. [3].
Los resultados se detallan en dos tablas de eventos, una que enumera los sucesos en el reactor, sistema primario de refrigeración y moderador y el sistema secundario, y en la otra se encuentran los eventos ocurridos en la contención durante el accidente.

2 DESCRIPCIÓN DEL MODELO

2.1 *Nodalización*

Para explicar los detalles de la nodalización se ha dividido el modelo en seis partes:
a-Reactor, sistema primario de refrigeración y sistema de control de volumen.
b-Sistema de refrigeración de agua del moderador.
c-Sistema de alimentación de agua a los generadores de vapor.
d-Sistema de vapor vivo.
e-Sistema TJ de alta.
f-Contención.

2.2 *Reactor, sistema primario de refrigeración y sistema de control de volumen*

En la Fig. 1. se observa un esquema de la nodalización que se desarrolló para estos sistemas de la Central Nuclear.
En ella se aprecia, en la parte central, el reactor, en donde el núcleo del mismo se ha modelado mediante 8 volúmenes de control (desde CV111 hasta CV118), conectados con el lower plenum (CV101) y el upper plenum (CV102). Por otro lado, el volumen CV100 representa el downcomer y el CV104 el tanque del moderador, el cual solo tiene conexión con el upper plenum. El upper head está representado por el volumen CV103 y está conectado con el upper plenum.
Desde el reactor salen los dos lazos del circuito de refrigeración principal, ambos conectados al upper plenum (CV102) y al downcomer (CV100, representado dos veces por razones de simplicidad del esquema). Estos lazos con simétricos, salvo por la presencia del presurizador en uno de ellos. Ambos lazos hacen circular el agua de refrigeración por el interior de los tubos de los generadores de vapor, haciendo retornar por el lazo frío el agua así refrigerada al reactor.
El Sistema de Control de Volumen, se encuentra representado por el presurizador (CV406) y su correspondiente tanque de alivio (CV407), unidos ambos por tres válvulas de seguridad (QD01 S01/02/03). Además, el presurizador se encuentra unido con una cañería (CV400) a la rama caliente del generador de vapor QW01 (CV200). Para el correcto funcionamiento de este sistema, se han modelado el sistema de calefacción y el de rociadores. En particular, los rociadores toman agua de la rama fría del mismo lazo al que está conectado el presurizador, a través del volumen CV409.
Los generadores de vapor están modelados con 4 volúmenes en el lado primario y 3 volúmenes en el lado secundario. El lado primario tiene un volumen para el colector de entrada (CV710 y CV711) y otro para el colector de salida (CV740 y CV741), mientras que el haz de tubos está representado por un volumen para la parte ascendente (CV722 y CV723) y otro para la descendente (CV728 y CV729). Por otro lado, el circuito secundario tiene un volumen representativo del canal de descenso (CV830 y CV831), otro para zona de generación de vapor (CV842 y CV843) y el representativo del domo de vapor (CV852 y CV863).
En el modelo todos los volúmenes de control y caminos de flujo son dependientes del tiempo.

2.3 *Descripción de los aspersores y calentadores del presurizador*

Se han modelado 5 flujos de aspersión.
Todos estos caudales son extraídos del ramal frío a través del flujo FL414 a un volumen de control 409. De este volumen se extrae masa de agua líquida según lo requieren los aspersores de acuerdo a la densidad calculada por el código MELCOR para este volumen de control y la correspondiente energía que se calcula con la cantidad de entalpía por unidad de masa, todo esto calculado por las funciones de control del código MELCOR. Esta masa con esta entalpía que son restadas al inventario del CV409 son agregadas al inventario del Presurizador en forma de gotas de niebla, dentro de su atmósfera. Cada aspersor tiene su presión de apertura (cuando la presión del presurizador supera ésta) y su presión de cierre.
Igualmente se han modelado 3 fuentes de energía aportadas por los calentadores que abren por debajo de tres presiones distintas y cierran al superar otras tres.

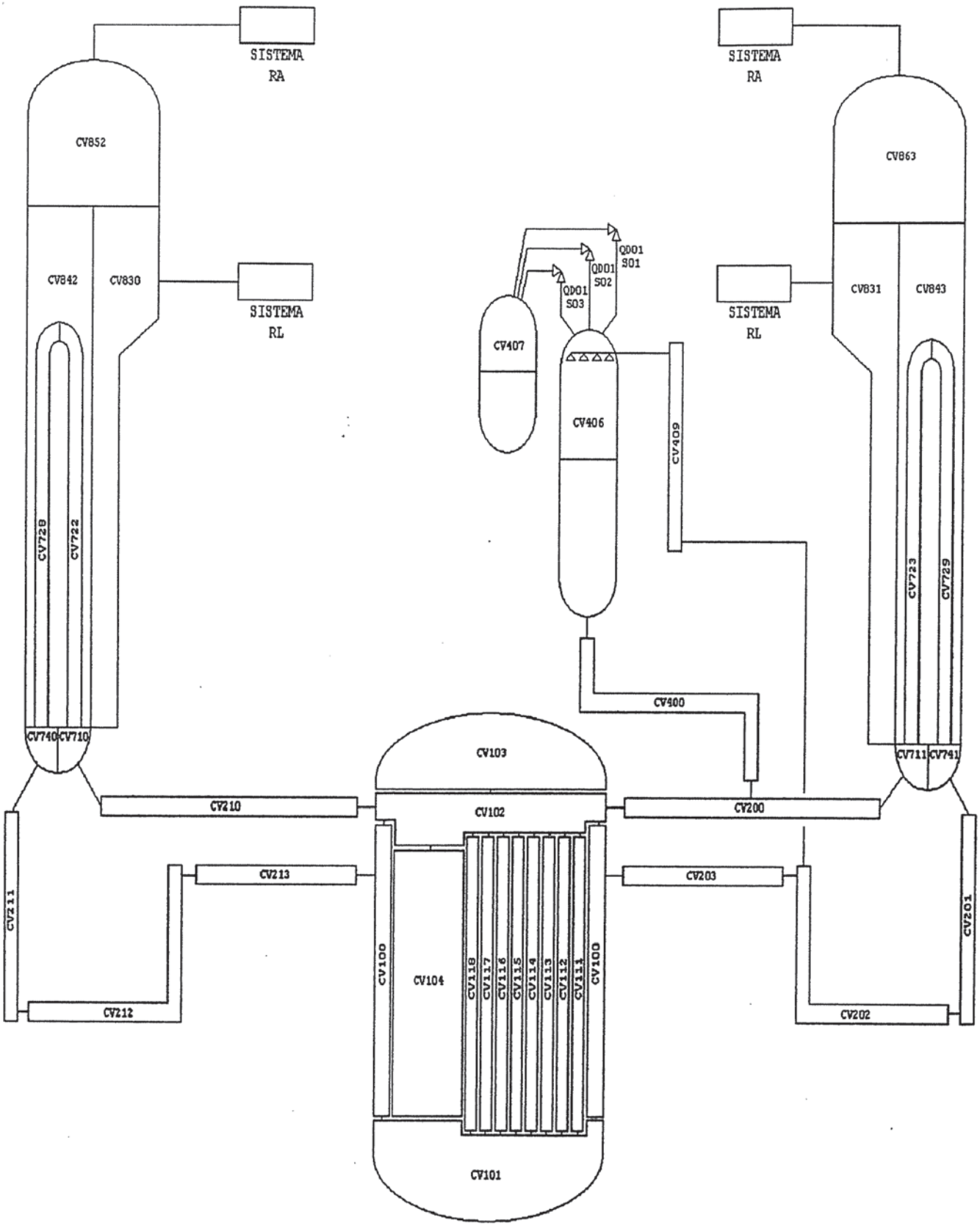


Figura 1. Reactor, sistema de refrigeración principal y sistema de control de volumen.

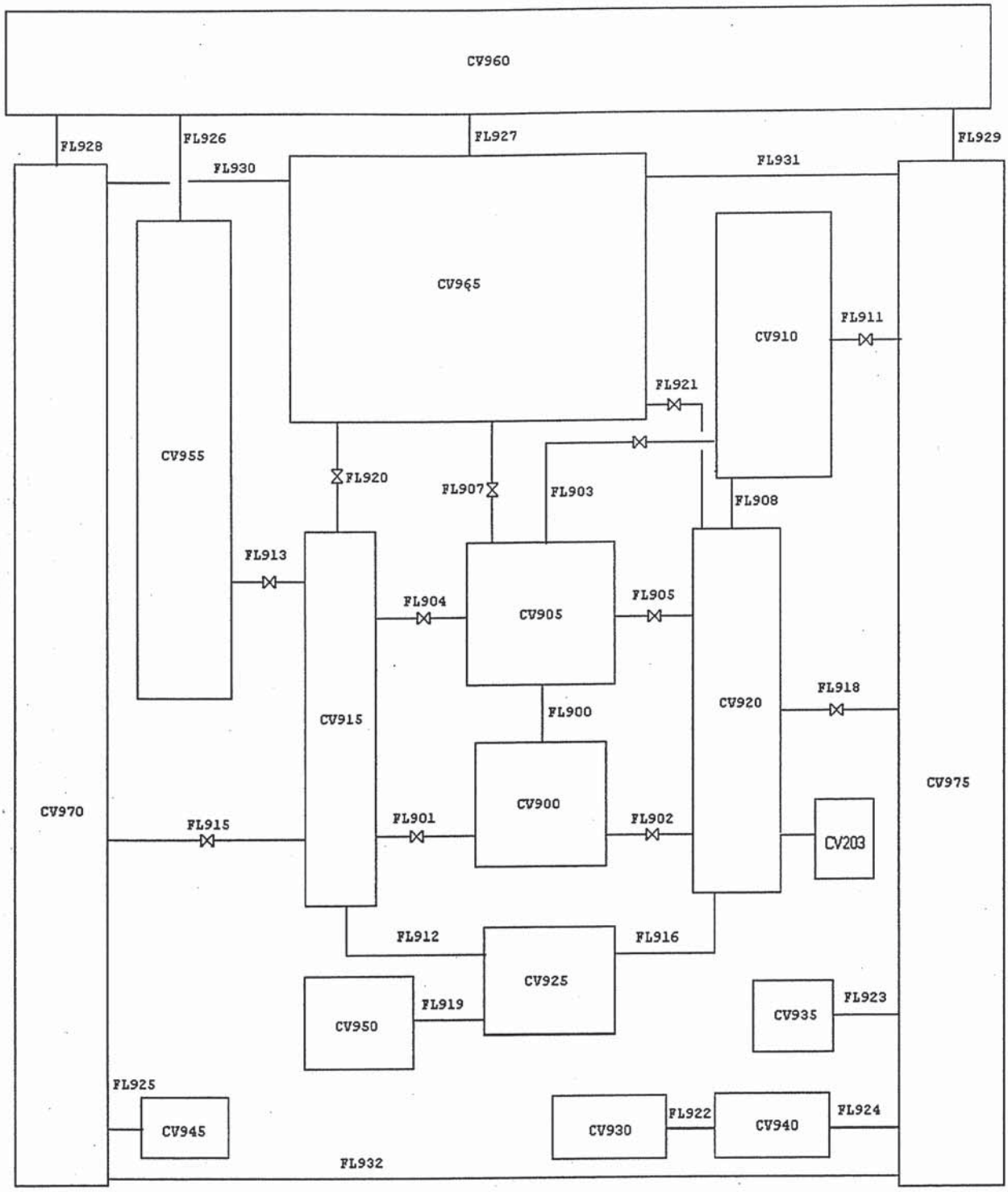


Figura 2. Sistema de contención.

2.4 *Descripción de la rotura*

Al romperse la rama fría se genera un caudal desde dicha rama (CV203) al Recinto del Generador de Vapor 2 en la contención (CV920). Ver Fig. 2 El área de la rotura considerada es de 175 cm2 dando origen a la creación de un nuevo flujo (FL203).

2.5 *Contención*

El modelo de la contención cuenta con dieciocho volúmenes. Trece de estos volúmenes están contenidos dentro del cilindro biológico. Cuatro pertenecen al interior de la esfera de acero y uno se encuentra entre la esfera de acero y el edificio exterior de la contención.

Los volúmenes hidráulicos del cilindro biológico, separados entre sí por paredes de hormigón, son: la fosa y recinto del reactor, el recinto para el mantenimiento de la máquina de recambio de los elementos combustibles, la pileta para los tubos de separación, el recinto del presurizador y tanque de alivio del presurizador, el recinto generador de vapor 1, el recinto generador de vapor 2, el pasillo entre los recintos generadores de vapor, el recinto para la esclusa de los elementos combustibles el recinto para los cables de medición, el cuarto contiguo para las instalaciones de transporte de los elementos combustibles, la caja de la escalera, el recinto de robinetería para el circuito del moderador, y el taller de reparación de la máquina de recambio de los elementos combustibles.

Separado por paredes de hormigón de los volúmenes del cilindro biológico se encuentra un gran espacio contenido por una esfera de acero de unos 50 metros de diámetro cuya pared tiene 24 mm. Este espacio para su mejor estudio se lo dividió en cuatro. Un casquete esférico que es el área sobre el cilindro biológico, y las otras tres son las rondas que para un mejor modelo se lo dividió en tres sectores separados entre sí por planos verticales coincidentes con los ángulos 0°, 120° y 240° tomados a partir del eje del reactor.

Existe una parte del cilindro biológico que se comunica con el resto de la contención dentro de la esfera por paneles fusibles que hemos supuesto que saltan a 80000 pa Ref. [4].

Los volúmenes en que se dividió el espacio contenido dentro de la esfera de acero están separados por dicha esfera de acero de un volumen contenido dentro de una cúpula de hormigón. Este volumen lo llamaremos recinto anular y espacio anular y esta separada por paredes de hormigón del medio ambiente.

También se ha modelado la fuga desde la esfera el volumen comprendido por la esfera de acero al recinto anular medida 0.0002. Lo que significa esta porción de volumen de fuga por día del contenido en la esfera de acero a la presión de diseño.

3 RESULTADOS

3.1 *Eventos de los sistemas primario, moderador y secundario.*

A los 0.0 segundos consideramos la rotura de la rama fría de la cañería del lazo 1, del circuito de refrigeración del reactor, en la porción de tubería que está a la salida de la bomba QF01 D01. La descarga instantánea alcanza los 1700 kg/s. Fig. 3.

Inmediatamente, la señal NZ50. Se produce la caída de las barras de control del reactor y la señal NZ61 Ver Fig. 4. Se produce el corte rápido de turbina. El bypass de turbina controla el aumento de presión.

Por efecto de la despresurización, se igualan la temperatura del agua en el plenum superior del reactor con su temperatura de saturación a los 2 s. de iniciado el accidente.

Debido a la despresurización del sistema primario, comienzan a funcionar todos los calefactores del presurizador a los 4 seg.

Señal NZ31 y señal NZ54. Se produce la aislación de la contención y la conmutación del moderador a los 9.1 s.

El nivel de líquido en el presurizador ha disminuido un metro y sigue bajando rápidamente a los 10 s. Ver Fig. 5

A los 15.8 segundos se produce una descompresión rápida del sistema primario. La presión en el presurizador alcanza los 10 MPa.

Luego de una disminución, el nivel del plenum superior del reactor se recupera, debido al aporte de agua desde el presurizador. Para después comenzar a disminuir rápidamente a los 20 s.

El caudal a través de la rotura ha descendido a 1000 kg/s y continua disminuyendo. Se han volcado hacia la contención casi 30000 kg de refrigerante a los 25 s.

A los 26 segundos se produce la señal NZ52. Se conmuta el circuito del moderador. Por hipótesis se postula el éxito del sistema de conmutación.

A los 30 segundos comienza la inyección de agua del sistema del moderador, en el sistema principal de refrigeración.

Comienza la ebullición del agua en el núcleoa los 40 s.

A los 70 segundos se genera un flujo bifásico por la rotura de la cañería, debido al descenso de nivel del líquido refrigerante. Esto produce fluctuaciones en el flujo de descarga.

A los 80 segundos se rompen los discos de ruptura del sistema TJ de alta, y comienza la inyección de agua al sistema primario. Comienza a disminuir el nivel de líquido en el tanque del moderador a razón de aproximadamente 1 m/min.

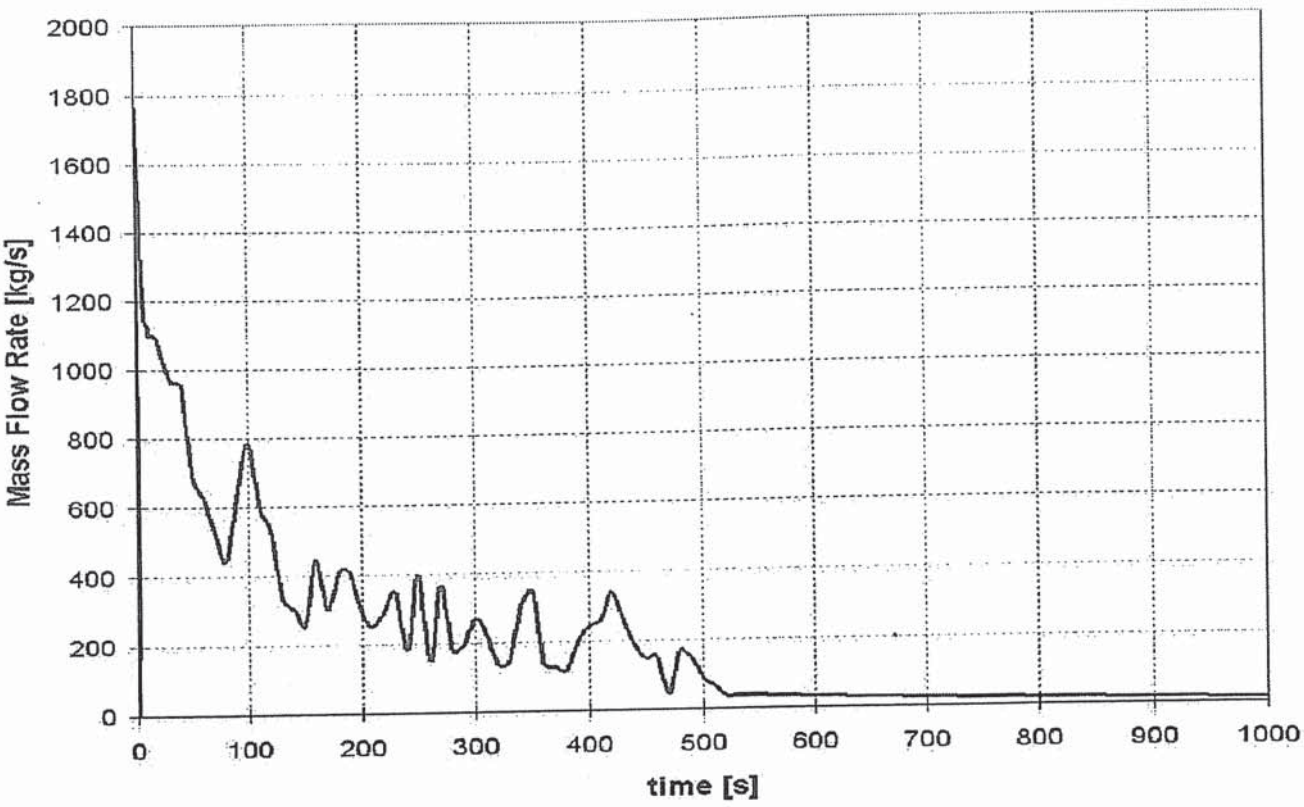


Figura 3. Caudal a través de la rotura de la cañería.

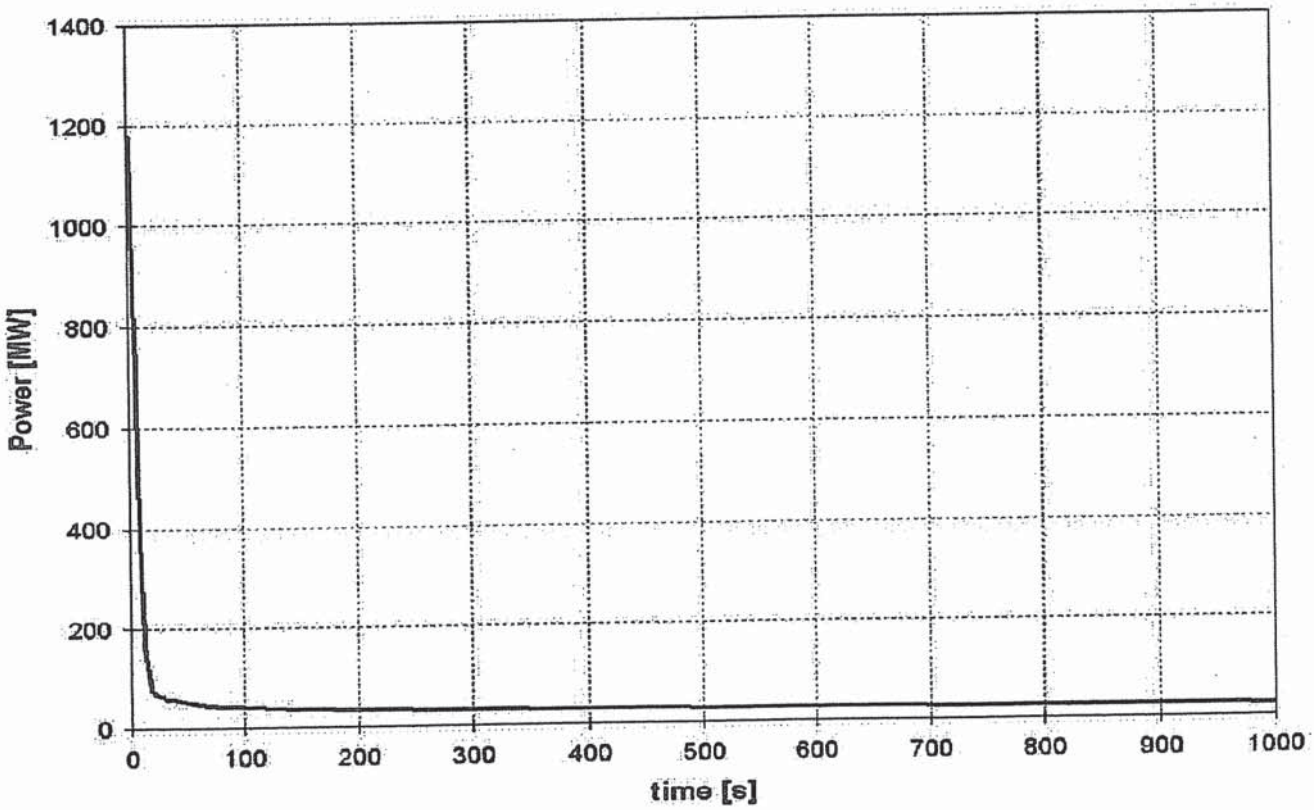


Figura 4. Potencia de decaimiento.

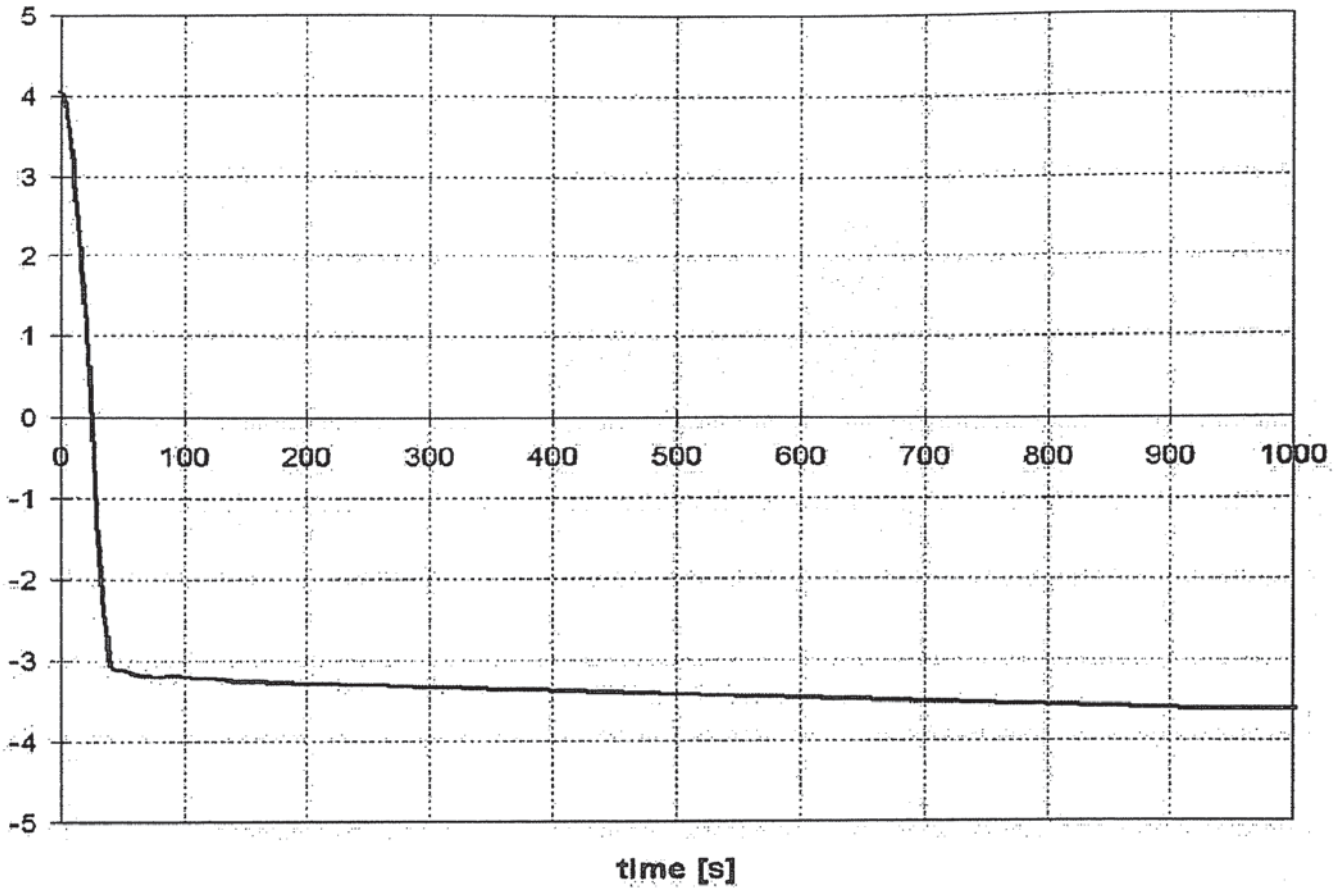


Figura 5. Nivel de liquido hinchado del presurizador.

A los 130 segundos la presión en el presurizador ha disminuido rápidamente a 2.24 MPa. La despresurización ha producido una disminución en la temperatura de los canales del núcleo hasta alcanzar los 217 °C.

A los 370 segundos la tasa de disminución de nivel en el tanque del moderador, se reduce rápidamente a alrededor de 3.5 cm/min.

A los 420 segundos la presión en el presurizador se ha mantenido por encima de los 2 MPa, debido al suministro de agua desde el circuito del moderador y del sistema TJ de Alta. El sistema TJ de Alta termina de inyectar agua al lazo 1 del sistema QH. Se inyectaron un poco más de 14 tn de refrigerante.

A los 510 segundos comienza el descubrimiento del núcleo del reactor.

A los 520 segundos termina el flujo bifásico a través de la rotura. Fluye únicamente vapor. El flujo se estabiliza y desciende lentamente. El aporte de líquido desde el circuito del moderador ha descendido a 16 kg/s. Se han inyectado casi 80 tn de agua desde este circuito.

A los 530 segundos comienza el calentamiento del cladding en el núcleo del reactor. El sistema TJ de Alta termina de inyectar agua al lazo 2 del sistema QH. Se inyectaron un poco más de 13.3 tn de refrigerante.

A los 580 segundos el cladding se calienta a razón de unos 55 °C/min. La presión en el presurizador ha descendido a 1.32 MPa.

A los 1110 segundos comienza la oxidación del cladding en el núcleo y la producción de hidrógeno.

A los 1240 segundos la temperatura del cladding en el anillo 14 alcanza los 1000 °C

A los 1490 segundos la temperatura del cladding en el anillo 14 alcanza los 1500 °C .

A los 1570 segundos hay una leve oxidación del acero en el núcleo.

A los 1640 segundos el hidrógeno producido en el núcleo alcanza los 20 kg.

A los 1750 segundos la masa de zirconio oxidado alcanza los 1000 kg.

A los 1970 segundos la masa de zirconio oxidado alcanza los 2000 kg.

A los 2060 segundos la temperatura del cladding en el anillo 14 alcanza los 2200 °C. El hidrógeno producido supera los 80 kg.

3.2 *Eventos de la Contención.*

A los 3 segundos saltan los paneles de la contención internos al cilindro biológico vinculando los recintos de los generadores de vapor 1 y del presurizador con el del recinto del reactor y el recinto para el mantenimiento de la máquina de recambio de los elementos combustibles.
A los 9. segundos saltan los paneles de la contención que vinculan el recinto del generador de vapor 1 con las rondas de la esfera de acero y el taller de reparación de la máquina de recambio de los EC(elementos combustibles). También saltan los paneles que vinculan el recinto del reactor con las rondas de la esfera.
A los 10.30 segundos se llena sumidero del recinto generador de vapor 1.
A los 30.0 segundos se llena sumidero del recinto generador de vapor 2.
A los 920. segundos se abren los tanques de inundación de los sumideros. TJ Baja.
A los 1280. segundos se vacían los tanques de inundación de los sumideros.
A los 2000 segundos, los niveles de los RGV alcanzan los –9.97 m en el RGV 1, -9.92 m en el pasillo que los une y –9.86 m en el RGV2. Tendiendo a estabilizarse en dichos valores.

4 CONCLUSIONES

Bajo las hipótesis consideradas en este trabajo se llega al descubrimiento del núcleo con degradación del mismo.
La contención juega un papel importante según lo que se previó. En la misma se produce el salto de los paneles fusibles vinculándose todos sus recintos. Se produce la inundación de los sumideros de los recintos de los generadores de vapor, que luego se estabilizan. Los valores de la presión en la contención se mantienen por debajo de la de diseño.

REFERENCIAS

[1] J. E. Núñez Mc Leod, E. González Videla & L. Pomier Báez, Modelo de simulación de la Central Nuclear Atucha I para la gestión de accidentes severos con el código Melchor 1.8.5, ENIDI , 2006.

[2] R. O. Gauntt, R. K. Cole, et al. MELCOR 1.8.5- "MELCOR Computer Code Manuals," NUREG/CR-6119, Revision 2, U.S. Nuclear Regulatory Commission, 2000.

[3] Accident Analysis for Nuclear Power Plants with Pressurized Water Reactors, Safety Reports Series N° 30. IAEA, 2003.

[4] 54- P. Herzovich. Relevamientos de chapetas fusibles de Edificios de Generadores de Vapor y Reactor. Parada no programada enero 1997.

ABSTRACT

The object of the present work is to evaluate the behavior of the plant in front of a hypothetical event of small break of 175 cm2 in the cold branch with total flaw of the system TJ of low pressure. This simulation of the Nuclear Power station Atucha I (CNA I) it includes the primary circuits, moderator, secondary and the contention. In this work the hypothetical results of the behavior of the different thermodynamic variables are detailed during the one it develops of the accident.

Key words: Atucha - MELCOR - nuclear - simulation - accident

Diseño y simulación de un sistema industrial con redes de petri coloreadas jerarquizadas

A. Pasero, M. Distefano & S. Pérez
apasero@ciudad.com.ar, mdistefa@frm.utn.edu.ar & santiagocp@frm.utn.edu.ar
Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional

RESUMEN: Para resolver problemas complejos que dan lugar a modelos muy grandes, se puede utilizar Redes de Petri Coloreadas Jerárquicas, que permite subdividir el modelo en redes pequeñas que facilitan la construcción y comprensión del funcionamiento del sistema. Utilizando las capacidades de las redes jerárquicas se desarrolla una aplicación en una celda de fabricación flexible robotizada donde se pone de manifiesto dichas ventajas. Se utiliza el simulador CPNTool que permite manejar estructuras jerárquicas y emular el sistema en forma dinámica.

Palabras clave: Redes – Petri – Coloreadas – Jerárquica – Celda

1 INTRODUCCION

1.1 *Redes y Sistemas Coloreados*

Las Redes y Sistemas Coloreados son una extensión de las Redes de Petri Ordinarias. Por medio de la introducción de inscripciones elaboradas asociadas con lugares, transiciones y arcos, permite escribir modelos compactos de sistemas complejos. Entre los varios formalismos de Redes de Petri de Alto Nivel (HLPN), las Redes de Petri Coloreadas (CPN), son un caso particular.

La nueva característica introducida por las CPN es la posibilidad de tener diferentes tipos de marcas. Esto justifica el adjetivo *coloreado*: la marca puede estar representada gráficamente como puntos de diferentes colores en lugar de ser todos puntos negros; realmente el color de la marca puede ser cualquier clase de información. Cada marca en las CPN puede tener información cuyo tipo depende sobre el lugar donde está ubicada, dado que la definición de un CPN debe incluir la especificación de un dominio de color para cada lugar, que es el tipo de datos asociados a las marcas en el lugar. Estado o marcado, en las CPN está representada por el multiconjunto de marcas coloreadas en cada lugar. En las CPN se condicionan los lugares, las transiciones y los arcos para seleccionar la evolución de determinadas marcas.

Una CPN no-jerárquica Ref. [1] se define formalmente como una tupla de la forma:

$$CPN = (\Sigma, P, T, A, N, C, G, E, I) \quad (1)$$

Donde:

- Σ es un conjunto finito de tipos no vacíos, también llamados conjuntos de colores.
- P es un conjunto finito de plazas.
- T es un conjunto finito de transiciones.
- A es un conjunto finito de arcos tal

$$P \cap T = P \cap A = T \cap A = \phi \quad (2)$$

- N es una función de nodo, definida como:

$$N : A \rightarrow (P \times T) \cup (T \times P) \quad (3)$$

- C es una función de color, definida como:

$$C : P \rightarrow \Sigma \quad (4)$$

- G es una función de guarda. Está definida en T para expresiones lógicas
- E es una función de expresión de arco.
- I es una función de iniciación

1.2 *Redes de Petri Coloreadas Jerárquicas*

Los problemas complejos que dan lugar a redes muy grandes, se pueden subdividir en subredes o módulos más simples que faciliten la construcción, la comprensión, la búsqueda de errores y la puesta a punto del sistema. La técnica utilizada es similar a la programación en lenguajes de alto nivel estructurados, en programa principal y subprogramas (subrutinas). Este concepto permite construir una gran red jerárquica por composición de un número pequeño de redes no-jerárquicas. Hay cinco diferentes alternativas para construir tales redes: sustitución de transiciones, sustitución de lugares, invocación de transiciones, fusión de transiciones y fusión de lugares.

La herramienta de simulación CPNTools Ref. [2], [3] dispone de dos formas de definir subredes: *Sustitución de Transiciones y Fusión de Lugares*. Se trata de una traslación entre redes diferentes, la jerárquica y la no-jerárquica. La sustitución de transiciones consiste de una transición especial en el diagrama jerárquico que permite acceder a un subdiagrama (submodelo). Las marcas de entrada de dicha transición son transferidas al subdiagrama y esta entrega los resultados o marcas de salida del submodelo al jerárquico.

La fusión de lugares consiste en utilizar lugares idénticos en diferentes diagramas de tal manera que la adición o remoción de marcas en un lugar se realiza idénticamente en todos los otros. Ese lugar es compartido por todos los subdiagramas.

1.3 *Definición Formal*

Una CPN jerárquica [Jensen] [1], [4] se define formalmente como una Tupla de la forma:

$$(\Sigma_s, P_s, T_s, A_s, N_s, C_s, G_s, E_s, I_s) \quad (5)$$

donde s es el conjunto de páginas.

$$HCPN = (S, SN, SA, PN, PT, PA, FS, FT, PP) \quad (6)$$

donde para cada página $s \in S$ es del tipo no-jerárquica.

$$\Sigma = \bigcup_{s \in S} \Sigma S \qquad P = \bigcup_{s \in S} PS \quad (7)$$

$$T = \bigcup_{s \in S} TS \qquad A = \bigcup_{s \in S} ASU$$

La definición formal de las CPN jerárquicas es una tupla:

$$HCPN = (S, SN, SA, PN, PT, PA, FS, FT, PP) \quad (6)$$

Donde:

- S es un número finito de páginas, tal que: cada página $s \in S$ es una CPN no-jerárquica Además el número de elementos de red son pares disjuntos.

$$SN \subseteq T \quad (8)$$

- Es el número de nodos de sustitución.
- SA es una función de asignación de página.

$$PN \subseteq P \quad (9)$$

Es número de puertos i/o.

- PT es la función de tipo de puerto, definido en PN (in, out, i/o, general).
- PA es la función de asignación de puertos, definido en SN.
- $FS \subseteq P_s$ (10)

Es un conjunto finito de sets de fusión tal que: miembros de un set de fusión tienen idéntico color y equivalentes expresiones de inicialización.

- FT es una función tipo fusión. Se define del set de fusión en (global, pagina, instancia) tal que: Pagina y fusión de instancia corresponde a una misma página:
- $PP \in S_{MS}$ (11)

Es un multiset de páginas principales.

Estas relaciones matemáticas y restricciones están contenidas en gran medida en el simulador de CPN Tools, por lo cual se puede proceder a realizar aplicaciones, sin necesidad de ahondar en la justificación matemática. En la práctica con el simulador, resulta sencillo aplicar los conceptos abstractos de las relaciones matemáticas definidas precedentemente.

2. APLICACIONES DE REDES DE PETRI COLOREADAS JERÁRQUICAS

2.1 *Celda Flexible de Maquinado*

Está demostrada la eficiencia de las Redes de Petri Ordinarias para simular procesos industriales de fabricación [5].
Para procesos muy complejos se debe recurrir necesariamente a las CPN Jerárquicas.
El sistema a analizar se compone de cuatro máquinas que realizan la misma operación, cada una dispone de un pallet giratorio con dos posiciones, interna (A) del lado de la máquina y externa (B) del lado del robot. El ingreso de materia prima y la salida de piezas terminadas se realiza mediante una cinta giratoria.
Un robot tiene un movimiento giratorio para situarse frente a cada máquina y un movimiento axial para la carga y descarga de piezas en el respectivo pallet. Atiende a las máquinas en forma secuencial: máquina 1, máquina 2, máquina 3 y máquina 4, y se repite la secuencia indefinidamente. En esta aplicación no incluyen los automatismos de la cinta giratoria ni de la entrada y salida de piezas.
El sistema requiere de la asistencia de un operario para realizar tareas de mantenimiento o reparaciones en caso de averías. Para el proceso de mantenimiento el sistema dispone de una parada cada cierta cantidad de piezas maquinadas, cuya duración es de un ciclo del robot.
En caso de avería la máquina se detiene automáticamente, el operario prolonga manualmente la parada hasta completar la reparación.
Un esquema de la celda se indica en la Fig. 1.
El problema a solucionar consiste en desarrollar el automatismo de la celda y su correspondiente simulación dinámica. El modelo se realiza bajo el concepto de una estructura jerárquica.

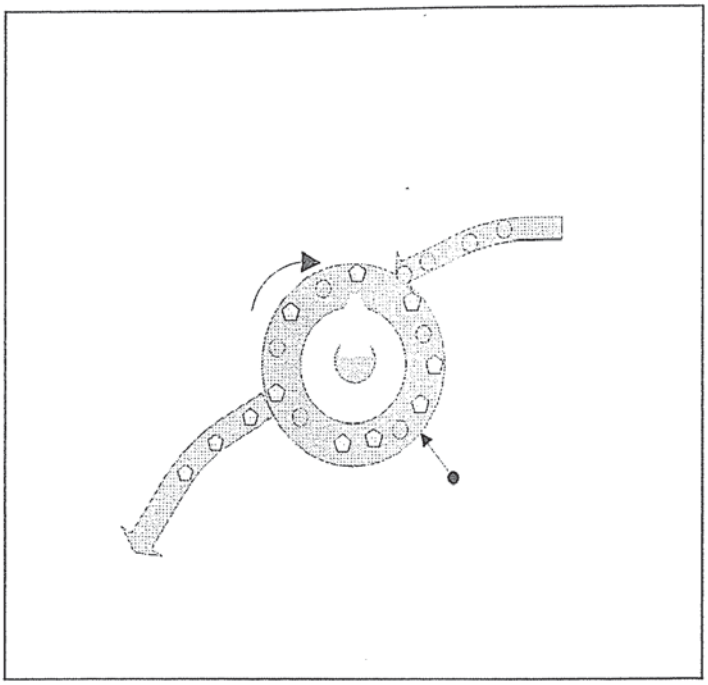


Figura 1. Celda Flexible de Maquinado.

2.2 *Diagrama Jerárquico del Sistema*

El diagrama jerárquico del sistema contiene lugares y transiciones; donde estas últimas representan submodelos independientes que se vinculan bajo el concepto de "sustitución de transiciones".
En este diagrama existen cuatro máquinas representadas por maquina 1, 2, 3 y 4. Las transiciones herramienta 1, 2, 3 y 4 tienen asociados cuatro submodelos.
Los estados A, B,...J, indican la secuencia de operación de las máquinas, ver Fig. 2.
El submodelo herramienta i determina si existe tarea de mantenimiento o reparación por avería de la correspondiente máquina i.
El submodelo máquina i representa la rotación del pallet, el maquinado de la pieza y la carga y descarga del robot. El diagrama inicia la secuencia en el estado A con una marca que indica el nº de máquina 1. La marca habilita el submodelo herramienta 1, en caso que la marca entre al estado B, indica que la máquina 1 está en línea. Caso contrario la marca se incrementa en 1 para pasar al estado C, con lo cual indica que la maquina 1 está fuera de servicio, ingresando a herramienta 2. Para las otras máquinas corresponde el mismo razonamiento. La transición Retorno dispara el comienzo una nueva secuencia.

2.3 *Submodelo herramienta 1*

El submodelo comienza con el estado A (In) y finaliza en los estados B (Out) o C (Out), según sea operación normal o en su defecto se trate de tarea de mantenimiento o reparación.
En la transición Acceso la marca deriva a los estados A1 y B1. B1 y C1 son contadores que indican la cantidad de ciclos que trabajará la máquina que se ha fijado en seis, para suspender la máquina automáticamente para tareas de mantenimiento; cuando C1 no tenga marca se bloquea la salida normal B. Cuando B1 alcance seis marcas pasa a cero marcas y se habilitará la máquina siguiente a través de la salida C a través de la transición mantenimiento; el tiempo de duración de esta parada es el tiempo que dura un ciclo completo de secuencia. La transición mantenimiento habilita al estado operario con una marca, que en conjunto con la próxima marca que llegue a A1 permite inicializar el contador C1 con 5 marcas. Ver Fig. 3.En cuanto a la suspensión por avería se trata en el estado Oper 1 que se encuentra en el submodelo máquina 1 que se fusiona a través del estado Oper 1 de "herramienta 1" (Fusión 1), una marca en este estado con A1 y B1 marcados habilita la transición parar 1 enviando una marca a C para pasar a la "herramienta 2". Si la reparación de maquina 1 dura más de un ciclo se puede detener temporalmente por una operación manual a cargo del operario a través Oper Manual enviando una marca a C. Todas los submodelos "herramienta i" funcionan de la misma manera.
No se han incluido los submodelos Herramientas 2, 3 y 4 por razones de espacio, pero son similares a Herramienta 1.

2.4 *Submodelo máquina 1*

El submodelo comienza con el estado B (In) y finaliza en el estado C (Out). El diagrama se compone de dos partes: una corresponde al pallet del lado de la máquina (izquierda del diagrama), donde contempla el maquinado de la pieza y la detección de problemas de funcionamiento. La otra parte (derecha del diagrama) corresponde a la operación del robot de descarga y carga de piezas. Ambas partes están vinculadas a la transición Pallet 1 que indica la rotación del pallet. Ver Fig. 4.
Cuando hay marca en B y también en A1 y B1 se realiza la rotación del pallet, produciéndose el cambio de marcas, la marca de A1 pasa a A3 y la de B1 pasa a B2. Del estado B2 pasa al estado A2 a través de la operación de maquinado 1 cambiando la marca de (1, B) a (1, A), donde hay un tiempo de maquinación representado por @+20. La marca retorna a A1 a través de la transición hay que parar Maquina i. Por otro lado con el objeto de simular un desperfecto de la máquina se ha incluido en el arco una función CAMBIAR () que permite en forma aleatoria habilitar C1, que a través de *Parar* "Máquina" pasa al estado de "Fusión 1" (estado Oper 1) que tiene su réplica en el submodelo "Herramienta 1", donde en el próximo ciclo la máquina permanecerá parada el tiempo necesario para su reparación.
Cuando hay marca en A3 la marca del robot debe estar en R2 para poder habilitar transición "abrir bridas descarga y carga de piezas cerrar bridas", donde se han sintetizado cuatro operaciones distintas con el objeto de simplificar el diagrama. En la transición "Robot" no se ha incluido un retardo. Una vez terminada esa operación retorna la marca (1, B) a B1 y además retorna al diagrama principal a través de C una marca "i" indicando numéricamente la próxima maquina a atender por el robot.
La ausencia de marca en A1 puede interpretarse que la máquina no está disponible y consecuentemente el robot estaría detenido innecesariamente hasta que la maquina se encuentre disponible; esto puede salvarse sacando la marca de B directamente a través de C sin rotar el pallet, cosa que en el diagrama no está contemplado.
No se han incluido los submodelos Maquinas 2, 3 y 4 no se han incluido por razones de espacio, pero son similares a máquina1.

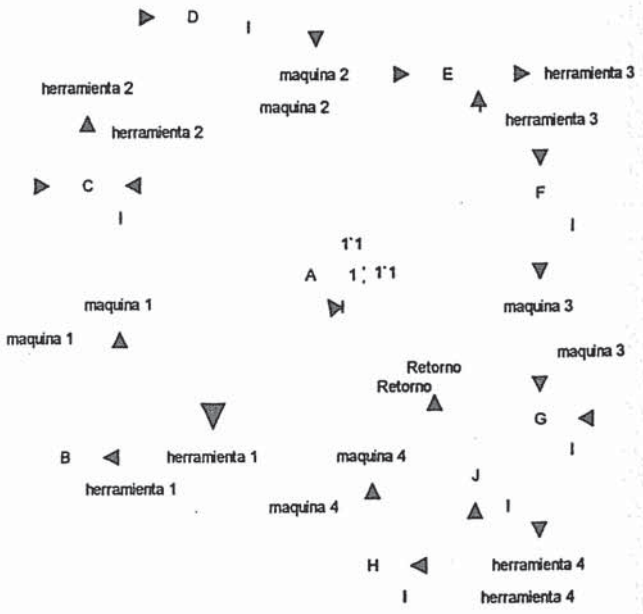


Figura 2. Diagrama Jerárquico del Sistema.

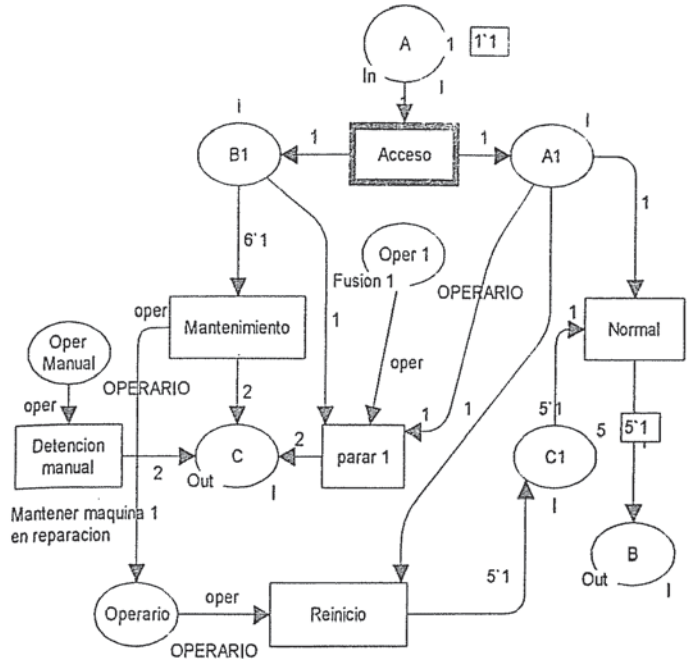


Figura 3. Herramienta 1.

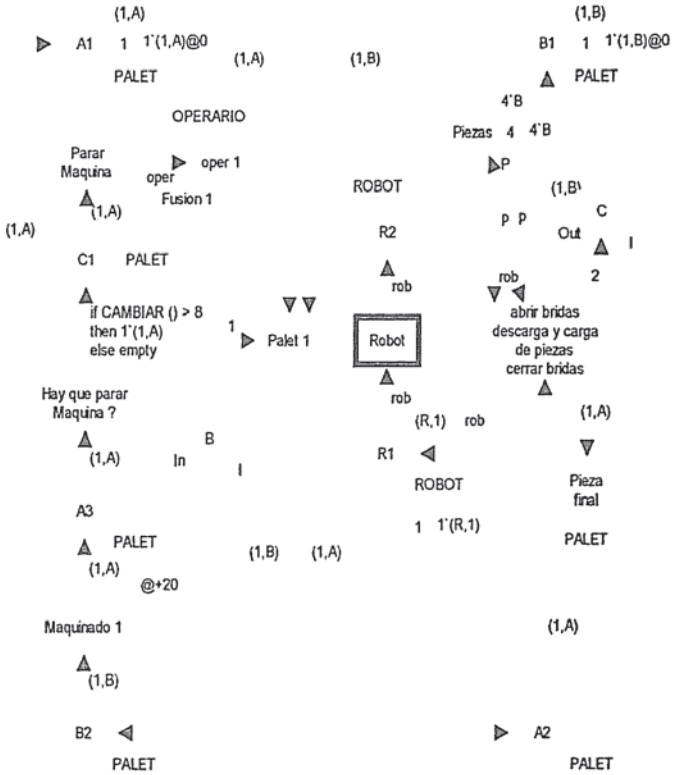


Figura 4. Máquina 1.

3 HERRAMIENTA CPNTools

CPNtools es una herramienta que sirve para editar, simular y analizar no temporizadas, temporizadas, jerárquicas Redes de Petri Coloreadas.

Esta herramienta es el resultado de un proyecto de investigación el proyecto CPN2000 de la Universidad de Aarhus, patrocinado por el Danish National Centre for IT Research (CIT), George Mason University, Hewlett-Packard, Nokia, y Microsoft.

La meta del proyecto fue tomar ventaja de los desarrollos de la interacción entre la computadora y el hombre.

CPNTools combina potentes funcionalidades con una flexible interface de usuario, conteniendo perfeccionadas técnicas de interacción, tan bien como diferentes tipos de realimentación gráfica lo cual mantiene al usuario informado del estado de control de la sintaxis, simulación, etc.

La interface requiere un teclado y al menos un dispositivo puntero, la actual interface soporta dos o más dispositivos punteros; un mouse mano derecha y un TrackBall mano izquierda.

La izquierda de la ventana no contiene barras de menú ni menú desplegables, Fig. 5, dispone de un índice que contiene una caja de herramientas, ayuda, opciones y el nombre del programa que en nuestro caso es máquina.cpn. Dentro de la ventana existe una carpeta (binder); en la carpeta existen varias hojas, la principal es el diagrama jerárquico (top) de nuestro sistema; las otras hojas están referenciadas en solapas en la parte superior de la carpeta, representando todos los subdiagramas del sistema máquina. Deslizando con la punta del ratón, manteniendo la tecla izquierda apretada lo deslizamos de la caja de herramientas hacia la ventana, las cajas create, sim y her; que son los objetos para crear los lugares: transiciones y arcos. La caja Sim permite simular, paso a paso, o 50 pasos en forma inmediata o en forma dinámica. La caja Her permite manejar las jerarquías (sustitución de transiciones y fusión de lugares). En la parte de los índices, debajo del nombre del programa, se colocan a medida que dibujan los gráficos, las declaraciones de los diferentes colores, las variables usadas, las constantes y las diversas funciones que pertenecen al lenguaje del CPNML, que permite realizar el programa.

CPNTools admite dos clases de análisis: simulación y análisis por espacio de estados; usando la herramienta de simulación o la herramienta de espacio de estado. También contiene facilidades para la generación y análisis completo y parcial de los espacios de estado.

CPNTools combina avanzadas técnicas de interacción dentro de una interface consistente para editar, simular y analizar Redes de Petri Coloreadas.

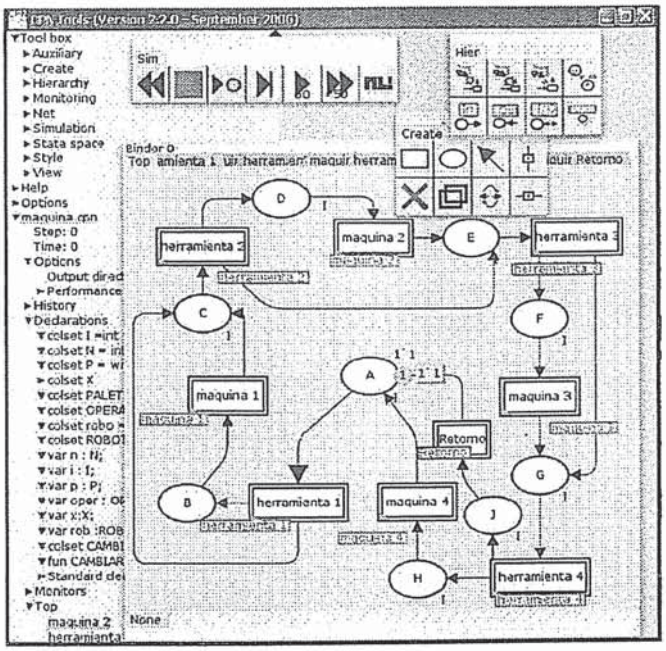


Figura 5. Ventana Herramienta CPNTools.

4 CONCLUSIONES

Las Redes de Petri Coloreadas resultaron una importante estrategia de modelado para el estudio y diseño de sistemas que representan procesos industriales.

A partir de estos modelos se puede realizar la evaluación cuantitativa del comportamiento, rendimiento del sistema y costos de operación de cada máquina. Ya sea incorporando subredes de evaluación o a través de los diagramas de estado, lo que no se ha realizado en este trabajo. Se comprueba que utilizando los recursos de fusión de lugares y sustitución de transiciones se dispone de una importante facilidad para subdividir redes complejas. Las dificultades que se encontraron en el modelado de la celda con la utilización de redes coloreadas no-jerárquicas, desaparecen con esta técnica.

Con ligeras modificaciones a estos modelos se pueden incorporar subredes con diferentes estrategias del robot para hacer más eficientes los tiempos de espera de las máquinas.

En la aplicación desarrollada se puede reducir los cuatro diagramas de máquinas y herramientas a un solo diagrama de cada clase modificando el diagrama jerárquico. No se hizo a los fines de detallar el estado de cada máquina en un instante determinado a los fines de un análisis detallado.

La herramienta CPN Tools presenta una gran flexibilidad para modelar sistemas industriales y además permitir simular los modelos en distintas situaciones.

REFERENCIAS

[1] K. Jensen, Coloured Petri Nets. Basic Concepts, Analysis Methods and Practical Use, Vol. 1: Basic Concepts, Ed: Springer-Verlag, 1992.

[2] M. Beaudouin-Lafon, W. E. Mackay, P. Andersen, P. Janecek, M. Jensen, M. Lassen, K. Lund, K. Mortensen, S. Munck, A. Ratzer, K. Ravn, S. Christensen and K. Jensen. CPN/Tools: A Post-WIMP Interface for Editing and Simulating Coloured Petri Nets, Department of Computer Science University of Aarhus IT-Parken, Aabogade 34, 8200 Aarhus N – Denmark. E-mail: cpn2000@daimi.au.dk

[3] CPNTools http://www.daimi.au.dk/CPNTools/

[4] K. Jensen, Coloured Petri Nets. Basic Concepts, Analysis Methods and Practical Use. Vol. 2: Analysis Methods, Ed. Springer-Verlag, 1994.

[5] J. M. Proth Les Reseaux de Petri pour la Conception et la Gestion de Production. Paris, Masson, 1995.

ABSTRACT

In order to resolve complex problems that make feel room to very large models, hierarchic Coloured Petri Nets, can utilize himself that it permits subdividing the model in little nets that they make the construction and understanding of functioning of system easy. Utilizing the capabilities of the hierarchic nets the robotized where said perks are brought forth develops an application at a cell of flexible manufacture itself. The simulative CPNTool that he permits utilizes driving hierarchic structures itself and to emulate the system in dynamic form.

Key Words: Nets – Petri – Coloured – Hierarchical– Cell

Formulación mixta, una alternativa para modelar vigas dentro de un amplio rango de relación canto/luz

E. J. Vega, M. Dávila, C. J. Leiva.
edusvega@hotmail.com, matiasfdavila@hotmail.com, cuetecjl@gmail.com
Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo.

D. López, E. Villafañe
dlopez@patagoniatechnology.com, evillafa@uncu.edu.ar
Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo
Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional.

RESUMEN: Se discute sobre la conveniencia de la formulación de elementos finitos de barra siguiendo la teoría de Euler-Bernoulli y la teoría de Timoshenko para el problema de las vigas sometidas a flexión y corte con diferente esbeltez (relación canto/luz). Se introduce el concepto de "formulación mixta" de elementos finitos con el fin de evaluar su campo de aplicación. Se compara la conveniencia de estas tres formulaciones para distintas relaciones canto/luz.

Palabras clave: Elementos Finitos – Formulación Mixta – Deformación en Vigas – Modelación

1 INTRODUCCIÓN

1.1 *Aspectos generales*

En el análisis de la respuesta lineal estática y cinemática de vigas, las teorías de Euler-Bernoulli y de Timoshenko aplicadas a la formulación de elementos finitos de barra, son adecuadas para un cierto rango de esbeltez de las mismas (relación canto/luz). Se recomienda la aplicación de la teoría de Bernoulli cuando la esbeltez es menor o igual a 1/10, mientras que la teoría de Timoshenko es aplicable cuando la esbeltez es mayor o igual a 1/5.
La formulación de elementos finitos basada en la utilización de desplazamientos como variables de estado, es la más utilizada en el ámbito de la ingeniería estructural. Sin embargo existen otras que también pueden ser empleadas con éxito.
Una alternativa, es la "formulación mixta" de elementos finitos [1], que utiliza tanto desplazamientos como deformaciones o tensiones como variables incógnitas, resultando elementos cuyas propiedades merecen la atención del investigador.

1.2 *Presentación del problema a tratar*

En lo sucesivo se analiza una viga simplemente apoyada a la cual se le varía la esbeltez, manteniendo constante tanto las propiedades del material, como las condiciones de contorno.
Se tomará como parámetro de referencia, para las futuras comparaciones, la flecha en el centro de la viga para cada esbeltez. (Ver Fig. 1)

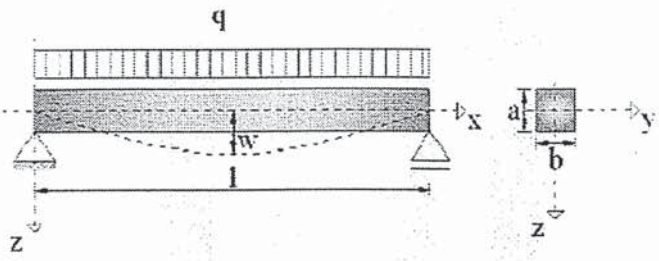


Figura 1. Viga simplemente apoyada.

2 DESARROLLO DEL TEMA

2.1 *Teoría clásica de vigas*

La resistencia de materiales [3] [4] permite calcular la flecha en el centro de la viga sumando la contribución flexional, en la hipótesis de una distribución de tensiones normales lineal en la altura, a la contribución del cortante, con una variación de tensiones tangenciales parabólica mediante las siguientes ecuaciones:

$$w_M = \frac{5}{384} \times \frac{q.l^4}{E.I} \qquad (1)$$

$$w_V = \frac{\chi.q.l^2}{8.G.A} \qquad (2)$$

$$w_T = w_M + w_V \qquad (3)$$

Donde:
w = flecha en el centro de la viga,
q = valor de la carga uniformemente distribuida,
l = luz de la viga,
E = módulo de Young,
χ = factor de distorsión transversal,
G = módulo de elasticidad tangencial,
A = área de la sección transversal.
w_M = flecha en el centro de la viga por flexión,
w_V = flecha en el centro de la viga por corte,
w_T = flecha en el centro de la viga total,

Adoptando los siguientes parámetros:
$E = 2.00e^8$; $G = 7.69e^7$; $q = 100$; $\chi = 1.20$; $l = 1.00$ esbeltez = a/l; b = 0.30.

Se calculan las flechas en el centro de la viga, aplicando las (1), (2) y (3), manteniendo fijo $l = 1.00$ y variando a (Ver Fig. 2 y Fig.3).
En la Fig. 2 se grafican los valores calculados, representando en ordenadas los valores de las flechas (utilizando escala logarítmica), y esbeltez en abscisas.

En la Fig. 3, puede apreciarse la contribución porcentual de w_M y w_V a w_T.

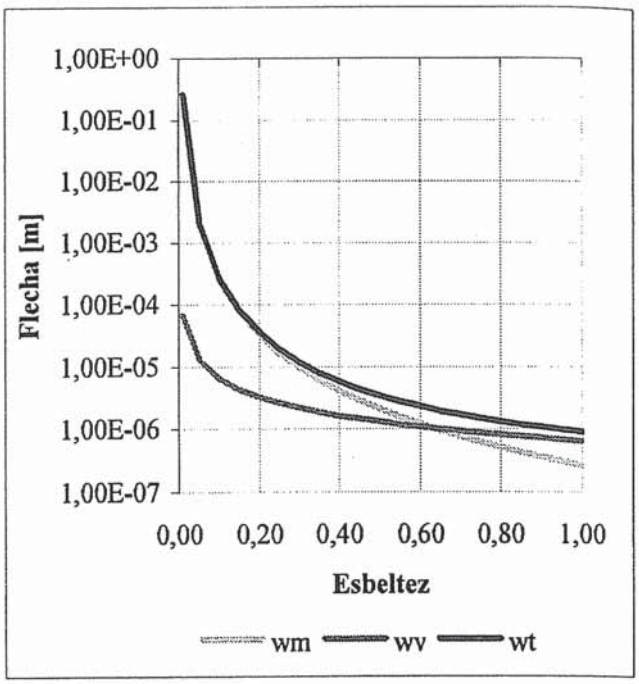


Figura 2. Flecha (escala logarítmica) vs. Esbeltez.

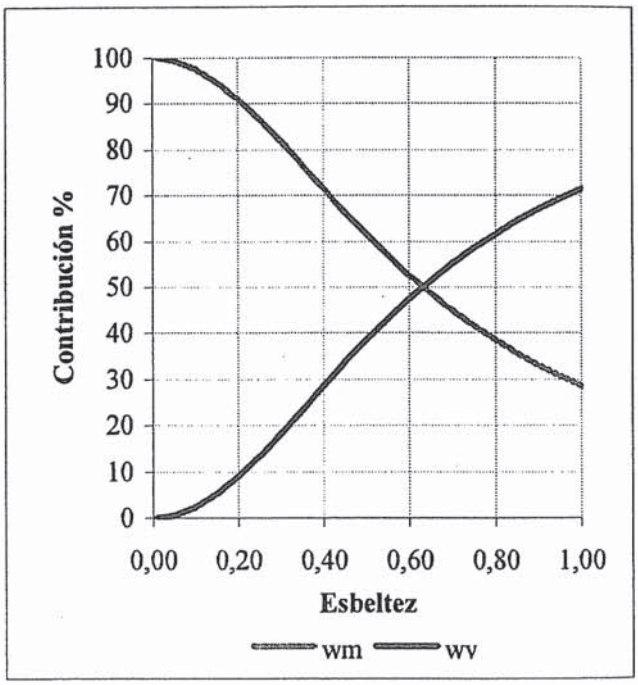


Figura 3. Contribución porcentual vs. Esbeltez.

2.2 *Elemento finito de barra basado en la teoría de Euler-Bernoulli*

La teoría clásica de vigas, se basa en las 3 hipótesis siguientes [2] [5]:

1. Los desplazamientos verticales de una sección son pequeños e iguales a los del eje de la viga.

potencial total. Estos principios variacionales tienen como variables básicas no solo desplazamientos, sino también deformaciones y tensiones. Este tipo de formulación es conocida como *"Formulación Mixta de Elementos Finitos"* [1].

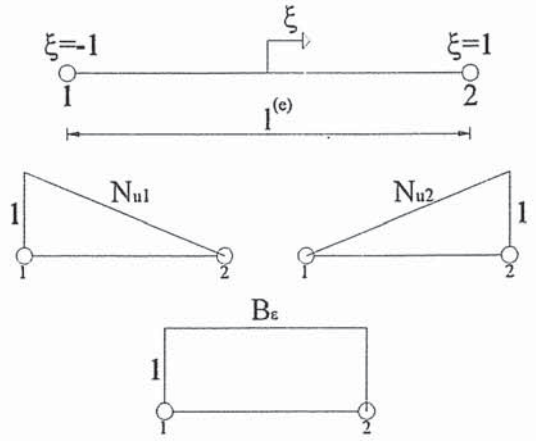
2.4.1 *Aplicación de la forma mixta u-ε:*

A partir de estos conceptos, en [1] se formula un elemento finito de dos nodos, asumiendo una variación lineal para el campo de desplazamientos u (rotación y flecha), y una variación constante para la deformación de corte γ. De esta forma las funciones de forma que se obtienen son (ver Fig. 6)

Para u(w,θ), $N_{u1} = \frac{1}{2}(1-\xi)$; $N_{u2} = \frac{1}{2}(1+\xi)$

Para ε, $B_\varepsilon = 1$

$$\xi = \frac{2}{l^{(e)}}(x - x_m) \quad \text{y} \quad x_m = \frac{x_1 + x_2}{2}$$



Nu1- Nu2 = polinomio interpolador de desplazamientos
Bz = función de deformación

Figura 6. Funciones de Forma (Formulación Mixta).

La matriz de rigidez que se obtiene es la siguiente:

$$K^{(e)} = \begin{bmatrix} \frac{G.A^*}{l^{(e)}} & \frac{G.A^*}{2} & -\frac{G.A^*}{l^{(e)}} & \frac{G.A^*}{2} \\ .. & \left(\frac{G.A^*}{4}l^{(e)} + \frac{E.I}{l^{(e)}}\right) & -\frac{G.A^*}{2} & \left(\frac{G.A^*}{4}l^{(e)} - \frac{E.I}{l^{(e)}}\right) \\ .. & .. & \frac{G.A^*}{l^{(e)}} & -\frac{G.A^*}{2} \\ sim. & .. & .. & \left(\frac{G.A^*}{4}l^{(e)} + \frac{E.I}{l^{(e)}}\right) \end{bmatrix} \quad (6)$$

Es notable la escasa diferencia que presenta esta matriz al compararla con la matriz de Timoshenko (observar términos entre paréntesis en las (5) y (6), sin embargo, los elementos que se formulan con Timoshenko tienen un comportamiento que es gradualmente más rígido a medida que la barra se vuelve más esbelta.

2.5 *Comparación de las tres formulaciones*

Con las formulaciones presentadas, se modela la viga simplemente apoyada con cuatro elementos finitos (ver Fig. 7), calculando las flechas indicadas en la sección 2.1. (Ver Fig. 8 y Fig. 9).

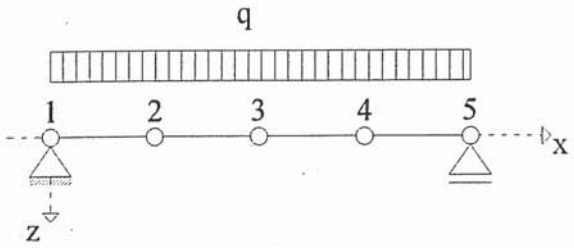


Figura 7. Modelo de 4 elementos de barra.

En la Fig. 8 se representa los resultados obtenidos para las tres teorías, se grafica en ordenadas los valores de las flechas en metros (utilizando escala logarítmica), y en las abscisas la esbeltez. Puede observarse que para una esbeltez pequeña la formulación Mixta coincide prácticamente con la formulación Euler-Bernoulli, mientras que para una esbeltez alta los resultados de la formulación Mixta coinciden prácticamente con la formulación de Timoshenko.

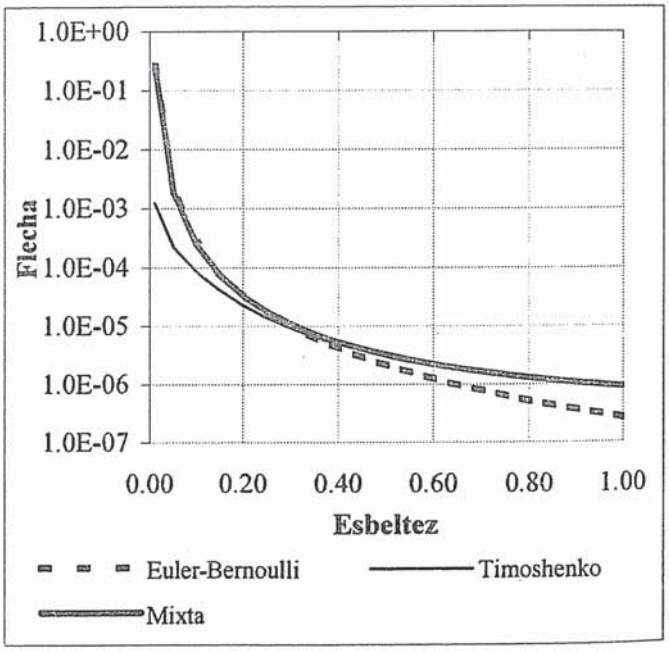


Figura 8. Flecha (escala log.) vs. Esbeltez.

Para poder apreciar mejor cual es el grado de aproximación de cada teoría se calculó el error porcentual que se comete con respecto a los valores obtenidos con (1), (2) y (3), comparando el valor de las flechas calculadas con las tres formulaciones con los resultados obtenidos de la (3). Ver Fig. 9.

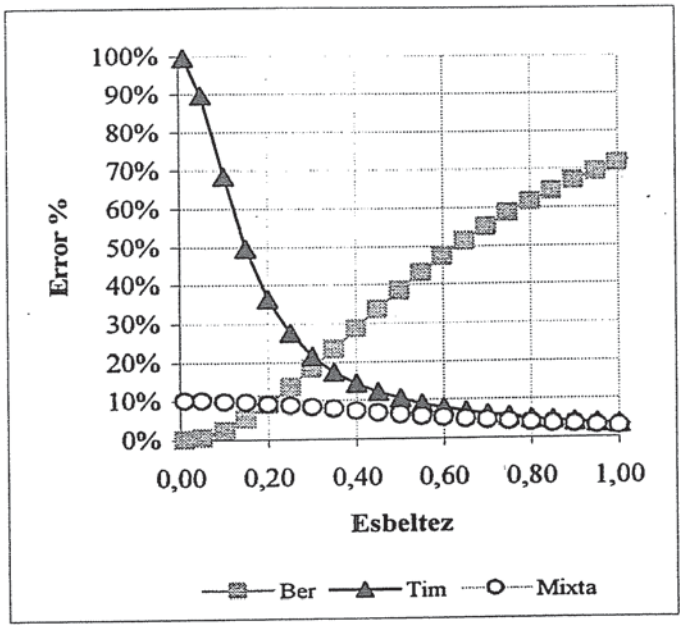


Figura 9. Error porcentual flecha calculada con las tres formulaciones.

3 ESTUDIO DE CONVERGENCIA

Se realizó el modelo ilustrado en la Fig. 7, con 4, 6, 8 y 16 elementos.
En las Tablas 1 y Tabla 2, se presentan los errores porcentuales de las flechas calculadas con respecto a las obtenidas con (1), (2) y (3).

Tabla 1. Error porcentual de la flecha (Formulación Timoshenko).

Esbeltez	T 4	T 6	T 8	T 16
1,00	3,4%	1,5%	0,9%	0,2%
0,90	4,0%	1,8%	1,0%	0,3%
0,80	4,9%	2,2%	1,3%	0,3%
0,70	6,1%	2,8%	1,6%	0,4%
0,60	7,8%	3,6%	2,0%	0,5%
0,50	10,3%	4,8%	2,7%	0,7%
0,40	14,4%	6,8%	3,9%	1,0%
0,30	21,7%	10,7%	6,3%	1,6%
0,20	36,6%	20,0%	12,2%	3,3%
0,10	68,7%	48,5%	34,4%	11,5%

Donde: T4, T6, T8 y T16, son los resultados correspondientes a los modelos de viga con 4, 6, 8 y 16 elementos finitos.

Tabla 2. Error porcentual de la flecha (Formulación Mixta).

Esbeltez	M 4	M 6	M 8	M 16
1,00	2,9%	1,3%	0,7%	0,2%
0,90	3,3%	1,5%	0,8%	0,2%
0,80	3,9%	1,7%	1,0%	0,2%
0,70	4,5%	2,0%	1,1%	0,3%
0,60	5,3%	2,3%	1,3%	0,3%
0,50	6,2%	2,7%	1,5%	0,4%
0,40	7,2%	3,2%	1,8%	0,4%
0,30	8,2%	3,6%	2,1%	0,5%
0,20	9,1%	4,1%	2,3%	0,6%
0,10	9,8%	4,4%	2,5%	0,6%

Donde: M4, M6, M8 y M16, son los resultados correspondientes a los modelos de viga con 4, 6, 8 y 16 elementos finitos.

4 ELEMENTOS FINITOS DE MEMBRANA.

Con el fin de dar mayor peso a la validez de los resultados obtenidos con la formulación mixta, se realizaron distintos modelos con elementos finitos en condición de estado plano de tensiones (comportamiento membranal), utilizando para ello el programa SAP2000 [6].

Los modelos analizados son los siguientes:

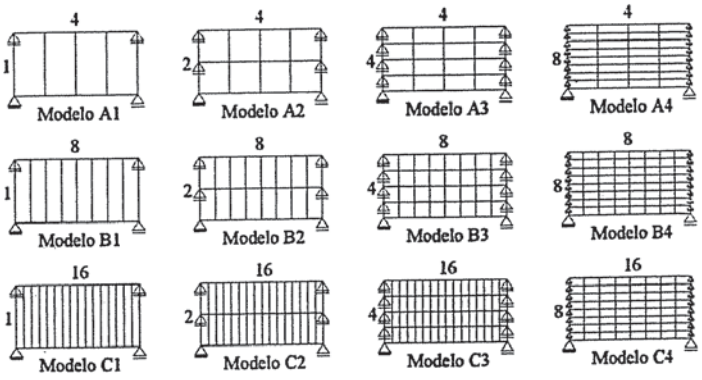


Figura 10. Modelos de viga con elementos finitos membranales.

Otra vez, se hizo variar la esbeltez de dicha viga y se compararon los valores obtenidos con los de la sección 2.1. Los errores obtenidos con los modelos de la Fig. 10 presentan diferencias importantes.

En la referencia [7] se sugiere que para lograr un mejor resultado con secciones rectangulares, el factor de corte χ debe ser:

$$\chi = \frac{3}{4} \cdot \frac{(1.6+\nu)}{(1+\nu)} \tag{10}$$

donde, ν es el coeficiente de Poisson.
Con $\nu = 0.3$, de (10) se obtiene $\chi = 1.09$. Utilizando este valor para el factor de corte, se recalcularon los valores de la flecha según la sección 2.1 y 2.5.
A continuación se presentan los resultados obtenidos como porcentaje de los valores recalculados de la sección 2.1. Ver Fig. 11.

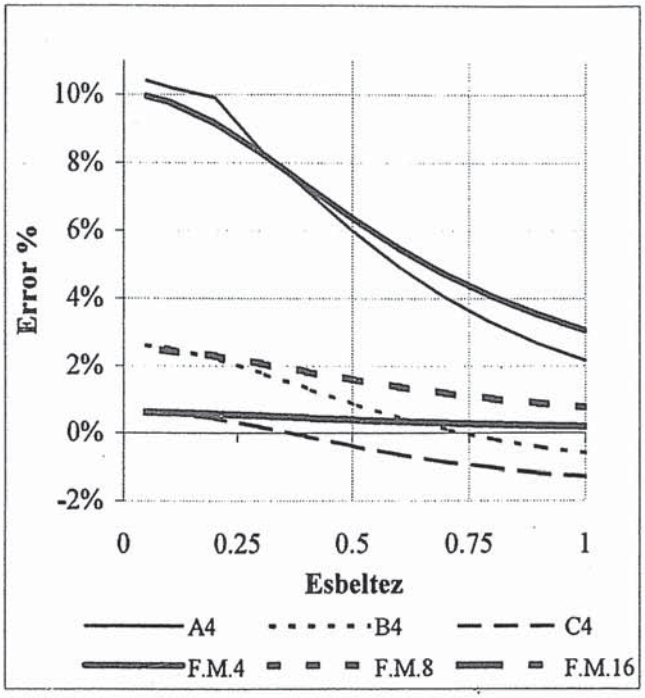


Figura 11. Error porcentual de la flecha (Formulación mixta – Elementos finitos membranales).

En la Fig. 11 solo se presentan los resultados de los modelos A4, B4 y C4, por ser los más relevantes junto con los obtenidos con la formulación mixta.

4.1 *Análisis de resultados*

Es importante notar como a partir de la Formulación Mixta de elementos de barra (sección 2.4) se puede aproximar con mayor precisión los valores de la flecha en el centro de la viga para todo el rango de esbeltez considerado.

Recordemos que en la formulación mixta se supone, para una sección transversal, una variación de las tensiones normales lineal y una variación constante para las tensiones de corte, mientras que, en la viga esto no es lo que sucede exactamente. Si bien para bajas relaciones de esbeltez la variación de las tensiones normales es lineal y la de las tensiones de corte parabólicas, éstas distribuciones de tensiones no se mantienen para esbelteces mayores.

A continuación se presentan las variaciones de las tensiones normales y las tensiones de corte para una sección que se encuentra a una distancia del apoyo izquierdo de 1/4 de l y para tres valores de esbeltez. Ver Fig. 12 y Fig. 13. Las distancia desde el eje neutro a la fibra de interés, se normalizaron a (-1;1) mientras que las tensiones se normalizaron con los valores obtenidos siguiendo la resistencia de materiales [4], o sea:

$$\sigma = \frac{M}{I} . y \tag{11}$$

$$\tau = \frac{Q.A.\bar{y}}{b.I} \tag{12}$$

La (11) se utilizó para normalizar las abscisas de la Fig. 12, mientras que la (12) se utilizó para normalizar las abscisas de la Fig. 13.

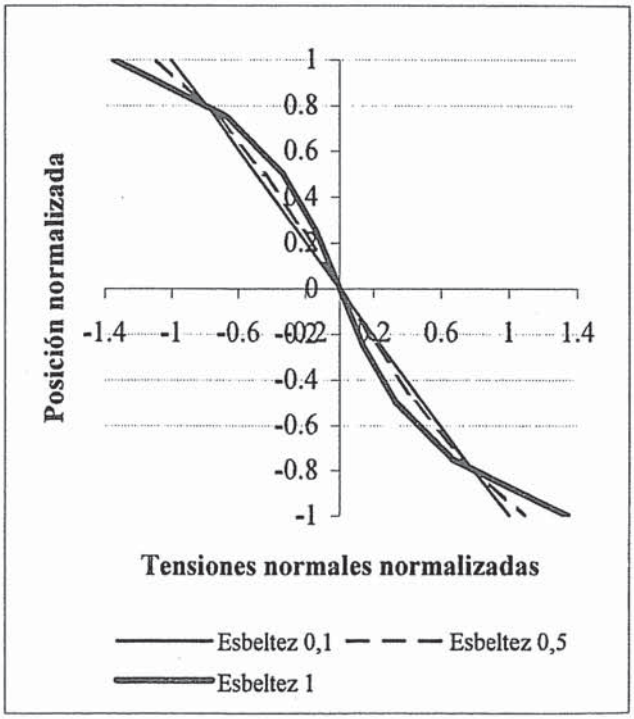


Figura 12. Variación de tensiones normales.

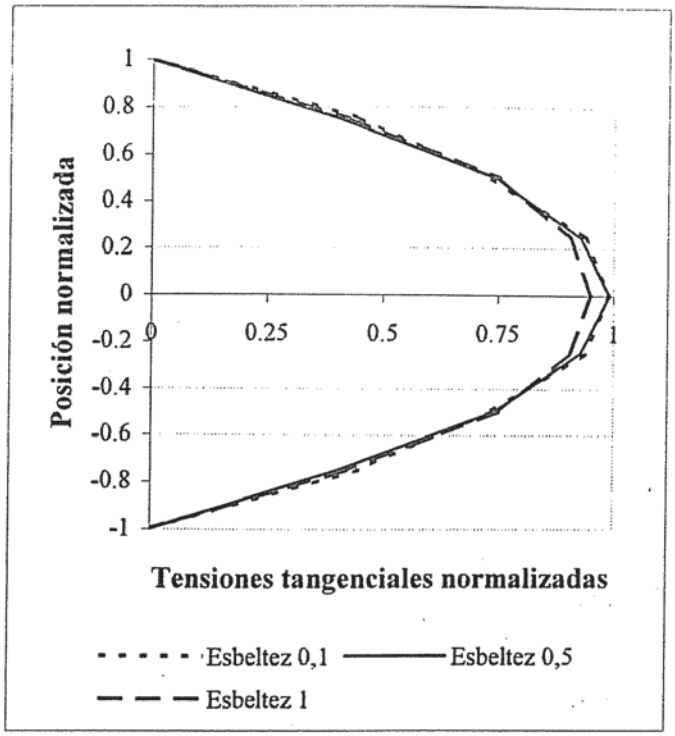


Figura 13. Variación de tensiones de tangenciales.

Puede notarse en la Fig. 12 como a medida que aumenta la esbeltez la variación de las tensiones normales deja de ser lineal, mientras que la Fig. 13 indica que las tensiones de corte mantienen su forma parabólica al variar la esbeltez.En las Fig. 14 y Fig. 15 se presenta una gráfica de los errores cometidos al calcular las tensiones con las (11) y (12), con respecto a los obtenidos por medio de los modelos membranales en tensión plana.

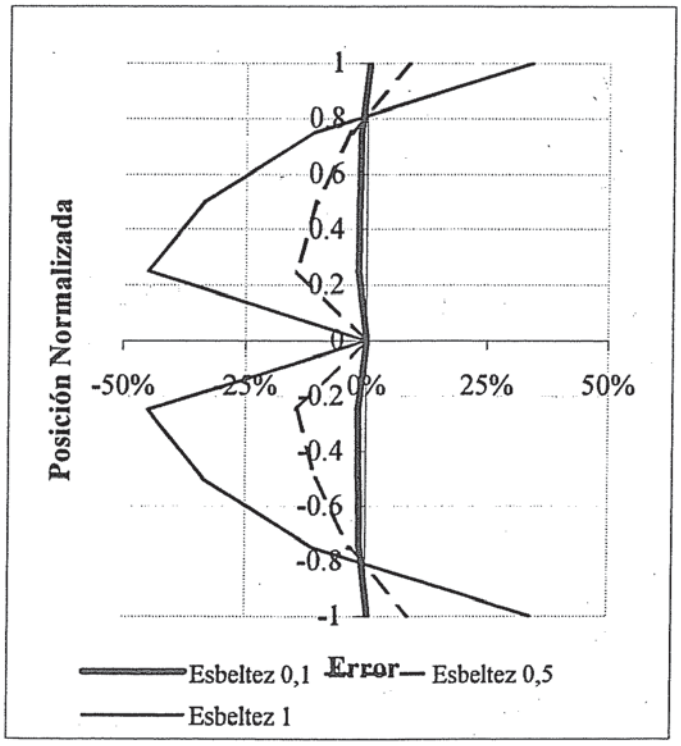


Figura 14. Error porcentual de las tensiones normales.

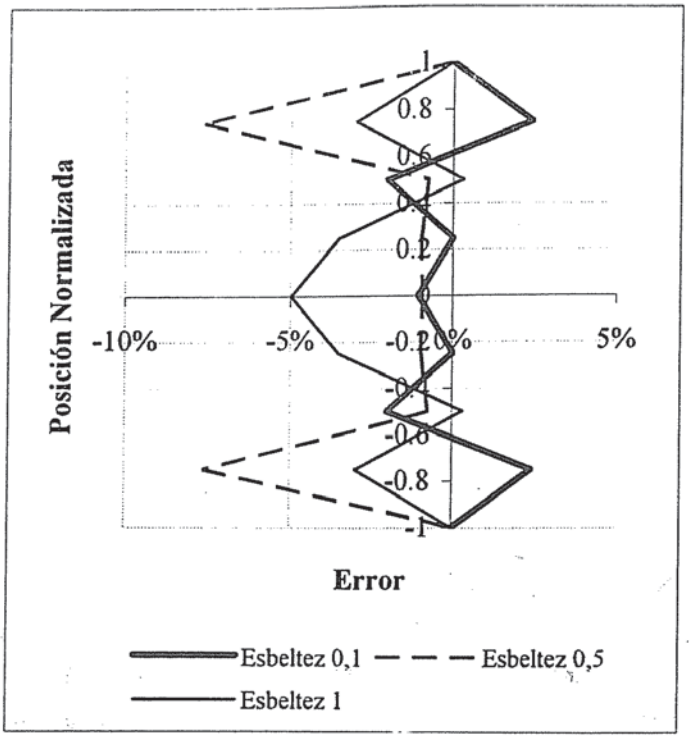


Figura 15. Error porcentual de las tensiones tangenciales.

De estas últimas dos figuras se puede advertir que las (11) y (12) no son aplicables a todo el rango de esbeltez y que los errores crecen a medida que lo hace la esbeltez.

Esto trae consigo la siguiente conclusión: si bien con el elemento de barra que utiliza formulación mixta se logra obtener resultados confiables con respecto a los desplazamientos (flechas) para todo el rango de esbeltez, es necesario tener en cuenta los errores que se comenten al evaluar las tensiones.

5 CONCLUSIONES

- De la Fig. 9, se desprende lo inadecuado de utilizar la formulación Euler-Bernuolli y la formulación Timoshenko para todo el rango de esbeltez estudiado.
- En las Tablas 1 y Tabla 2 se puede observar como mejora el resultado al aumentar la cantidad de elementos, pero para la formulación Timoshenko se observa que el error es todavía considerable para elementos de esbeltez 1/10 o menor, mientras que la formulación mixta presenta un mejor desempeño en todo el rango de esbeltez bajo estudio.
- En la referencia [2], al estudiar el comportamiento de la viga Timoshenko, se llama al problema como "bloqueo de la solución", ya que al tender a cero la esbeltez, el

comportamiento tiende a ser infinitamente rígido. Además propone como solución realizar una integración reducida de la matriz de rigidez de corte para sortear el problema, con lo cual obtiene una matriz idéntica a la (6), o sea a la que se obtuvo con la formulación mixta, y la califica como válida para vigas de pequeño y gran canto, fundamentando los resultados aquí obtenidos.

- Si bien la matriz de rigidez de Timoshenko con integración reducida y la obtenida con formulación mixta son idénticas, esta última tiene una base teórica más fuerte, ya que la utilización de integración reducida es un procedimiento que en este caso se utiliza para solucionar el inconveniente de bloqueo explicado anteriormente.
- Es interesante observar el aporte anómalo de rigidez de corte a la flexión que se obtiene cuando se multiplica la matriz de rigidez de Timoshenko (5) por desplazamientos de rotación pura, o sea por el siguiente vector:

$$u = \begin{bmatrix} 0 \\ \alpha \\ 0 \\ -\alpha \end{bmatrix} \tag{7}$$

Obteniéndose el siguiente vector de carga:

$$q^{(e)} = \begin{bmatrix} 0 \\ 2.\alpha.\dfrac{E.I}{l^{(e)}} + \dfrac{\alpha}{6}.G.A^* \\ 0 \\ -2.\alpha.\dfrac{E.I}{l^{(e)}} + \dfrac{\alpha}{6}.G.A^* \end{bmatrix} \tag{8}$$

Esto, sin embargo, no sucede con la matriz obtenida por medio de la formulación mixta.

$$q^{(e)} = \begin{bmatrix} 0 \\ 2.\alpha.\dfrac{E.I}{l^{(e)}} \\ 0 \\ -2.\alpha.\dfrac{E.I}{l^{(e)}} \end{bmatrix} \tag{9}$$

REFERENCIAS:

[1] D. López. "Formulación mixta de elementos finitos". Laboratorio de Estructuras. Universidad Nacional de Tucumán. Tucumán. Argentina. Año 2000.

[2] E. Oñate & I. de Navarra. "Cálculo de estructuras por el método de elementos finitos". 2° Ed. CIMNE, Barcelona. España. 1995.

[3] S. Timoshenko. Resistencia de Materiales, Primera Parte. 1957.

[4] O. Belluzzi. Ciencia de la construcción Tomo I. Edición 1973.

[5] B. Irons & Sorahb Ahmad. Techniques of finite elements. 1980.

[6] Computers & Structures, Manuals SAP2000 V8.1.2, University of Berkeley California, USA, 2002.

[7] C. Segerer. Apuntes Análisis Estructural I. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo. 2000.

ABSTRACT

This paper talks about the convenience of the formulation of finite elements following the Euler-Bernoulli and Timoshenko theory applied to a beam under bending and shear with different slenderness (relation high/length). It introduces the "mixed formulation", concept with the purpouse of put on approval its goodness on this field. It compares the convenience of this three formulation on the usual rank of slenderness.

Key Words: Finite Element – Mixed Formulation – Deformation of beams – Modelling.

Equilibrio postcrítico de vigas con pérdida de estabilidad lateral usando elementos finitos sólidos y cinemática de grandes deformaciones y rotaciones.

C. A. Careglio & A. E. Mirasso & C. G. García Garino

ccareglio@uncu.edu.ar & aemirasso@uncu.edu.ar & cgarcia@itu.uncu.edu.ar
LAPIC, Instituto Tecnológico Universitario, Universidad Nacional de Cuyo
Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo

RESUMEN: La pérdida de estabilidad del equilibrio es uno de los modos de falla de componentes estructurales ampliamente estudiado en la literatura. Tanto los planteos energéticos como los de equilibrio buscan configuraciones de equilibrio en la vecindad del denominado estado de equilibrio crítico. Tal es el caso de la inestabilidad lateral de vigas con sección transversal esbelta sometidas a flexión. En este trabajo se resuelve el equilibrio de este tipo de estructuras mediante elementos finitos de tipo sólido con una formulación cinemática de grandes deformaciones y rotaciones. Se obtienen trayectorias de equilibrio no lineales de estructuras imperfectas, para rangos de cargas cercanas a la carga crítica de la estructura perfecta asociada, pero configuraciones poscríticas alejadas del estado de equilibrio crítico. Se comparan los resultados obtenidos para cargas de inestabilidad con resultados analíticos disponibles en la literatura. Se analiza la sensibilidad a las imperfecciones de las cargas de inestabilidad y del cambio de rigidez lateral de la viga.

Palabras clave: pandeo lateral – no linealidad geométrica – elementos finitos – sensibilidad a imperfecciones

1 INTRODUCCIÓN

En mecánica estructural uno de los modos de falla a considerar es la pérdida de estabilidad del equilibrio y es un fenómeno muy estudiado. Koiter Ref. [1] formuló una teoría de estabilidad del equilibrio para sistemas continuos considerando estructuras perfectas e imperfectas. Thompson y Hunt Ref. [2] extendieron dicha formulación a sistemas discretos y Husseyin Ref. [3] a sistemas discretos con múltiples parámetros de control. Flores y Godoy Ref. [4] extendieron estas formulaciones a sistemas discretos sin la necesidad de desacoplar las ecuaciones de equilibrio resultantes y la implementaron en un código de elementos finitos para analizar láminas de revolución. En todos los casos antes mencionados se consideraron pequeñas deformaciones, grandes rotaciones y el equilibrio se planteó en una configuración cercana a la configuración de equilibrio, cuya estabilidad se pretendió determinar. La pérdida de estabilidad del equilibrio de las estructuras perfectas resulta en la solución de un problema de valores propios; y el comportamiento de las estructuras imperfectas se puede obtener mediante un análisis asintótico. Todas estas formulaciones han permitido clasificar la pérdida de estabilidad de estructuras perfectas en bifurcaciones y puntos límites. Las bifurcaciones resultan de resolver un problema de valores propios, mientras que los puntos límites y las estructuras imperfectas

siempre presentan trayectorias de equilibrio no lineales.
Así resulta posible comprender el comportamiento de estructuras perfectas mediante las trayectorias de equilibrio no lineales de estructuras imperfectas asociadas. Estas son obtenidas a partir de la estructura perfecta a la que se le incorpora alguna imperfección geométrica por ejemplo.
Un caso clásico de inestabilidad elástica es el pandeo lateral de vigas sometidas a esfuerzos de flexión Ref. [5], que en general es analizado en un entorno cercano al estado de equilibrio crítico.
En este trabajo se determinan configuraciones de equilibrio poscríticas, lejanas al estado de equilibrio crítico, de una viga en voladizo con sección transversal rectangular, usando un programa de elementos finitos desarrollado previamente por los autores, denominado SOGDE3D Ref. [6]. Se asume un material elástico lineal y cinemática con grandes desplazamientos y rotaciones, pudiendo así determinar configuraciones de equilibrio que implican desplazamientos varias veces el espesor de la sección transversal de la viga. Se presentan trayectorias de equilibrio no lineales de vigas con imperfecciones y se muestra la sensibilidad del comportamiento ante variaciones de las mismas. Se comprueba así, el comportamiento en problemas de estabilidad elástica, del programa de elementos finitos utilizado.

2 FORMULACIÓN EMPLEADA EN SOGDE3D

Los autores han desarrollado el código de elementos finitos denominado SOGDE3D Ref. [6]. Dicho código es una extensión del caso 2D, basado en trabajos previos de García Garino Ref. [7,8,9], y tiene la capacidad de encontrar trayectorias de equilibrio no lineales. El modelo constitutivo está basado en la cinemática multiplicativa del tensor gradiente de deformación $\mathbf{F}$ descompuesto en sus componentes elásticas $\mathbf{F}^e$ y plásticas $\mathbf{F}^p$. Se asume una descomposición aditiva para el tensor velocidad de deformación $\mathbf{d}$, en sus componentes elásticas $\mathbf{d}^e$ y plásticas $\mathbf{d}^p$. Las tensiones se derivan de un potencial hiperelástico y los efectos de plasticidad se tienen en cuenta mediante la teoría de variables internas. De esta manera el modelo es consistente con la termodinámica de los sólidos irreversibles.
El modelo está implementado en la configuración deformada. Se utilizan las componentes elásticas y plásticas del tensor de Almansi, donde la primera se calcula como $\mathbf{e}^e=(1/2)(\mathbf{g}-\mathbf{F}^{e-T}\mathbf{F}^{e-1})$, siendo $\mathbf{g}$ el tensor métrico espacial.
Cuando las deformaciones elásticas son pequeñas, como es el caso de metales, la componente elástica de la energía libre se puede escribir como una forma cuadrática del tensor elástico de Almansi y de las constantes de Lamé del material.
La plasticidad se tiene en cuenta mediante una regla de flujo asociada con función de fluencia de tipo von Mises o J2, y con endurecimiento isótropo lineal, en función de la deformación plástica efectiva.
La integración de la ecuación constitutiva se realiza mediante un esquema predictor elástico y corrector plástico. En el predictor elástico las variables internas plásticas permanecen fijas, y resulta en un algoritmo explícito evitando la integración numérica en el tiempo del predictor. En el corrector plástico permanece fija la configuración deformada y se actualizan las variables internas para satisfacer la ecuación constitutiva.
Se implementaron elementos sólidos como el hexaedro lineal estándar (H1) Ref. [10] y el hexaedro lineal mixto con presión constante (H1/P0) Ref. [10], resultante de la extensión al caso 3D del elemento mixto Q1/P0.
Las ecuaciones no lineales de equilibrio resultantes se resuelven mediante un esquema incremental iterativo de tipo Newton Raphson Ref. [11].
Además, para facilitar el postproceso gráfico de los resultados se ha incluido una interfaz con el software GID Ref. [12,13].
El código ha sido ampliamente validado en la solución de problemas no lineales. En las referencias Ref. [7-9,14] se discuten problemas que muestran un comportamiento postpico con ablandamiento y endurecimiento. Los resultados discutidos se han comparado exitosamente con otros obtenidos con códigos como ABAQUS Ref. [15] o NIKE2D Ref. [16]. Trabajos recientes de los autores tratan problemas de pandeo 3D Ref. [17,18], similares al propuesto en este caso. En general puede decirse que los códigos disponibles son capaces de resolver problemas no lineales complejos.

3 PANDEO LATERAL DE VIGAS

Las vigas esbeltas son sensibles a perder estabilidad debido a las tensiones de compresión que aparecen en el cordón comprimido. El valor de carga para el cual aparece una bifurcación del equilibrio de la trayectoria fundamental lineal, se denomina carga crítica. Para ese valor de carga crítica además de la

trayectoria fundamental contenida en el plano vertical de la carga, existen configuraciones de equilibrio que tienen desplazamientos laterales no nulos, adoptando la viga una configuración pandeada lateralmente. Las distintas secciones de la viga rotan torsionalmente.

En este trabajo se ha realizado un análisis tridimensional del comportamiento de una viga de sección rectangular, empotrada en un extremo y libre en el otro. En el extremo libre de la viga se ha aplicado una fuerza vertical P que mantiene su dirección vertical, Fig. 1.

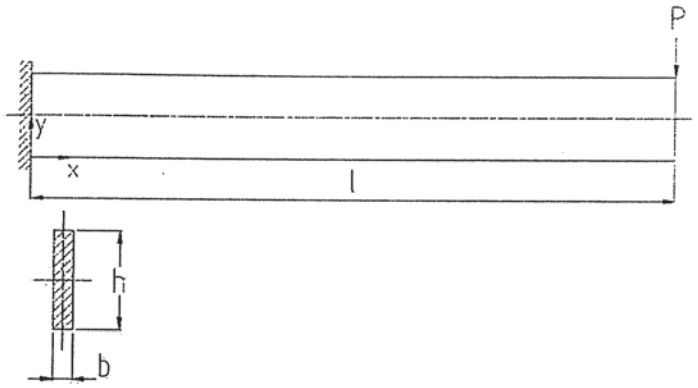


Figura 1. Geometría de la columna perfecta, vínculos y carga aplicada.

Para la estructura perfecta la carga crítica teórica de pandeo lateral o de bifurcación del equilibrio, con material elástico lineal está dada por Ref. [5]:

$$P_{cr} = \frac{4.34\sqrt{B_1 C}}{l^2}\left(1-\frac{a}{l}\sqrt{\frac{B_1}{C}}\right) \qquad (1)$$

con:

$$B_1 = EI_m \qquad (2)$$

$$C = 4I_m G\left(1-0.63\frac{b}{h}\right) \qquad (3)$$

$$I_m = \frac{b^3 h}{12} \qquad (4)$$

siendo "a", la distancia por encima del centro de gravedad de la sección donde es aplicada la carga P; "G", el módulo de elasticidad tangencial; "l" la luz de la viga; "b" el ancho de la sección transversal; y "h" el alto de la misma. Cabe aclarar que la ecuación (1) es válida para una relación b/h=0.2.

Para una longitud l=100mm, y una sección rectangular, de altura h=10mm y espesor b=2mm, con un material elástico lineal con un módulo de elasticidad E=21000kg/mm^2 y un módulo de Poisson ν=0.3; a partir de las relaciones (2) a (4) en (1), se obtiene una carga crítica de bifurcación lateral P_{cr}=67.42kg.

4 MODELO DE ELEMENTOS FINITOS

Para analizar el pandeo lateral de la viga esbelta de la sección anterior se realizaron análisis no lineales de estructuras con configuraciones imperfectas. Para ello se ha impuesto a la geometría, originalmente perfecta, un giro de la sección transversal, donde su magnitud varía a lo largo de la longitud de la columna desde cero en un extremo al valor máximo de imperfección en el otro. La ecuación que describe la imperfección impuesta puede expresarse como:

$$\theta = \alpha \sin\left(\frac{\pi x}{2l}\right) \qquad (5)$$

siendo α el ángulo máximo, ubicado en x=L. En la Fig. 2 se muestra para una sección genérica, a una distancia x del origen, la sección imperfecta adoptada, la cual se encuentra referida a la sección perfecta.

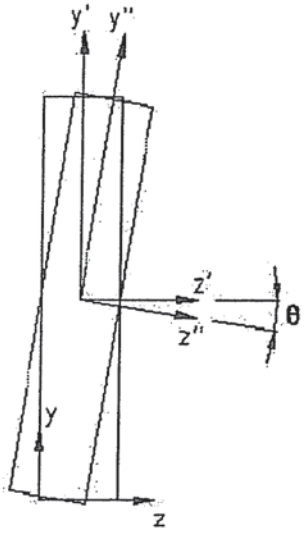


Figura 2. Sección perfecta comparada con la sección imperfecta adoptada.

El valor de α puede ser expresado por un parámetro de imperfección ζ definido como: