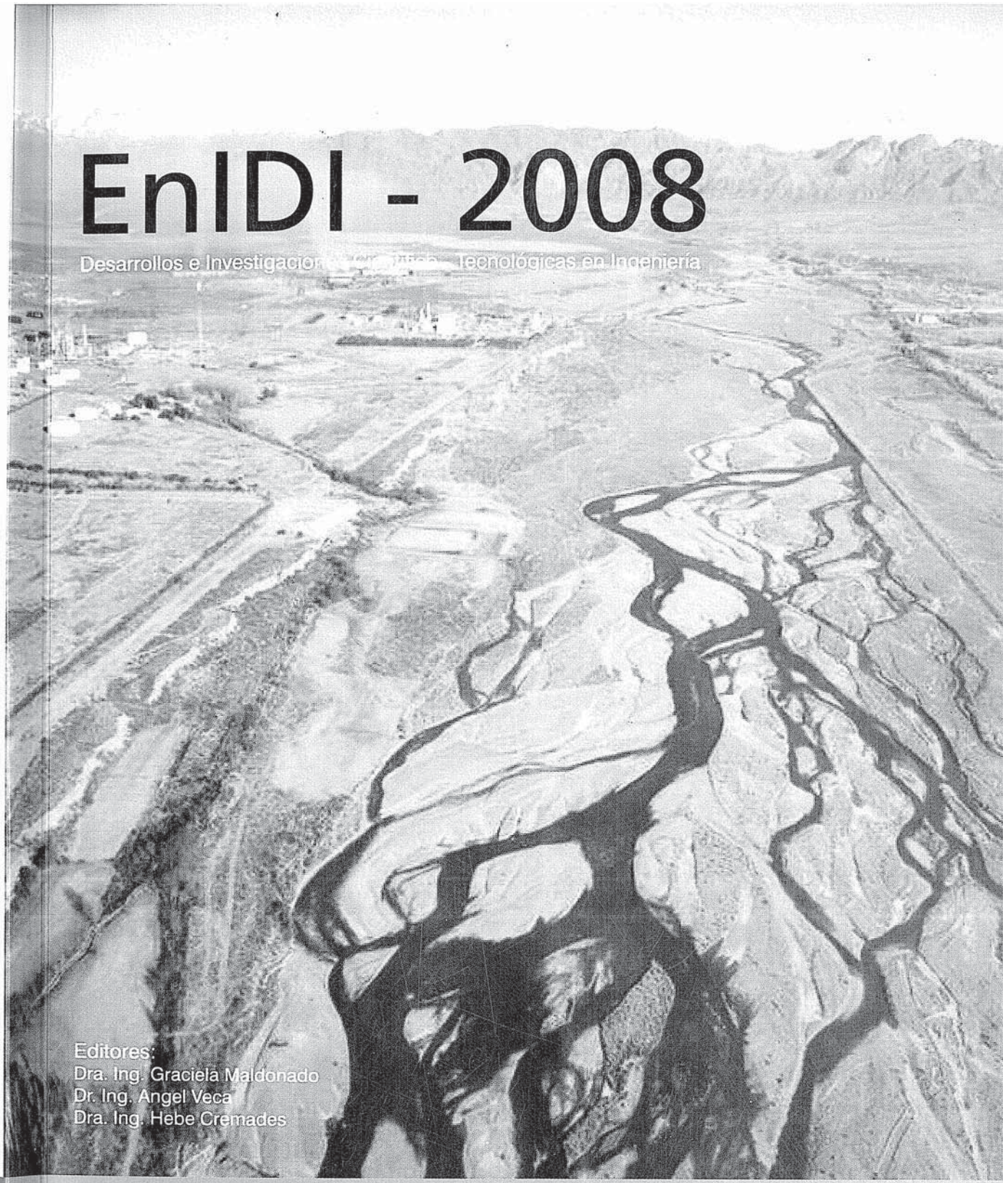
EnIDI - 2008

Selección de Trabajos de Investigación

EnIDI - 2008

Desarrollos e Investigaciones Científico - Tecnológicas en Ingeniería



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

UTN
Facultad Regional San Rafael
Universidad Tecnológica Nacional

UTN
Facultad Regional Mendoza
Universidad Tecnológica Nacional

Universidad Tecnológica Nacional

FACULTAD DE INGENIERIA
en acción continua

Facultad de Ciencias
Aplicadas a la Industria

Desarrollos e Investigaciones Científico-Tecnológicas en Ingenierías

2008

Desarrollos e Investigaciones Científico-Tecnológicas en Ingeniería

Copyright @ Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional, 2008. 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 2008

Diseño de Tapa: Dr. Arq. Fabián Bochaca
Fotografía de tapa: Marcelo Alvarez
Ciudad de Mendoza.

ISBN 978-950-42-0104-5
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 2008, Mendoza, Argentina
3,4 y 5 de Noviembre de 2008

Desarrollos e Investigaciones Científico-Tecnológicas en Ingeniería

Editores
Noemí Graciela Maldonado
Angel César Veca

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

Comité Científico
Dra. Bibiana Castiglione
Dr. Eduardo Ercoli
Dr. Ing. Pablo Arena
Dra. Ing. Graciela Maldonado
Dra. Ing. Hebe Cremades
Dr. Ing. Ángel Veca
Dr. Aníbal Mirasso
Dr. Ing. Ernesto Muñoz Puntes
Dr. Raúl Pérez
Dr. Ing. Carlos M. Puliafito
Dr. Ing. S. Enrique Puliafito
Prof. Ing. Lilian Cejas
Dr. Ing. Miguel E. Tornello
Mg. Ing. Gustavo L. Palazzo
Dr. Juan Manuel Torres
Dra. Stela Maris da Silva
Dr. Facundo Bromberg
Dr. German Bianchini
Dra. Paola Caymes Scutari
Dr. Ing. Raúl Ernesto Chernikoff
Dra. Ing. Alicia Lucía Ordóñez
Dra. Ing. María Ester Balanza
Ing. Ricardo Césari
Dra. Cristina Párraga
Mg. Ing. Diego Navarro
Dr. Francisco Ibáñez
Dr. Gustavo Lascalea

Decanos

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

Secretarías

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

Organización General

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

Comité Organizador

Dr. Ing. Alejandro P. Arena
Dra. Ing. N. Graciela Maldonado
Dr. Ing. Angel C. Veca
Dra. Ing. Hebe Cremades
Dr. Ing. Carlos García Garino
Mg. Santiago Labiano

PREFACIO

Esta nueva edición del Encuentro de Docentes e Investigadores de Ingeniería, la cuarta, muestra dos hechos relevantes. Por una parte, que la iniciativa tomada hace cuatro años para aunar esfuerzos entre las Facultades de Ingeniería de la provincia de Mendoza no fue otro evento aislado y caprichoso, sino un compromiso serio asumido responsablemente por los investigadores y las autoridades de las casas de altos estudios participantes. Los ENIDI se han instalado en el calendario de nuestras facultades, a pesar del esfuerzo que demandan tanto a organizadores como participantes, de las dificultades económicas, de lo engorroso de los sistemas de evaluación, de las complicaciones asociadas a la gestión de todo evento de esta naturaleza. El segundo hecho lo constituye el crecimiento de las actividades de investigación que se manifiesta en los trabajos presentados. Mientras las primeras ediciones mostraban los resultados de los grupos más consolidados, que ya publicaban en otros medios nacionales e internacionales, se observan ahora interesantes trabajos elaborados por nuevos grupos, investigadores recientemente radicados, nuevas líneas de investigación, cátedras que se animan a incursionar en ciencia y tecnología.

Tanto uno como el otro, constituyen elementos auspiciosos, que permiten esperar que los eventos y acciones estratégicas para la vida universitaria, como lo son la investigación científica y tecnológica, y la cooperación interinstitucional, no sólo perduren sino que se refuercen año tras año. Los esperamos el año próximo.

Mendoza, Noviembre de 2008

Alejandro Pablo Arena
Raymundo Forradellas

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 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. Raymundo Forradellas, 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 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.

Noviembre de 2008

Noemi G. Maldonado
Angel C. Veca
Editores

TABLA DE CONTENIDOS

Biotecnología

Análisis energético de la ultrafiltración de leche descremada en función de variables experimentales. 1
C.C. Tarazaga, A.N. Rinaldoni, M.E. Campderrós, A. Pérez Padilla

Ultrafiltración de plasma bovino: comportamiento y modelado de membranas poliméricas. 7
L.T. Rodriguez Furlán, A. Pérez Padilla, M.E. Campderrós

Modelo matemático de predicción de los requerimientos energéticos durante la fermentación vínica. 15
R.A. Rodríguez, F.Y. Pons, C.A. Palacios, S.M. Udaquiola

Tratamiento biológico aerobio de alpechín con aplicación del hongo basidiomiceto PSC01. 23
S.M. da Silva, G. Affranchino, C.M.S. Rojas, G.P. Ortiz, G. Ohanian, D.E. Fernández

Biodiesel en Mendoza 2008. El caso particular de la colza. 31
M. Malandrucco, J.E. Núñez Mc Leod, S.S. Rivera

Efecto del riego con efluentes agroindustriales sobre suelos cultivados. 39
M.E. Balanza, A.L. Ordóñez

Energía y medio ambiente

Transformaciones morfológicas durante la termoconversión de biomasa densificada, su estudio y análisis. 47
B. Bucki Wasserman, P.J. Villegas Aguilar, R. Quintana Puchol, J.F. Martirena Hernández

Modelado matemático de dispersión de contaminantes provenientes de fuentes vehiculares. 55
N. Pugliese, E. Ortega, J.Aguirre, J. Mercado, G. Romero, S. Loiácono, N. Alonso

Matriz energética integral de la provincia de Mendoza 2007. 63
S. Curadelli, L.R. Álvarez, G.R. López, J.F. Fernández

Determinación del contenido de vapor de agua troposférico mediante radiometría y radiosondeo. 71
G.P. Ortiz, S.E. Puliafito, C.M. Puliafito, J.L. Quero, M.A. Gantuz

Emisiones de fuentes móviles del Gran Mendoza. 161
F. Castro, S.E. Puliafito

Modelado matemático de dispersión de gases industriales. 169
S. Loiácono, N. Pugliese, L. Crescentino, A. Núñez, M. Pereyra, A. Lucero, M. Cuevas, O. Nagornov

Enseñanza

Una propuesta para optimizar el aprendizaje del Análisis Matemático. 175
M.P. Garrido, A. Schilardi

Herramienta educativa Editor SQL GreatSQL. 183
S. Perez, M. Cajeao, E. Guerra, D. Fratte, D. Atala, G. Mion, G. Puntons, S. Santa María, G. Irrutia, J. Rotella

Estrategias sistémicas para la resolución de problemas en carreras de ingeniería. 191
C.A. Bello, M.G. Scardigli, G.A. Cuadrado

Evaluación estadística de un sistema de confirmación metrológica. 199
J. Ortigala, G. Cuadrado, C. Bello, A. Amico

Experimentos de física básica con NTICs y su conceptualización. 207
E.A. Jaime, C. Escudero

Estudio de la conceptualización de distintas soluciones de ecuaciones diferenciales ordinarias a valores iniciales. 215
M.R. Castro, L. González, L. Hidalgo, C. Escudero

Las competencias del Ingeniero desde el área Matemática. 223
S. Lorenzo, M.I. Lecich

Diseño de laboratorios remotos. 231
O.L. Marianetti, O. León, C. García Garino

Péndulo de Foucault: Diseño y construcción de pequeños péndulos con sistemas de recuperación. 239
B. García, M. Videla, D. Yelós, E. Franco

Hacia un modelo de desarrollo cognitivo del estudiante en el área de conocimiento tecnológico de electricidad, electrónica y robótica. 247
E. Sierra, A. Hossian, C. Labriola, M. Marilef, S. Giacolla, R. González

Integración de distintos software para la realización de estudios técnicos, económicos y ambientales de energías renovables. Aplicación al caso solar térmico. 79

A.D. Atem, L. Scollo, L.D. Euillades, A.H.Castro

Comparación del valor teórico y la medición del TR60 mediante el método de la detonación. 87
C.E. Boschi, A.F. González

Medición de energía radiante no ionizante en el medio ambiente y predicción de contornos de protección poblacional. 95
J. Balacco, R. Césari, L. Dottori, J. Mikalef

Indicadores de desarrollo y su influencia en el nivel de carbono atmosférico. 101
S.E. Puliafito, H. Cremades

Plan estratégico para el desarrollo social, tecnológico y económico sustentable en la provincia del Neuquén mediante la reconversión productiva basada en recursos renovables. 109
L.F. Sapag, C.V.M. Labriola

Estudio del CO2 evitado por MW instalado con el uso de Energía Eólica, a través del análisis y adaptación del Ciclo de Vida y Balance de Energía. 117
C. Aguilera, C.V.M. Labriola

Resultados del proceso de transferencia en el trabajo con residuos sólidos urbanos. 123

O.N. Zóttola, M.M. Stanziola, A.P. Arena, L. Sevilla, A. Reales, M. Ocaña

Estimación de la energía contenida en los residuos de edificación. Estudio de caso. 131

A.P. Arena, I.T. Mercante

Determinación de la deposición ácida en Bahía Blanca, provincia de Buenos Aires. Cálculo de los factores de acidificación para su aplicación en estudios de Análisis de Ciclo de Vida. 139
B. Civit, A.P. Arena, D. Allende, S.E. Puliafito

Evaluación del daño a la salud humana causado por el ruido proveniente de aerogeneradores. 145
A. Rivarola, A.P. Arena

Perfil ambiental de la producción de ladrillos en Mendoza. Caso de estudio en el Algarrobal. 153
B. Civit, M. López, S.M. da Silva, A.P. Arena

Aplicación del modelo Bayesiano en el estudio de dosificación de mezclas cementicias para hormigones de alta performance. 343
R.M. Césari, N.G. Maldonado

Determinación de la eficiencia de aplicación de múltiples amortiguadores de masa sintonizados en el control de la torsión de estructuras sismorresistentes asimétricas. 351
R.D. Bassotti, R.D. Ambrosini

Análisis de la deformación elástica producida por la carga de agua en el dique Potrerillos. 359
M.H. Blanco, P.A. Euillades, G.A. Sosa

Control de infiltración en el río Atuel y de la salinidad en el río Salado. 367
F.A. Di Lello, S.P. Ibáñez, M. Troncoso, S. Uhlig

Auscultación de la Presa El Carrizal. 375
P.S. Infante, L.M. Magistocchi, P.G. Espina, C.L.F. Dávila

Influencia de la ley de endurecimiento en la estricción del ensayo de tracción en metales con grandes deformaciones. 383
C. Careglio, A. Mirasso, C. García Garino

Modelación

Modelado estadístico en la producción de vinos finos. 391
M.R. Castro, M. Echegaray, R.A. Rodríguez, S. Udaquiola

Modelación de una hipótesis accidental con ruptura de la vasija del reactor de la Central Nuclear Atucha I para el posterior estudio del comportamiento de su contención frente al uso de sistemas activos de control de la misma. 397
E. González Videla, J. Núñez Mc Leod

Un algoritmo que extrae características de regiones para el reconocimiento de objetos en una imagen. 403
G.E. Sosa, A.F. Gonzalez, S. Leguizamon

Adsorción en multicapa sobre superficies heterogéneas. 411
G.D. García, F.O. Sánchez Varretti, A.J. Ramírez Pastor, F. Romá

Modelación matemático-computacional para el análisis de sistemas en crecimiento. 417
R. Gómez Guirado, P. Cuadros, G.S. Navas

La V Epistemológica como recurso didáctico en la enseñanza de las Ciencias. 255
C.S. Figueroa

Semipresencialidad en "Hidráulica General". 261
P.Infante, A. Punta

Informática

Software de diagnóstico de la electrónica del detector de superficie del Observatorio Pierre Auger. 269
B. Garcia, J.P. Góngora, L. Gonzalez, V. Llanos, J. Maya, M. Videla

CODAREC6: Transición. Implementación de Túnel 6to4. 275
C. Taffernaberry, G. Mercado, A. Dantiacq, S. Pérez, R. Moralejo

Cálculo paralelo con Ruby. 283
E. Millán Kujtiuk, C. García Garino, O. León

Sistema monitor de funcionamiento para los detectores de fluorescencia del Observatorio Pierre Auger. 291
P. Caif, J. Gitto, B. Sanchez

Sistema de descubrimiento de recursos basado en P2P y RMI. 299
S.A. Salinas, C. García Garino, A. Zunino

Modelos operativos en Redes de Petri. 307
E.E. Iriarte, M. Distefano, R. Haarth

Ingeniería Civil

Hidrología y vivienda social: tendencias hacia un desarrollo urbano de bajo impacto. 315
V.H. Burgos

Método de las fibras para obtener el diagrama de interacción M-N 323
P. Cuadros

Comparación de un método semi-analítico versus modelación mediante elementos finitos para vibración de placas. 329
N.F. Pizarro, N.D. Agüera

Estimación del riesgo hidrológico por derrame superficial de hidrocarburos: un caso de estudio en Malargüe. 335
V.H. Burgos

Hardware del voto electrónico para Honorable Legislatura de Mendoza, con tecnología inalámbrica (Wi-Fi). 517
S. Molina, P. Rosaz, A. F. Gonzalez, J. Balacco, R. Capuj, M. Sabio, M. Godoy Lemos, R. Vargas

Elaboración de celdas solares fotoelectroquímicas sensibilizadas con pigmentos orgánicos. 525
M.V. Nuñez, P.E. Valdez, J. Núñez Mc Leod, L.S. Scollo

Nuevas rutas de síntesis por gelificación-combustión (SGCs) aplicadas a la obtención de óxidos de cobalto. 533
M.C. Gardey Merino, L.M. Sánchez, D.G. Lamas, G.E. Lascalea, P.G. Vázquez

Avalanchas de nieve y una nueva interpretación sobre el mecanismo de desencadenamiento. 539
R. Haarth, H. Martinez, M. Distefano, F. Bianchi, E. Canales

Tecnología Aplicada

Algoritmo mejorado de compresión de imágenes hiperespectrales en memoria. 425
J.E. Núñez Mc Leod, P.A. Euillades, E. González Videla

Perfil siniestral de la actividad agrícola "cultivo de vid para vinificar". 433
O.D. Gálvez, J.L. Britos

Mejora del proceso de software en micro y pequeñas organizaciones. 441
N.C. Dumit Muñoz, G. Mercado, R.O. Moraleja, S. Navarría, M.J. Barrionuevo, C. Carrillo Castillo, L. Palá Caso

Metodología de diseño de autómatas accionados por flancos empleando SFC. 447
J.A. Laporte, O.A. Nieto, G. Martinelli

Diseño y construcción de un filtro en microondas mediante resonadores hairpin. 455
A.I. Balbuena, C.M. Puliafito, J. Aliquo

Sistema de clasificación con visión artificial. 463
G.E. Sosa, A.F. Gonzalez, S. Leguizamón

Diseño y construcción de una etapa conversora de microondas con tecnología de microtiras. 471
R. Domínguez, C. M. Puliafito, J. Aliquo

Gestión de la tecnología médica, propuesta de sistemas de regulación in-situ y on-line bajo norma RCM. 479
A. Alvarez Abril, J. Balacco, A.F. González, A. Terrón

Detección, análisis y resolución de averías del detector de superficie del Observatorio Pierre Auger. 487
J. Maya, B. Garcia, M. Videla, J.P. Góngora, L. González, V. Llanos

Control e interfaz de transmisión de datos para contador de muones A.M.I.G.A. 495
M. Videla, B. García, M. Platino

Estudio de la zonificación de viñedos con imágenes multiespectrales asociado a la variación interanual del índice de vegetación y peso de poda. 503
H. Vila, M.R. García, J. Pérez Peña

Prototipo de sistema de comunicaciones IEEE802.11b para el proyecto AMIGA. 511
G. de la Vega, B. García, M. Platino

Análisis energético de la ultrafiltración de leche descremada en función de variables experimentales

C.C. Tarazaga[1], A.N. Rinaldoni[2], M.E. Campderrós[2] & A. Pérez Padilla[2]

ctarazag@unsl.edu.ar & mcamp@unsl.edu.arr & apadilla@unsl.edu.ar

[1]*Laboratorio de Electrónica, Investigación y Servicios (LEIS), Facultad de Ciencias Físico Matemáticas y Naturales, Universidad Nacional de San Luis*

[2]*Instituto de Investigaciones en Tecnología Química- CONICET, Carrera de Ing. en Alimentos. Facultad de Química, Bioquímica y Farmacia, Universidad Nacional de San Luis.*

RESUMEN: En el presente trabajo se realiza un análisis energético del proceso de concentración de leche descremada por ultrafiltración. Se demuestra que el proceso térmico y no el mecánico necesario para impulsar los fluidos produce la mayor demanda de consumo energético. En adición un mayor volumen de permeado se logra incrementando la presión de transmembrana y no la temperatura. El análisis matemático aplicado permite evaluar aspectos ingenieriles de ultrafiltración de leche descremada vinculado a aspectos de diseño y operación con eficiencia óptima.

Palabras clave: ultrafiltración- leche - análisis energético

ABSTRACT: In the present work an energy analysis of the concentration process of skimmed milk by ultrafiltration has been performed. It has been demonstrated that the thermal process, and not the mechanical energy needed for fluid pumping, holds the main demand of energy consumption. In addition, achievement of higher volume of permeates by incrementing transmembrane pressure and not temperature, was assessed. The applied mathematical analysis led to evaluate engineering aspects of skim milk ultrafiltration regarding design and operation with optimal efficiency.

Key Words: ultrafiltration – milk - energy analysis

capaz de describir la eficiencia energética del proceso, la cual ha sido definida como: η_e (L/kJ).

Pueden analizarse dos posibilidades: uno es cuando el proceso se realiza a temperatura ambiente $T=T_0=$ 20°C. En este caso, la contribución de la energía térmica es nula, (Fig. 2a) $W_t = 0$. El otro caso es cuando la alimentación es termostatizada a diferentes temperaturas, (Fig. 2b) $W_t \neq 0$. En ambos casos, la energía mecánica está presente generando el movimiento del fluido. La energía consumida en diferentes condiciones experimentales puede ser calculada y caracterizada como se describe en las siguientes secciones.

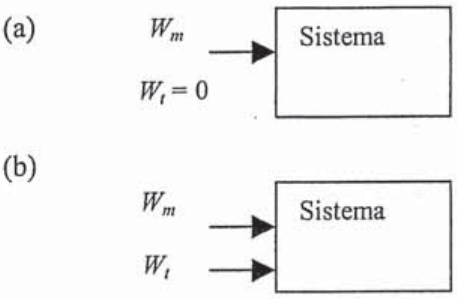


Figura 2. Representación esquemática de la energía consumida para los diferentes casos analizados para la ultrafiltración de leche. (a) diferentes Δp con temperatura ambiente constante; (b) diferentes temperaturas con Δp constante.

3.1 Operación a diferentes presiones.

El efecto de la variación de la presión transmembranal sobre el consumo de energía durante la ultrafiltración de leche fue estudiado. La presión fue testeada en el rango entre 0,5 y 1,5 bar. Se empleó una misma velocidad de flujo de alimentación para todas las presiones aplicadas. En este caso, no hay contribución de la energía térmica del sistema. La única variación de energía recibida por el sistema estaba asociada solamente a los cambios de la potencia hidráulica usada por la bomba. La ecuación general de energía es:

$$W_m = \int_0^t P_m \, dt \qquad (1)$$

donde W_m es la energía mecánica recibida por el sistema en el intervalo de tiempo [0,t] y P_m es la potencia mecánica de la bomba hidráulica. Como se muestra, la energía recibida por el sistema será función del tiempo de proceso.

La potencia de la bomba hidráulica está dada por la siguiente expresión,

$$P_m = \gamma \, q \, h \qquad (2)$$

donde γ es el peso específico del fluido, q es el caudal y h la altura de elevación de la bomba; considerando que γh es la presión de la bomba, la potencia puede expresarse de la siguiente forma,

$$P_m = qp \qquad (3)$$

siendo q y p constantes en cada condición experimental particular (punto de operación de la bomba). Por lo tanto la energía dada por la bomba será:

$$W_m = \int_0^t P_m \, dt = \int_0^t q \, p \, dt = q \, p \, t \qquad (4)$$

La ec. (4) expresa que la energía mecánica aportada al sistema es una función lineal con el tiempo de procesado. Por otra parte, la contribución de la energía térmica es nula, $W_t = 0$ (Trabajando a temperatura ambiente).

La Tabla 1 muestra los resultados del cálculo de energía considerando 30 min de corrida experimental y otros datos experimentales medidos durante el proceso.

Tabla 1. Datos experimentales de los parámetros mecánicos de operación del proceso

Presión de Transmembrana, Δp bar (kg/m^2)	Caudal, q mL/min (m^3/s)	Energía, W_m Kgm (kJ)
0.5 (5098.58)	3412 (5.6866×10^{-5})	521.88 (5.12)
1.0 (10197.16)	3080 (5.1333×10^{-5})	942.21 (9.24)
1.5 (15295.74)	2870 (4.7833×10^{-5})	1316.95 (12.91)

3.2 Operación a diferentes temperaturas

El efecto de la variación de la temperatura fue analizado a presión de transmembrana constante, procesando aproximadamente 3 L (or 3 kg) de leche parcialmente descremada. En este caso, las energías térmicas y mecánicas entran al sistema. La energía

1 INTRODUCCION

La leche, además de ser un alimento de excelentes cualidades nutricionales, es un componente de varios productos alimenticios. La funcionalidad de varios componentes de la leche puede ser utilizada más efectivamente, aprovechada si éstos se emplean en forma separada. Por esta razón el fraccionamiento de los componentes de la leche se emplea para obtener mayor variedad de derivados lácteos, además el uso de concentrados permite reducir significativamente el transporte de agua, con las ventajas económicas asociadas [1]. El uso de la tecnología de membrana en el fraccionamiento de leche es una elección frecuente debido a la posibilidad de separar componentes lácteos por tamaño. Las membranas están bien establecidas para el tratamiento de suero y otras aplicaciones, que incluyen concentración de proteínas, separación de glóbulos grasos, pasteurización en frío por retención de bacterias y esporas [2-6].

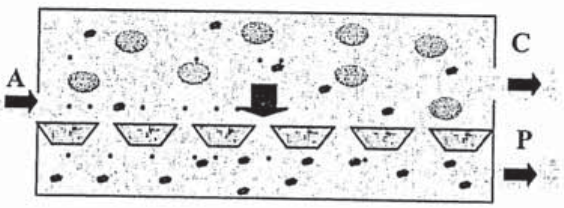
La optimización de la aplicación industrial del proceso está dada por el mayor rendimiento desde el punto de vista de producción y económico. Para ello en este trabajo se realiza un estudio del efecto de las variables experimentales del proceso tales como presión de transmembrana y temperatura sobre la energía consumida. Se analiza además el rendimiento a través de un tratamiento matemático del proceso.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

Las experiencias de concentración de leche se realizaron empleando leche parcialmente descremada comercial (Milkaut S.A. San Luis).

El equipo que se utilizó para las experiencias de UF es un sistema Millipore PELLICON. Los filtros Pellicon están compuestos de capas de membranas de polisulfona, presentadas en forma de láminas apiladas con un tamiz separador de polipropileno. El área superficial efectiva de membrana es de 0.47 m^2, en un pequeño volumen y el corte de peso molecular es de 10 kilo Daltons. El equipo consta de dos sensores de presión, para controlar las presiones de alimentación (entrada) y de concentrado (salida). La solución de alimentación está termostatizada por medio de un baño térmico con un serpentín que se coloca dentro de la solución para asegurar la estabilidad de la temperatura seleccionada. Esta solución es alimentada al equipo de UF por medio de una bomba hidráulica.

La alimentación (leche descremada) pasa a través de la membrana que actúa como barrera semipermeable por lo que es separada por efecto de la presión externa aplicada en las dos fases. Una, llamada de retenido o concentrado rica en moléculas de elevado peso molecular que contiene los componentes principales de la leche, tales como: proteínas, algunas sales minerales, grasas y un remanente de lactosa, cuya concentración puede ser regulada de acuerdo a las condiciones de operación del proceso de UF. La otra, llamada fase de permeado, contiene la fracción de moléculas que atraviesan la membrana: agua, sales solubles y gran parte de la lactosa de la leche tratada (Fig. 1).



Grasas y proteínas. Lactosa y minerales . Agua
A: alimentación, C: concentrado, P: permeado.
Figura 1: Esquema del proceso de UF.

Se opera recirculando el concentrado al tanque de alimentación, mientras se recoge el flujo de permeado que atraviesa la membrana. De acuerdo al uso del concentrado proteico obtenido que se requiera (por ejemplo, concentración hasta obtener un contenido de sólidos totales aptos para la fabricación de yogur), será la duración de la experiencia de ultrafiltración. El grado de concentración se determina por medición del contenido de sólidos totales, a través de la técnica de pesada e incineración de las muestras [7].

3 TEORÍA: ANÁLISIS ENERGÉTICO

Es muy interesante analizar en detalle la energía gastada en un proceso de ultrafiltración y microfiltración. Estos sistemas presentan como fuerza impulsora del proceso la diferencia de presión a través de la membrana, por lo tanto pueden operar a diferentes presiones y también a diferentes temperaturas. La cantidad de energía gastada por cada unidad de volumen permeado es un parámetro

Parámetros Experimental ΔP (bar)	T (°C)	$V_P = A\int J(t)dt$ (L)	$W_m + W_t$ (kJ)	η_e (L/kJ)
0.5	30	1.2191	120.67	0.010
1.0	30	1.8942	124.79	0.015
1.5	30	2.6271	244.02	0.010
1.0	**20**	**1.8229**	**9.24**	**0.197**
1.0	30	1.8942	124.79	0.015
1.0	40	2.0455	240.35	0.008

Se observa que la eficiencia del proceso aumenta considerablemente cuando la alimentación no es calentada. Esto se debe a que la mayor parte de la energía involucrada en el proceso es térmica aunque no produce un aumento considerable en el volumen de permeado. La mejor eficiencia energética se alcanza cuando se opera a temperatura ambiente (no hay transferencia de calor al fluido)

La Fig. 3 muestra como el volumen de permeado evoluciona con el tiempo, para los casos estudiados.

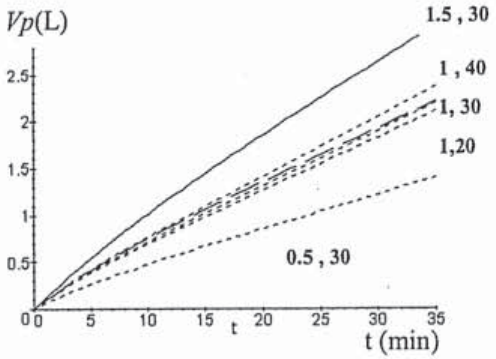


Figura 3. Evolución del flujo de permeado, V_p ec. (8), como una función del tiempo para diferentes condiciones experimentales de la UF de leche descremada.

4 CONCLUSIONES

Se realizó un análisis energético del proceso de ultrafiltración de leche operando a diferentes condiciones experimentales de presión y temperatura. Se pudo demostrar matemáticamente que la cantidad de energía térmica gastada para termostatizar el sistema es mayor que la cantidad de energía mecánica aportada por la bomba para impulsar los fluidos y mantener la presión transmembranal. Se definió un parámetro de eficiencia energética, que permitió demostrar que la mayor eficiencia en el proceso de UF de leche en el diseño experimental empleado se alcanzó operando a temperatura ambiente y baja presión (1 bar). Con estas condiciones experimentales, se obtiene un buen flujo de permeado evitando problemas de contaminación de la alimentación. Además se verificó que se obtuvieron incrementos significativos en el volumen de permeado por incrementos de la presión de transmembrana (en la región dependiente de la presión) y no por incrementos de la temperatura.

REFERENCIAS

[1] G. Brans, C.G.P.H. Schroën, R.G.M van der Sman & R.M. Boom, Membrane fractionation of milk: state of art and challenges. Journal of Membrane Science, 243, 263, 2004.

[2] A.L. Zydney, Protein separations using membrane filtration: new opportunities for whey fractionation, International Dairy Journal. 8, 243, 1998.

[3] P.K. Vadi, S.S. Rizvi, Experimental evaluation of a uniform transmembrane pressure crossflow microfiltration unit for the concentration if micellar casein from skim milk, Journal Membrane Science, 189, 69, 2001.

[4] A.N. Rinaldoni, M.E. Campderrós, A. Pérez Padilla, E. Perino & J.E. Fernández, Analytic Determinations of minerals content by XRF, ICP And EEA in ultrafiltered milk and yoghurt, Latin American Applied Research. En prensa, 2008.

[5] G. Daufin, J.P. Escudier, H, Carrere, S. Berot, L. Fillaudeau, & M. Decloux, Recent and emerging applications of membrane process in the food and dairy industry. Trans. IChemE, 79, 89, 2001.

[6] A. Guerra, G. Jonsson, A. Rasmussen, E. Waagner Nielsen, D. Edelsten, Low cross for velocity microfiltration of skim milk for removal of bacterial spores, International Dairy Journal, 7, 849, 1997.

[7] Código Alimentario Argentino CAA. Ley 18284/69, Capítulo VIII (Alimentos Lácteos) Ed. La Roca, Buenos Aires, Argentina, Última edición: 11 de Octubre 2006.

[8] R.R. Lovera, *Tratado General de Gas- Alta Media Baja*. Cesarini Hnos., Spain, 1999.

[9] C.C. Tarazaga, M.E. Campderrós & A. Pérez Padilla, Characterization of exponential permeate flux by technical parameters during

mecánica es usada para bombear la alimentación. Antes del proceso de ultrafiltración se realiza la termostatización de la alimentación hasta alcanzar la temperatura de trabajo, por lo tanto se conoce la energía térmica empleada. Esta energía gastada en el proceso se expresa a través de la siguiente expresión:

$$W_t = C_m\, m\, \Delta T \tag{5}$$

donde C_m es la capacidad calorífico de la leche, (0.92 kcal/kg °C, [8]), m es la masa de leche descremada y $\Delta T = T - T_0$ es la diferencia de temperatura.

Para simplificar el análisis de este caso, se considera una aislación térmica ideal. El leve aumento de temperatura (≈ 2°C) en la alimentación se debe a la transformación de una parte de la energía mecánica en calor, que ha sido considerado en el cálculo de energía mecánica. En nuestro caso ese aumento de temperatura fue compensado por la pérdida de calor por conducción y convección en el sistema.

Usando los datos experimentales en la ecuación térmica de energía, se obtiene

$$W_t = 2.76\, \Delta T \tag{6}$$

Con estos datos se construye la Tabla 2.

La energía total dada a estos procesos resulta de la suma de ambas contribuciones: energía térmica y energía mecánica, en nuestro caso.

$$W_{1,20} = 9.24 + 0 = 9.24\ kJ$$

$$W_{1,30} = 9.24 + 115.55 = 124.79\ kJ \tag{7}$$

$$W_{1,40} = 9.24 + 231.11 = 240.35\ kJ$$

En estas ecuaciones, el primer subíndice indica presión transmembranal en bar y el segundo indica temperatura en grados centígrados.

Es interesante destacar la proporción de consumo de energía térmica y mecánica durante el proceso experimental. La cantidad de energía dada al fluido por calentamiento es varias veces mayor que la cantidad de energía aportada por la bomba hidráulica para mantener la circulación de los fluidos a través del sistema.

Tabla 2: Datos experimentales de parámetros térmicos del proceso.

Temperatura, T °C	ΔT C°	Energía, W_t kcal (kJ)
20	0	0
30	10	27.6 (115.55)
40	20	55.2 (231.11)

3.3 Análisis de la eficiencia energética, η_e en el proceso de ultrafiltration de leche.

Desde el punto de vista de la eficiencia energética, pueden compararse expresando matemáticamente la eficiencia del proceso, η_e.

El volumen de permeado V_P (cantidad de fluido que atravesó la membrana), puede obtenerse a partir de expresiones analíticas del flujo de permeado por simple integración, como sigue:

$$V_P = A \int_0^t J(t)\, dt \tag{8}$$

La forma analítica del parámetro η_e es ahora:

$$\eta_e = \frac{A \int_0^t J(t) dt}{\int_0^t qpdt + Cm\, \Delta T} = \frac{V_P}{W_m + W_t} \tag{9}$$

donde el numerador es el flujo de permeado y el denominador es la energía necesitada; en esta ecuación A es el area activa de membrana.

La Tabla 3 muestra los resultados obtenidos aplicando la ec. (9), considerando un área experimental de 0,5 m^2 y un flujo de permeado $J(t)$ calculado de acuerdo a la siguiente ecuación, previamente deducida por Tarazaga y col. [9].

$$J(t) = J_{ss} + (J_0 - J_{ss})\, e^{-kt} \tag{10}$$

donde: $J(t)$: Flujo de permeado total (m/s), J_{ss}: Flujo de permeado en estado estacionario, J_0: Flujo de permeado inicial, k: Constante, t: Tiempo.

Tabla 3: Cálculo de la Eficiencia (ec. (9)).

Ultrafiltración de plasma bovino: comportamiento y modelado de membranas poliméricas

L. T. Rodriguez Furlán, A. Pérez Padilla & M. E. Campderrós

furlan.laura@gmail.com & mcamp@unsl.edu.ar
Instituto de Investigaciones en Tecnología Química (INTEQUI- CONICET), Carrera de Ing. en Alimentos, Facultad de Química, Bioquímica y Farmacia, Universidad Nacional de San Luis.

RESUMEN: soluciones de plasma bovino fueron procesadas en un módulo de ultrafiltración con membranas poliméricas para producir concentrados proteicos. La caída del flujo de permeado con el tiempo fue determinada en función de la presión transmembranal aplicada. El comportamiento experimental pudo ser modelado con el modelo de resistencias en serie. La expresión teórica general del flujo de permeado propuesta interpreta adecuadamente los datos experimentales obtenidos.

Palabras clave: ultrafiltración – proteínas de plasma – modelo de resistencias

ABSTRACT: bovine plasma solutions were processed in a ultrafiltration module with polymeric membranes to produce protein concentrates. Permeate flux decline with time was determined as a function of the applied transmembrane pressure. The experimental behavior could be modelled with the resistance in series model. The overall theoretical permeate flux expression proposed interpreted adequatelly the experimental data obtained

Key Words: ultrafiltration - plasma proteins- resistance model

fouling and membrane cleaning by electric field, Journal of Membrane Science, 283, 339, 2006.

proceso de UF con flujo transversal la resistencia de la membrana puede ser solo una pequeña parte de la resistencia total surgida del fenómeno de polarización por concentración. Como se observa en la Fig. 1, puede haber una serie de resistencias adicionales, si ocurre un ensuciamiento de la membrana debido a interacciones específicas membrana-soluto; por deposición sobre la membrana o por ensuciamiento del poro, la resistencia intrínseca de la membrana puede cambiar [8], [3], [9].

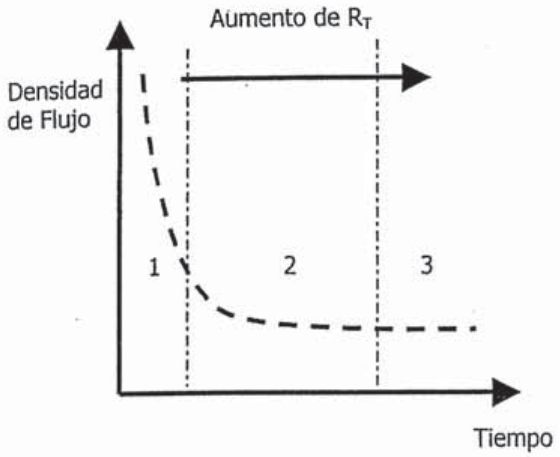


Figura 1. Comportamiento del flujo en función del tiempo para una membrana de UF. Zona 1: Absorción de las proteínas en la superficie y en el interior de los poros de la membrana formando una monocapa (formación de R_F). Zona 2: Deposición convectiva de las proteínas, formación de la capa de polarización (formación de R_P). Zona 3: Consolidación de la capa de ensuciamiento.

Por lo tanto, los solutos que atraviesan la membrana deben atravesar una suma de resistencias en serie, definida como R_T. Esta resistencia total corresponde a la suma de las resistencias debida a la membrana (R_M) y al soluto (R_S). Por lo tanto:

$$J = \frac{\Delta P}{\mu (R_M + R_S)} \qquad (3)$$

Donde:
R_M = resistencia hidráulica o resistencia intrínseca de la membrana (1/m)

La resistencia del soluto está formada por dos resistencias individuales:

$$R_S = R_F + R_P \qquad (4)$$

Donde:
R_F = es la resistencia debido al ensuciamiento irreversible formado a partir de las interacciones fisicoquímicas de la membrana con el soluto, dentro de los poros y en la superficie de la membrana (1/m)
R_P = es la resistencia debido a la capa de polarización del soluto sobre la superficie de la membrana, corresponde a un ensuciamiento reversible (1/m)

El ensuciamiento reversible formado sobre la superficie de la membrana puede ser disminuido al modificar las variables del sistema (presión transmembranal, concentración de la alimentación, velocidad del flujo de alimentación, etc.), mientras que el ensuciamiento irreversible no se ve afectado por los mismos [8].
La capa de soluto polarizada sobre la superficie de la membrana es el resultado de la presión aplicada, por lo tanto la Rp (resistencia debida a la capa de polarización) se define como:

$$R_P = \phi_1 \Delta P^2 + \phi_2 \Delta P \qquad (5)$$

Donde:
ϕ = es un parámetro dependiente de las características de transferencia de materia del sistema

De las ecuaciones (4) y (5), se tiene:

$$R_S = R_F + \phi_1 \Delta P^2 + \phi_2 \Delta P \qquad (6)$$

Introduciendo la ecuación (6) en (3), se obtiene el modelo de la resistencia:

$$J = \frac{\Delta P}{\mu (R_M + R_F + \phi_1 \Delta P^2 + \phi_2 \Delta P)} \qquad (7)$$

1 INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas ha surgido un gran interés en el uso de concentrados proteicos, esto se debe al aumento exponencial de la población que genera un déficit creciente a escala mundial de productos ricos en proteínas [1].

La Ultrafiltración (UF) se emplea como técnica para retener partículas, y concentrar y purificar macromoléculas a través de membranas porosas semipermeables y se encuentra extensamente utilizada en la industria farmacéutica y alimenticia [2].

En los métodos convencionales la proteína es extraída con tratamientos por precipitación, centrifugación, obteniéndose concentrados con pobres propiedades funcionales y produciéndose elevadas pérdidas a lo largo del proceso [3]. La UF es ventajosa frente a estos métodos tradicionales, ya que puede realizarse en una sola etapa, con bajo consumo energético y sin producción de subproductos contaminantes [4]. Además, se puede operar a bajas temperaturas permitiendo la separación y concentración de preparaciones biológicas sensibles al calor, esto permite obtener un concentrado proteico con buenas propiedades funcionales y sin producirse pérdidas de la proteína a lo largo del mismo [5].

En los procesos de UF, el ensuciamiento de la membrana es un factor crítico que afecta el desempeño y eficiencia de los procesos de membrana [6]. El ensuciamiento por soluciones macromoleculares, se define como la acumulación de algunos componentes del flujo de alimentación sobre la superficie de la membrana o dentro de los poros de la misma. Este fenómeno ha sido estudiado ampliamente durante los últimos tiempos ya que produce una disminución del flujo de permeado reduciendo la eficiencia de separación y limita la reutilización de la membrana [2], [6], [7]. Diferentes estudios han mostrado que el ensuciamiento proteico consiste en dos fenómenos: uno es la absorción de las proteínas dentro de los poros y sobre la superficie de la membrana, el cual corresponde a una interacción específica entre la proteína y la membrana, este ensuciamiento es irreversible. El otro es un depósito de proteínas agregadas y desnaturalizadas sobre la superficie de la membrana, formando una capa de polarización la cual ofrece una resistencia hidráulica que se suma a la resistencia ejercida por la membrana en sí [6], [2], [7], [8]. Numerosos esfuerzos se han realizado para prevenir el ensuciamiento de la membrana, y optimizar los parámetros operacionales, tales como presión, velocidad de flujo, temperatura, pH y concentración de alimentación, los cuales se establecen empíricamente de modo de disminuir el ensuciamiento durante la separación por medio de procesos con membranas. Por ello se hace necesaria la determinación del mecanismo o modelado del ensuciamiento de la membrana con el objetivo de determinar las condiciones óptimas de trabajo para obtener el menor ensuciamiento o mayor eficiencia del proceso [6].

En este trabajo, se investigó el efecto de los parámetros operativos seleccionados sobre el flujo de la membrana de UF de polisulfona empleados para concentrar plasma bovino y sobre el desarrollo de modelos para describir el fenómeno.

1.1 *Modelado del flujo de permeado*

La fuerza impulsora en el proceso de concentración por ultrafiltración (UF) es la diferencia de presión entre ambos lados de la membrana. La presión transmembranal se define como:

$$\Delta P = \frac{P_{(alim)} + P_{(conc)}}{2} - P_{(perm)} \qquad (1)$$

Donde:
P_{perm} = presión de permeado
P_{conc} = presión de concentrado
P_{alim} = presión de alimentación

El modelo de flujo utilizado es el modelo de la resistencia ([9], [3]), en el cual se asume que el flujo (J) es proporcional a la presión transmembranal (ΔP) e inversamente proporcional a la viscosidad (μ) del permeado:

$$J = \frac{\Delta P}{\mu R_T} \qquad (2)$$

Donde:
J = densidad de flujo de permeado [=] $m^3 / m^2 h$
μ = viscosidad del filtrado [=] Pa . s
ΔP = presión de operación [=] Pa
R_T = es la resistencia total al flujo

Los valores de R_T y ΔP son útiles no solo para modelar, sino también para evaluar a lo largo del tiempo la estabilidad de la membrana. Durante el

2.3.2Cálculo de la resistencia provocada por el soluto (R_S)

Utilizando como alimentación la solución de plasma bovino, se procede a recircular el flujo de permeado y de concentrado al tanque de alimentación, de manera de mantener constante las condiciones de la solución de alimentación. Luego se realiza la variación dentro de un determinado rango de la presión transmembranal, dejando, en cada caso, estabilizar el sistema hasta alcanzar un estado estacionario. Se procede a medir el flujo de permeado correspondiente a cada presión. A partir de los datos de J, ΔP y R_M, se despeja R_S de la ecuación (2) y se calculan los valores de R_S para las diferentes presiones transmembranales aplicadas.

2.3.3Cálculo de la resistencia debida al ensuciamiento irreversible (R_F) y a la capa de polarización (R_P)

A partir de los datos obtenidos anteriormente se grafica R_S vs ΔP y de la curva se tiene una ecuación polinómica de segundo grado. A partir de esta ecuación, se obtienen los valores de R_F, ϕ_1 y ϕ_2. Reemplazando estos valores en la ecuación (7), se obtiene el modelo del flujo característico del sistema.

Se determinó la viscosidad de la solución por medio de un viscosímetro capilar tipo Canon-Feske empleando la siguiente ecuación:

$$\mu = \rho t K \qquad (8)$$

Donde:

μ = viscosidad de la solución (poise)
ρ = densidad de la solución (g/ cm^3)
K = constante del equipo (cm^2/s^2)

La densidad se determinó experimentalmente por medio de un densímetro Mettler (Mettler Instrument Corporation).

Ambas determinaciones se realizaron a una temperatura de 10 °C de modo de igualar las condiciones operativas, los resultados obtenidos fueron: 1,061 g/cm^3 (densidad) y 2,46 g/cm s (viscosidad).

3 DISCUSIÓN Y RESULTADOS

3.1 *Determinación de las resistencias en serie de la UF de plasma bovino*

A partir de los datos de densidad de flujo de permeado y de presión obtenidos durante la experiencia se realizó la gráfica de J vs ΔP, mostrada en la Fig. 3.

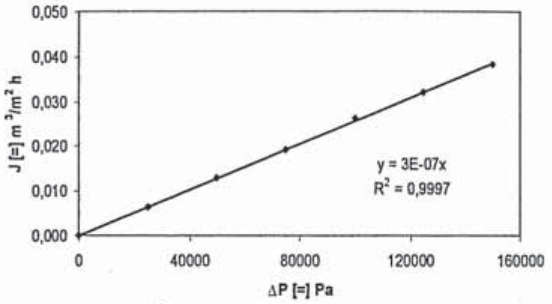


Figura 3. Densidad de flujo de permeado (J) vs presión transmembranal. Alimentación: agua destilada. (T = 10 °C).

De la ecuación obtenida en la Fig. 3, se tiene:

$$J = \frac{\Delta P}{\mu R_M} \qquad (9)$$

Donde:

μ = viscosidad del agua = 1 poise

De la inversa de la pendiente se obtiene la resistencia intrínseca de la membrana. Por lo tanto:

- $R_M = 3{,}33 \times 10^6\ m^{-1}$

Graficando los datos obtenidos experimentalmente del flujo para una alimentación de plasma bovino al 3 % (p/v) vs la presión transmembranal se obtiene la Fig. 4.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 *Materia prima*

Se utiliza plasma bovino, secado por spray (Yerubá S.A. Rep. Argentina), cuyas proteínas tienen diferentes masas moleculares que van desde 15.000 a 80.000 Da. Su composición se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Composición porcentual del plasma bovino (Yerubá S.A.)

Componentes	Composición porcentual %
Proteína	85
Cenizas	10
Humedad	4
Compuestos de bajo peso molecular	1

2.2 *Equipo de ultrafiltración (UF) y procedimiento experimental*

Para la ultrafiltración de plasma bovino se utilizó un cassette de Pellicon (Millipore, USA) con membranas modificadas de polisulfona, con un corte de peso de 10 kDa. El área total de membrana es de 0.47 m^2. Este corte de peso molecular (MWCO) retiene la totalidad de las proteínas, logrando su concentración. La presión transmembranal (ΔP, ecuación 1) y el flujo de recirculación fueron controladas por la válvula indicada en la Fig. 2 y el flujo de entrada, fue proveído por una bomba de velocidad variable (Procon®) proporcionado desde un tanque de alimentación termostatizado a 10 ± 1 °C, de modo de evitar la desnaturalización de las proteínas. La presión que se aplicó a través de la membrana fue medida con dos manómetros y el flujo del permeado fue determinado midiendo el volumen del líquido filtrado recogido durante cierto período de tiempo. Para proteger la membrana de UF contra el ensuciamiento provocado, principalmente por la proteína desnaturalizada, la solución de alimentación se pasó a través de un cartucho de microfiltración de acero inoxidable de 60 µm (Gora).

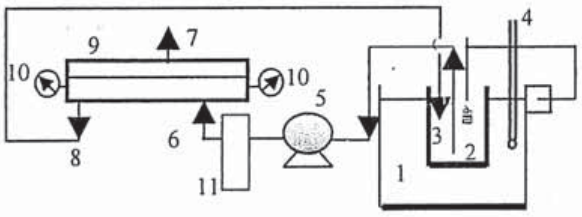


Figura 2. Esquema del equipo de UF. 1) Baño termostático; 2) Serpentín; 3) Tanque de alimentación; 4) Termómetro; 5) Bomba peristáltica; 6) Entrada de la solución de alimentación; 7)Flujo de permeado; 8) Flujo de concentrado; 9) Celda de UF; 10) Sensores de presión; 11) Prefiltro.

La concentración experimental de la suspensión de plasma bovino utilizada fue del 3 % (p/v), la cual se disolvió mediante un agitador de paleta. La solución obtenida fue prefiltrada empleando un soporte poroso (Videlon) para remover agregados macroscópicos. Todo el sistema se encontraba aislado y el tanque de alimentación termostatizado a 10 °C.

2.3 *Modelado del flujo de la membrana de UF*

Para la obtención de la ecuación característica de la membrana, se realizaron las siguientes experiencias:

2.3.1 Cálculo de la resistencia intrínseca de la membrana (R_M)

En el estudio se emplea agua destilada como solución de alimentación trabajando con recirculación total del flujo de permeado y concentrado, manteniendo de esta forma constante las condiciones de la solución de alimentación. Las experiencias se realizaron dentro de un rango de de presión transmembranal entre 0 y 1,5 bar, dejando, en cada caso, estabilizar el sistema hasta alcanzar el estado estacionario. Se procede a medir el flujo de permeado correspondiente a cada presión. Luego se grafica J (densidad de flujo de permeado) vs ΔP (presión transmembranal), de la inversa de la pendiente de la ecuación de la curva se obtiene la resistencia intrínseca de la membrana (R_M) (ecuación 3).

proceso. En consecuencia a partir de los resultados obtenidos para el modelado de la membrana, se obtiene que la presión óptima de trabajo para una solución de alimentación de plasma bovino al 3% (p/v) es de 1,25 bar, ya que para mayores presiones el flujo se vuelve independiente de la misma.

REFERENCIAS

[1] S. Fernández, C. J. Menéndez, S. Mucciarelli, A. Pérez Padilla. Concentration and desalination of zampa extract by membrane technology. Desalination, 159, 153-160, 2003.

[2] P. Prádanos, A. Hernández, J. I. Calvo, F. Tejerina. Mechanisms of protein fouling in cross-flow UF through an asymetric inorganic membrana. Journal of Membrane Science, 114, 115- 126, 1996.

[3] N. S. Krishna Kumar, M. K. Yea, M. Cheryan. Ultrafiltration of soy protein concentrate: performance and modeling of spiral and tubular polymeric modules. Journal of Membrane Science, 244, 235-242, 2004.

[4] Belhocine, H. Grib, H. Abdessmed, Y. Comeau, N. Mameri. Optimization of plasma proteins concentration by ultrafiltration. Journal of Membrane Science 142 , 159-171, 1998.

[5] T. R. Noordman, T. H. Ketelaar, F. Donkers, J. A. Wesselingh. Concentration and desalination of protein solutions by ultrafiltration. Chemical Engineering Science, 57, 693 – 703, 2002.

[6] T. Maruyama, S. Katoh, M. Nakajima, H. Nabetani, T. P. Abbott, A. Shono, K. Satoh. FT-IR analysis of BSA fouled on ultrafiltration and microfiltration membranes. Journal of Membrane Science, 192, 201-207, 2001.

[7] M. D. Caric, S. D. Milanovic, D. M. Krstic, M. N. Tekic. Fouling of inorganic membranes by adsorption of whey proteins. Journal Membrane Science, 165, 83 – 88, 2000.

[8] A. D. Marshall, P. A. Munro, G. Trägardh. The effect of protein fouling in microfiltration and ultrafiltration on permeate flux, protein retention and selectivity: A literature review. Desalination, 91, 65 – 108, 1993.

[9] M. Cheryan, Ph. D. Ultrafiltration Handbook. Techonomic Publishing Company, Inc. 1986.

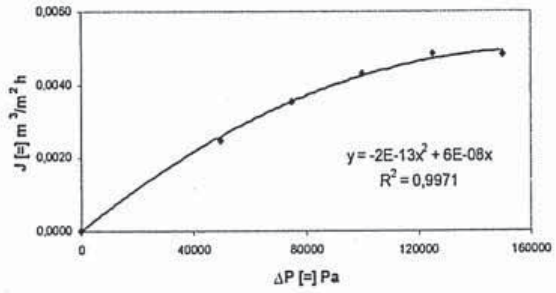


Figura 4. Densidad de flujo de permeado (J) vs presión transmembranal (T = 10 °C). Alimentación: plasma bovino al 3 % p/v

A partir de cada uno de los datos de esta gráfica es posible obtener las resistencias del ensuciamiento provocado por el soluto sobre la membrana (ecuación 3), utilizando el valor de viscosidad de la solución (T = 10 °C). Los valores de Rs son graficados en la Fig. 5.
Para obtener los valores R_F y R_P graficamos R_S vs ΔP, mostrado en la Fig. 5.

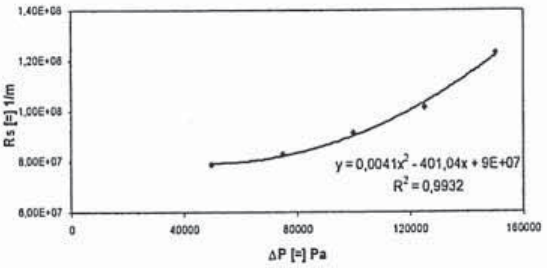


Figura 5. Rs vs ΔP (resistencia provocada por el soluto)

A partir de la ecuación de la Fig. 5 es posible determinar los valores de las resistencias provocadas por el ensuciamiento del soluto (proteína) sobre la superficie y dentro de la estructura de la membrana a través de la ecuación (6) se obtienen los valores de R_F, ϕ_1 y ϕ_2.

- $R_F = 9 \times 10^7\ m^{-1}$
- $\phi_1 = 0{,}0041\ Pa^2 / m$
- $\phi_2 = -401{,}04\ Pa / m$

Además considerando que:
- $R_M = 3{,}33 \times 10^6\ m^{-1}$

Por lo tanto, la ecuación característica para el modelado de la membrana se obtiene reemplazando estos valores en la ecuación (7):

$$J = \frac{\Delta P}{\mu\,(3{,}33 \times 10^6 + 9 \times 10^7 + 0{,}0041\,\Delta P^2 - 401{,}04\,\Delta P)}$$

o :

$$J = \frac{\Delta P}{\mu\,(9{,}33 \times 10^7 + 0{,}0041\,\Delta P^2 - 401{,}04\,\Delta P)} \qquad (10)$$

Al comparar los datos experimentales con los datos teóricos utilizando la ecuación (10), Fig. 6, es posible determinar el grado de aproximación obtenido a partir del modelo utilizando la teoría de la resistencia.

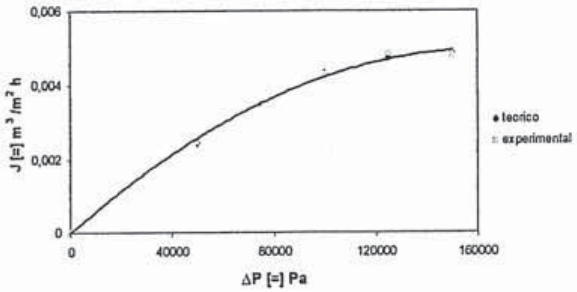


Figura 6. Gráfico de J (densidad de flujo de permeado) vs ΔP. Comparación de los datos experimentales y teóricos.

La Fig. 6 muestra que el modelo propuesto ajusta adecuadamente los datos experimentales de UF de plasma bovino, obteniéndose un error promedio de ± 0,00005 $m^3 / m^2 h$, es decir del 1,13 %.

4 CONCLUSIONES

El modelo del flujo obtenido a través del modelo de la resistencia interpreta perfectamente el flujo en estado estacionario de la membrana al aplicar diferentes presiones, caracterizando perfectamente el flujo de permeado a través de la membrana de UF, cometiéndose un error casi despreciable del 1,13 %.
Como podemos observar en la Fig. 5 a medida que aumentamos la presión se produce un aumento en la resistencia de polarización, por lo que el flujo disminuye. Además a elevadas presiones, como se observa en la Fig. 6, el flujo se vuelve independiente de la presión, por lo que un aumento mayor de la presión solo representaría un gasto energético, no ofreciendo ningún beneficio al

Modelo matemático de predicción de los requerimientos energéticos durante la fermentación vínica

R.A. Rodriguez, F.Y. Pons, C. A.Palacios & S.M. Udaquiola
rrodri@unsj.edu.ar, fpons@unsj.edu.ar, cpalacios@unsj.edu.ar, & estelaudaquiola@unsj.edu.ar
Instituto de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Juan

RESUMEN: La industria vitivinícola es una de las principales industrias de la provincia de San Juan, Argentina. Esta industria no se caracteriza por la peligrosidad de sus residuos, pero sí, por sus elevados consumos en energía y agua principalmente. La energía que se utiliza en la refrigeración del mosto de uva durante la fermentación es aproximadamente igual a un 50 a 70 % del total de energía utilizada. La temperatura de este proceso debe ser mantenida en un óptimo con el objetivo de garantizar las características del vino. En este trabajo se presenta un modelo matemático para predecir los requerimientos energéticos necesarios para mantener la temperatura de fermentación. Para ello se utilizó un modelo cinético con el objeto de simular la fermentación y se acoplaron al mismo las ecuaciones de balance de energía. Se realizaron simulaciones variando el volumen de los fermentadores. Se observó que el requerimiento energético varía en forma lineal con el volumen de los mismos.

Palabras clave: fermentación – temperatura - requerimientos energéticos - industria vitivinícola

ABSTRACT: The wine industry is the most important of San Juan, Argentina. This industry is not characterized by the dangerous wastes, nevertheless, for its high energy and water consumptions mainly. The energy used in the refrigeration during the fermentation is approximately equal to 50 at 70% of total utilized energy. The process temperature should be maintained in an optimum value to guarantee the wine characteristics. In this work a mathematical model is presented to predict the necessary energy requirements to maintain the fermentation temperature. In order to achieve this goal, a kinetic model was used to simulate the fermentation with the simultaneous equations of the energy balance. The simulations were carried out varying the tank volume. The energetic requirement shows a lineal variation with this volume.

Key Words: fermentation – temperature - energetic requirements - wine industry

$$\frac{dN}{dt}=\frac{\mu X_A}{Y_{X/N}} \quad (2)$$

$$\frac{dE}{dt}=\beta X_A \quad (3)$$

$$\frac{dS}{dt}=\frac{\beta X_A}{Y_{E/S}} \quad (4)$$

Donde las cuatro variables son la biomasa activa (X_A, g/l), nitrógeno (N, mg/L), etanol (E, g/L), y azúcar (S, g/L). Se supuso que toda la biomasa agregada durante la fermentación es activa. La velocidad específica de crecimiento para la masa celular (μ) es función de la concentración de nitrógeno:

$$\mu=\frac{\mu_{max} N}{K_N+N} \quad (5)$$

donde μ_{max} y K_N son la velocidad de crecimiento específica máxima y la constante de Monod para el crecimiento limitado por el nitrógeno (N) respectivamente. La velocidad de muerte o de inactivación celular (k_d) es una función de la concentración total de etanol:

$$k_d=k'_d E \quad (6)$$

Donde k_d' describe la sensibilidad de las levaduras al etanol (E). La velocidad de utilización de azúcar por célula es una función de la concentración de azúcar:

$$\beta=\frac{\beta_{max} S}{K_S+S} \quad (7)$$

Donde β_{max} y K_S son la velocidad específica máxima de utilización de azúcar y una constante tipo Michaelis- Menten para el uso del azúcar.

2.2 Planteo del balance de energía

Se asume que:

- El mosto es homogéneo durante la fermentación.
- La transferencia de calor por radiación es despreciable.
- La transferencia de calor por conducción es también despreciable.
- La energía intercambiada a través de las paredes del tanque es igual a un 10 % de la energía producida durante la fermentación [5].
- La energía perdida por evaporación de agua y etanol es alrededor del 4% de la energía producida durante la fermentación [6].

En este trabajo se considera que el tanque donde se lleva a cabo la fermentación es un cilindro vertical, el área de intercambio (A) es la suma del área de la pared lateral y la del círculo del fondo:

$$A=2\pi rH+\pi r^2 \quad (8)$$

Donde H es la altura del tanque de fermentación y r el radio del tanque (el espesor es despreciable). La ecuación de conservación de energía en el reactor puede ser escrita como sigue:

$$E_{acum}=E_{fer}+E_{pared}+E_{evap}+Q_c \quad (9)$$

Donde E_{acum} es la energía acumulada por el mosto, E_{fer} la energía generada durante la fermentación, E_{pared} la energía intercambiada por las paredes del tanque, E_{evap} la energía perdida por evaporación del agua y del etanol y Q_c la energía requerida para enfriar el tanque, también llamadas frigorías.

Cuando la temperatura no está controlada, la energía acumulada por el mosto debido al calor generado por el proceso de fermentación sigue la siguiente expresión:

$$E_{acum}=10^{-3}\rho_{mosto} V C_{Pmosto}\frac{dT}{dt} \quad (10)$$

Donde ρ_{mosto} es la densidad del mosto, V el volumen del mosto Cp_{mosto} el calor específico del mosto en fermentación y dT/dt es la velocidad de cambio de la temperatura del mosto con el tiempo. Se consideró que el calor específico varía en función de la concentración inicial de azúcar (S_0) y del etanol presente en el mosto (E):

$$Cp_{mosto}=0.1*(S_0-2.17*E)+866 \quad (11)$$

La densidad del mosto depende del progreso de la fermentación y de la temperatura del mosto, de acuerdo a la siguiente expresión:

1 INTRODUCCIÓN

La industria vitivinícola es una de las principales industrias de la provincia de San Juan. Esta industria no se caracteriza por la peligrosidad de sus residuos, pero sí, por sus elevados consumos en energía y agua principalmente.

Todas las operaciones mediante las cuales se transforma la uva en vino se denomina "VINIFICACIÓN". En términos generales, aunque los sistemas difieran de un lugar a otro, según se trate de uvas blancas o tintas, las diferentes etapas del proceso de elaboración de vinos son: Vendimia y transporte de uvas, recepción y toma de muestra, despalillado y molienda, sulfitado, maceración, fermentación, prensado, trasiego, clarificación, estabilización, filtración, crianza y fraccionamiento.

Una de las etapas más importantes en el proceso de obtención del vino es la fermentación. Las dificultades de la fermentación constituyen uno de los mayores problemas de la vinificación. La fermentación alcohólica del mosto de uva es el resultado de la interacción de muchas variables entre las cuales se puede mencionar la composición del mosto inicial, la temperatura y la concentración de biomasa presente durante el proceso de fermentación.

Las levaduras de vino, presente en el mosto o inoculadas en el tanque de fermentación, son responsables del conversión de azúcar de jugo de uva en etanol. A menudo, sin embargo, las fermentaciones toman mayores tiempos que los esperados para finalizar (fermentaciones lentas) o dejan un vino incompleto con un poco de azúcar residual (las fermentaciones estancadas). De la perspectiva de un productor de vino, estas fermentaciones problemáticas resultan en la pérdida de la capacidad de tanque debido a los tiempos de procesamiento y reacción de fermentación prolongados, que afectan el producto final, como la inestabilidad microbiana causada por el azúcar residual o incluso, la oxidación debido a la pérdida de la capa de dióxido de carbono protectora sobre el elemento esencial.

Uno de los parámetros que afecta fuertemente el proceso de fermentación es la temperatura, la cual debería ser tal, que permita la mejor expresión de las sustancias volátiles aromáticas, asegure el desarrollo correcto del proceso fermentativo y contribuya a la obtención de un producto dotado de la tipicidad propia de su denominación. La temperatura de fermentación afecta la evolución de la misma en distintos aspectos, entre los cuales se pueden mencionar:

- Su duración, la cual disminuye al aumentar la temperatura.
- La población viable de levaduras (disminuye al disminuir la temperatura)
- La síntesis de ácidos grasos de cadena corta (es mayor cuanto más baja es la temperatura de fermentación).
- El consumo de materia nitrogenada, la cual aumenta al aumentar la temperatura.

En general, los vinos elaborados a baja temperatura son más aromáticos y mejor valorados en el análisis organoléptico, pero en contraposición, su fermentación puede ser incompleta. Teniendo en cuenta los aspectos anteriormente mencionados, se deduce la necesidad de llevar a cabo la fermentación a una temperatura óptima. De acuerdo a investigaciones realizadas por otros autores, la fermentación debe ser realizada alrededor de los 18°C [1]. A fin de mantener la temperatura en ese valor, es necesario extraer el calor generado durante el proceso fermentativo. Para ello, son imprescindibles los sistemas de refrigeración, siendo los principales responsables del consumo de energía eléctrica total consumida en las bodegas, con aproximadamente el 50-70% de la misma [2].

Dada la importancia del consumo de frío en la industria vitivinícola, este trabajo presenta un modelo matemático que simula el proceso de fermentación. Este modelo tiene en cuenta las diferentes variables que afectan dicho proceso, siendo su principal objetivo evaluar la energía requerida para enfriar el tanque durante la fermentación para, en una etapa posterior, optimizar esta refrigeración.

2 DESARROLLO DEL MODELO

2.1 Simulación del proceso de fermentación

El modelo de fermentación utilizado en este trabajo fue propuesto por Cramer et al. [3] y Coleman et al. [4]. El mismo consiste en cuatro ecuaciones diferenciales acopladas:

$$\frac{dX_A}{dt} = \mu X_A - k_d X_A \qquad (1)$$

cuenta que los requerimientos energéticos de un fermentador representan entre el 50 y 70% del consumo de electricidad de la planta, podríamos decir que dicho consumo variará entre 30671 y 42940 kcal por fermentador existente en ella, en forma aproximada. A fin de tener una idea más acabada del requerimiento total de energía, estos valores fueron transformados a kW*h, resultando un consumo total de energía entre 356.68 kW*h y 499.36 kW*h.

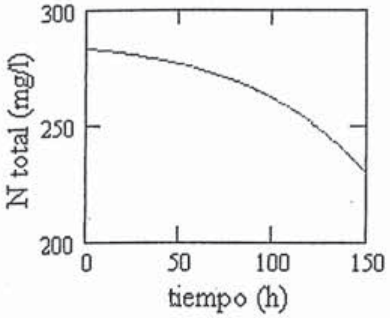


Figura 3. Variación de la concentración de nitrógeno total en el tiempo. Resultados de la simulación.

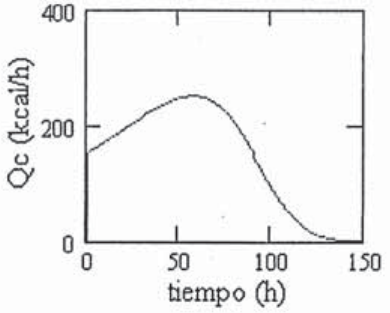


Figura 4. Variación del requerimiento energético en el tiempo. Resultados de la simulación.

Al evaluar la influencia de la capacidad del fermentador en los requerimientos energéticos, se obtuvieron los resultados mostrados en las Fig. 5 a 8. Se puede observar que cuando el tamaño del fermentador aumenta, la producción de calor debido al proceso de fermentación, crece más rápidamente, lo que afecta directamente a la velocidad de requerimiento energético en el tiempo.

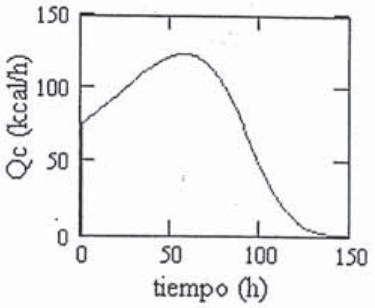


Figura 5. Variación del requerimiento energético en el tiempo. Resultados de la simulación. Volumen $3m^3$.

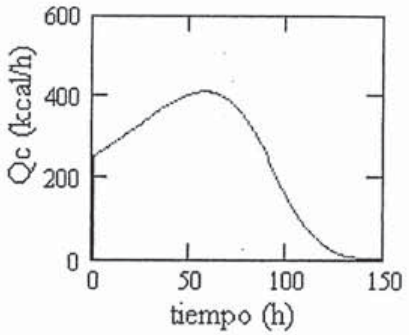


Figura 6. Variación del requerimiento energético en el tiempo. Resultados de la simulación. Volumen $10m^3$.

En la Fig. 8 se puede observar una dependencia lineal del requerimiento energético con el volumen del fermentador.

5 DISCUSIÓN

Teniendo en cuenta los resultados arrojados por el modelo de fermentación, se observa que al comienzo de este fenómeno, se produce inmediatamente el consumo de azúcar para transformarla en alcohol. Se alcanza una fermentación completa a las 120 hs (5 días). Los parámetros representativos del modelo como son la velocidad de crecimiento celular, la velocidad de consumo de azúcar, y la velocidad de inactivación celular en presencia de etanol, son altamente dependientes de la temperatura. Todas las otras variables (velocidad de crecimiento celular al utilizar nitrógeno, velocidad de utilización de azúcar, la constante de Monod para un crecimiento limitado de nitrógeno, la constante de Michaelis-Menten para la utilización de azúcar) varían muy

$$\rho_{masto} = -1.085*E + 0.405*S_0 - 0.031*T + 996.925 \quad (12)$$

La fermentación es una reacción exotérmica. La energía generada durante la fermentación en el tanque es igual a [7]:

$$E_{fer} = \frac{500*2.17}{180} V \frac{dE}{dt} \quad (13)$$

3 SIMULACIÓN

En este trabajo se planteó un balance energético, el cual fue combinado con un modelo cinético de fermentación alcohólica, a los efectos de estimar la energía necesaria para regular la temperatura de un tanque industrial. Este requerimiento se simuló para fermentadores cuyo material de construcción es acero inoxidable, enfriado por camisas refrigerantes, de una capacidad de 6.107 m3, los cuales son usados en una bodega de mediana envergadura situada en la provincia de San Juan, Argentina. La altura de los fermentadores es igual a 2.50 m. Con el fin de estudiar la variación de los resultados con el volumen del fermentador, se trabajó con valores de los mismos iguales a 3, 10 y 15 m^3.

Se consideró que la temperatura inicial del mosto es de 18 °C y el mismo deberá ser mantenido a dicha temperatura, la cual es la temperatura óptima para vinos blancos, rosados frescos y afrutados [1].

Con el objeto de simular el proceso de fermentación, se consideró que el mosto tenía una concentración inicial de azúcar y de nitrógeno total iguales a 291g/l (29.1 Brix)y 283 mg/l respectivamente [4]. Al mismo usualmente, se le adiciona una cantidad de levaduras igual a 0.15 g/l (Dato obtenido de las bodegas de nuestro medio). Los parámetros del modelo utilizado son listados en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros de fermentación utilizados en el modelo [4].

Parámetros del modelo	Valor
Log $\mu_{máx}$	-1.8
Log $\beta_{máx}$	0.613
Log K_N	-4.610
Log K_S	2.30
Log k'_d	8.21
Log $Y_{X/N}$	-1.57
Log $Y_{E/S}$	0.24

4 RESULTADOS

Los resultados obtenidos de la simulación llevada a cabo del proceso de fermentación en tanques de un volumen igual a 6.107 m^3 pueden observarse en las Fig. 1 a 4.

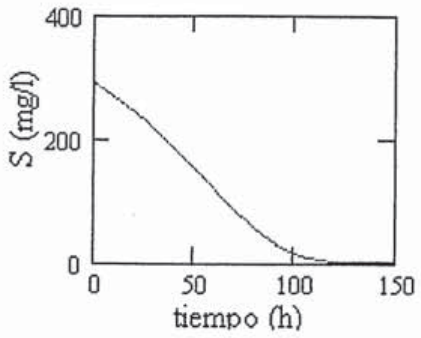


Figura 1. Variación de la concentración de azúcar en el tiempo. Resultados de la simulación.

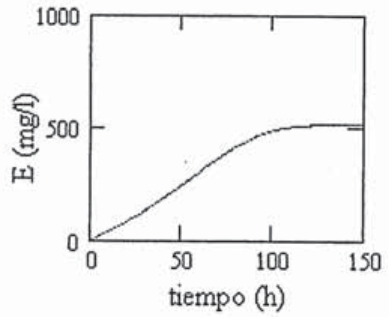


Figura 2. Variación de la concentración de etanol en el tiempo. Resultados de la simulación.

Al comienzo de la fermentación, se observa un alto consumo de azúcar y por ende, una gran producción de alcohol. La concentración de alcohol llega a su máximo aproximadamente a las 100 h. Durante toda la fermentación se observa un consumo de nitrógeno total igual al 18 % del nitrógeno inicial. Con respecto a los requerimientos energéticos, se observa que el mismo es alto al comienzo de la fermentación, llegando a un máximo a las 48 h, siendo este valor igual a 276.29 kcal/h. El requerimiento total de energía durante todo el proceso de fermentación es igual a 21470 kcal, incluyendo las pérdidas por evaporación de etanol y agua, como así también, la energía intercambiada a través de las paredes del reactor. Si se tiene en

en función del volumen del fermentador en forma lineal.

El modelo planteado en este trabajo puede utilizarse en el diseño de sistemas de refrigeración de nuevas bodegas como así también para optimizar los ya existentes en las mismas.

REFERENCIAS

[1] Santamaría P., López R., Gutierrez A., García-Escudero E. Influencia de la temperatura en la fermentación alcohólica. Zubía, Nº 7, pags. 137-149 137-149. 1995.

[2] López, A.; Solans, F.; Pomar, J. Necesidades frigoríficas en la vinificación en blanco. Procedimiento informático para su determinación. Vitivinicultura; 9-10: 32-35. 1993.

[3] Cramer, A. C., S. Vlassides, and D. E. Block. Kinetic model for nitrogen limited wine fermentations. Biotechnology and Bioengineering 77:49-60. 2002.

[4] Coleman M., Fish R., Block D. A Temperature-Dependent Kinetic Model for Nitrogen-Limited Wine Fermentations, Appl Environ Microbiol. 73(18): 5875–5884.

[5] Colombié S., Malherbe S., Sablayrolles J. Modeling of heat transfer in tanks during wine-making fermentation. Food Control 18 953–960. 2007.

[6] Vannobel C. Refroidissement d'un moût en fermentation par évaporation naturelle d'eau et d'alcool. Connaissance de la Vigne et du Vin, 22, 169–187. 1988.

[7] El Haloui, N. E., Picque, D., & Corrieu, G. Mesures physiques permettant le suivi biologique de la fermentation alcoolique en oenologie. Sciences des Aliments, 7, 241–265. 1987.

poco con esta variable. Los parámetros del modelo cinético de fermentación fueron tomados de bibliografía [4]. A fin de garantizar que el proceso sea completo, y poder así calcular el requerimiento energético necesario para el mismo, en esta simulación se mantuvo la temperatura de fermentación igual a 18 °C. Si bien, existen fermentaciones que se llevan a cabo a otras temperaturas, generalmente más bajas, se utilizó esta temperatura como óptima para la realización de este proceso, teniendo en cuenta la bibliografía consultada [1].

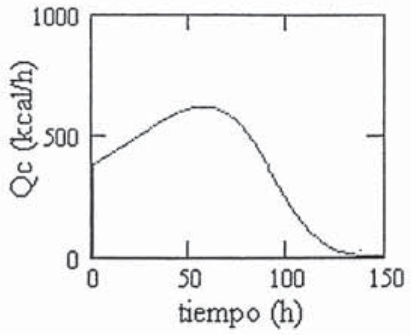


Figura 7. Variación del requerimiento energético en el tiempo. Resultados de la simulación. Volumen 15 m^3.

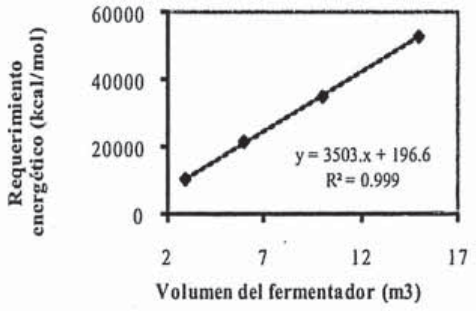


Figura 8. Variación del requerimiento energético en función del volumen del fermentador.

La presencia de nitrógeno (nutriente celular) durante la fermentación favorece que la misma se lleve a cabo en forma completa. Si se aumenta la concentración inicial de azúcar a 991 mg/l, en presencia de nitrógeno, la fermentación se completa a los 6 días. Si la misma se disminuye a 91 mg/l, este fenómeno se completa a los 5 días. Estos resultados evidencian la importancia de la presencia de nitrógeno como nutriente celular durante la fermentación. Si este nutriente no está presente durante dicho proceso, el mismo se estanca aunque la concentración inicial de azúcar sea alta. Sin embargo, cuando la concentración de azúcar inicial en el mosto varía, el requerimiento energético también lo hace, siendo mayor cuando esta concentración inicial el mayor.

En este trabajo, se asumió que el mosto es homogéneo gracias a la producción de burbujas de CO_2 durante la fermentación, lo cual generalmente es correcto en el caso de las fermentaciones de vino blanco, no así para fermentaciones de vino tinto, ya que en la fase líquida, debajo del sombrero, pueden existir gradientes de temperatura.

Se consideró que las pérdidas de energía a través las paredes del fermentador, son iguales al 10% del calor de fermentación, lo cual es válido para tanques de grandes volúmenes. La relación área/volumen para este tipo de tanques es pequeña por lo que las pérdidas por convección sólo representan un pequeño porcentaje del calor producido por fermentación. Además, se supuso que la transferencia de energía por conducción en las paredes del fermentador es despreciable, lo que conduce a errores menores al 10 % en el caso de tanques de acero inoxidable.

Con respecto a las pérdidas de energía por evaporación de agua y etanol, la misma es afectada por la velocidad de inoculación, la concentración de azúcar, la temperatura del mosto y la temperatura en el espacio libre del reactor. Una buena aproximación de las mismas es considerarlas igual al 4% del calor de fermentación [6].

6 CONCLUSIONES

En este trabajo se ha planteado un modelo destinado principalmente, al cálculo de los requerimientos energéticos para enfriar un fermentador utilizado durante la obtención de vino. A fin de calcular la energía desprendida durante la fermentación, se utilizó un modelo propuesto en bibliografía. El mismo plantea la variación de masa celular, azúcar, etanol y nutrientes en el tiempo. Se observa, mediante los resultados obtenidos, que la presencia de estos últimos durante la fermentación es de fundamental importancia para que este proceso se lleve a cabo en forma completa, como así también la temperatura, la cual se mantuvo en un valor óptimo. En los resultados obtenidos mediante la simulación, se observó que los requerimientos energéticos varían

Tratamiento biológico aerobio de alpechín con aplicación del hongo basidiomiceto PSC01.

S.M. da Silva, G. Affranchino, C.M. S. Rojas, G.P.Ortiz ,G. Ohanian & D.E. Fernandez
smdsil08@yahoo.com.ar; danndez@yahoo.com.ar; gohanian@frm.utn.edu.ar
Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional

RESUMEN: Unos de los principales efluentes de la industria olivícola, es el denominado alpechín (ALP), que por sus características tales como acidez, elevada demanda química de oxígeno y altas concentraciones de fenoles, además de los grandes volúmenes de efluentes generados, representa un importante problema ambiental. En este trabajo se investigó la viabilidad de aplicación de un tratamiento microbiológico aeróbico del ALP, sin la aplicación de procesos químicos previos y tampoco de esterilización, y con la utilización de una cepa aislada de un hongo basidiomiceto comestible, del género *Pleurotus*, cepa denominada PSC01. En el proceso el hongo fue inoculado en medio de cultivo constituido de ALP, sin esterilización y sin dilución, mantenido en agitación constante, por 21 días, a temperatura de ± 28° C. Como parámetros fueron evaluados, los polifenoles totales, la DQO y el contenido de nitrógeno y fósforo. Los resultados obtenidos mostraron que hubo: un cambio de pH de 4,7 hasta un 7,3, degradación de polifenoles de hasta un 48%, reducción de DQO un 60%, de N un 51% y de P un 66%.

Palabras clave: alpechín – polifenoles – microorganismos – tratamiento biológico y aeróbico

ABSTRACT: Olive mill wastewaters (OMW) is a residue generated from olive industries, which by its characteristics such as acidity, high chemical oxygen demand and high concentrations of phenols, in addition to the large amounts generated, represent a major environmental problem. The feasibility of implementing a microbiological aerobic treatment to OMW, without the application of chemical processes and no prior sterilization, and with the use of a strain isolated from an edible fungus basidiomycete, gender *Pleurotus* strain PSC01, was investigated in this work. In the process the fungus was inoculated in growing medium consisting of OMW, without sterilization and without dilution, kept in constant agitation for 21 days at temperature ± 28 ° C. As parameters were evaluated, the total polyphenols, COD, nitrogen and phosphorus content. The results demonstrate that happened: a change in pH of 4.7 to 7.3, degradation of polyphenols up to 48%, reduction in COD 60%, 51% to N and 66% to P.

Key Words: olive mill wastewaters – poliphenoles - microorganisms- biological and aerobic treatment

hongo y para verificación de la efectividad del tratamiento empleado. Esas alícuotas fueron agregadas a erlenmeyers de 250 mL sometidos a agitación continua y sin previa esterilización, por 21 días, a temperatura de ±28° C.

2.4 *Procedimientos analíticos*

Varios parámetros fueron medidos durante la realización de los experimentos: DQO, nitrógeno, fósforo y polifenoles, que fueron determinados a partir de los análisis de alícuotas de 200 mL sometidas a filtración (filtro Whatman n°1) y centrifugación (3.500rpm, 30 min.). Todos los ensayos fueron realizados por triplicado. El Nitrógeno fue determinado por el método de Kjeldahl [8], los compuestos fenólicos fueron analizados espectrofotométricamente de acuerdo con el método Folin-Ciocalteu [9]. La determinación de Fósforo por SM 4500-P-C, DQO se efectuó de acuerdo a SM5220-D, reflujo cerrado y método colorimétrico según las normas SM 2540 B y SM 2540 C. Estos métodos han sido publicados conjuntamente por American Health Association, American Water Works Association y Water Pollution Control Federation (APHA, AWWA, WPCF) [10]. La variación del pH se midió con un pHmetro-MD Instrumentalia S.R.L.

2.5 *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 *Caracterización del ALP sin tratamiento*

El alpechín fue obtenido de una industria olivícola de la región de Mendoza, la cual produce el aceite por prensado de la aceituna. Posteriormente, la muestra utilizada en los experimentos, fue caracterizada por análisis físico-químicos. Los resultados de los análisis de las características contaminantes más destacados se muestran en la Tabla 1.

Los valores presentados en la Tabla se refieren a la concentración inicial (Control) de todos los parámetros medidos en el ALP, antes de ser sometido a los 21 días de tratamiento biológico.

Tabla 1. Características físico-químicas del alpechín

Parámetros	Valor Inicial (mg/L)*
DQO	59250
Polifenoles	2282
Nitrógeno	32.1
Fósforo	297
pH	4,7

* Excepto para pH.

A lo largo de 21 días fueron hechos análisis relativos a los cambios originados por el tratamiento biológico, en las características físico-químicas del ALP. Todos los ensayos del tratamiento biológico, están referidos en las figuras siguientes y representan los resultados del tratamiento en el cual las muestras fueron sometidas a agitación constante, durante los 21días, a temperatura de ±28 °C, sin ningún tipo de esterilización previa del ALP estudiado. Tampoco los microorganismos fueron sometidos a procesos previos de aclimatación al ALP. En todas las figuras la columna denominada Control, se refiere a muestras de ALP no sometidas al tratamiento biológico.

La Figura 1 presenta la variación de la DQO y de los polifenoles totales durante los 21 días del tratamiento del ALP, con la utilización del hongo basidiomiceto PSC01.

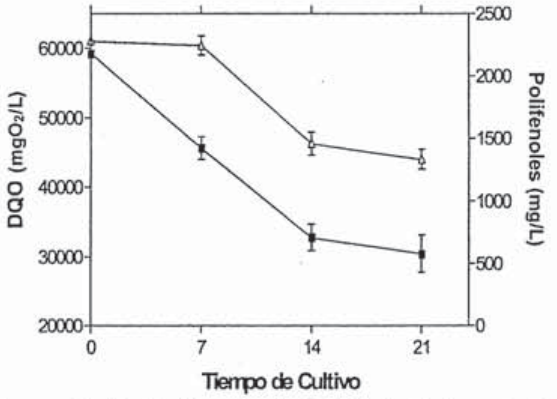


Figura 1. Variación de la DQO (—▪—) y de los polifenoles totales (—▫—), en 21 días de tratamiento biológico del ALP.

Los resultados obtenidos muestran que al cabo de los 21 días la reducción de los valores de la DQO fue acompañada de la reducción de la concentración

1 INTRODUCIÓN

La industria olivícola produce grandes cantidades de residuos líquidos, denominados genéricamente alpechín (ALP), resultantes de la elaboración de aceite de oliva. Por cada litro de aceite producido, 2,5 L de efluentes son liberados. En la región Mediterránea se producen aproximadamente 10 millones m^3/año de efluentes líquidos generados por el procesamiento trifásico de la aceituna [1]. El alpechín liberado contiene polifenoles, azúcares, ácidos volátiles, polialcoholes y compuestos nitrogenados [2]. El ALP es un líquido de color oscuro, con una concentración de fenoles que alcanza hasta 10 g/L, lo cual contribuye a su alta toxicidad y actividad antibacteriana. La elevada demanda química de oxígeno (desde 100 hasta 200 g/L) también contribuye a su alta toxicidad [3]. La disposición de estos efluentes en los cauces trae como consecuencia una degradación ambiental debido a la gran cantidad de compuestos orgánicos descargados. Los suelos también son contaminados por la deposición del ALP y por los problemas de fitotoxicidad que este residuo puede generar [1]. Como metodología de tratamiento, las industrias olivícolas generalmente realizan una concentración del ALP mediante evaporación en piletas abiertas, pero ésta no es satisfactoria por generar un residuo difícil de ser removido, de color negro y con olor desagradable [4]. Otras metodologías han sido investigadas incluyendo procesos físico-químicos como flotación, vaporización, uso de membranas especiales, neutralización con adición de H_2SO_4, oxidación por O_3, O_3/ H_2O_2 y reactivo de Fenton [1]. Estas alternativas han sido usadas para tratar el problema principal que es la reducción de la carga orgánica y para la degradación de los compuestos fenólicos responsables del color oscuro del efluente [4]. En la mayoría de los casos las tecnologías propuestas no son económicamente viables, el producto final sigue siendo tóxico y los métodos investigados no son fácilmente transferibles a la realidad de la industria olivícola [3]. Han sido estudiados métodos biológicos, combinando procesos anaeróbicos y aeróbicos, esterilización, pre-tratamiento térmico, dilución y otros [5]. Los polifenoles presentes en gran cantidad en el ALP tienen estructura química similar a la lignina [3], lo cual torna difícil su biodegradación, que es la etapa limitante del tratamiento de estos residuos por métodos biológicos [4]. La lignina puede ser degradada solamente por pocos microorganismos, tales como los hongos basidiomicetos, que son conocidos por su capacidad para degradar lignina, fenoles y varios contaminantes ambientales [1]. Existen algunos datos que hacen referencia a la aplicación de los residuos de la industria olivícola (generalmente con tratamientos previos) a los medios de crecimiento de los hongos basidiomicetos del género *Pleurotus* [6]. La habilidad de los hongos basidiomicetos de oxidar los compuestos de lignina es debido a las enzimas que esos hongos producen, tales como lacasas, manganeso-peroxidasa, lignina peroxidasa entre otras [5]. A pesar de las investigaciones ya existentes, con relación al tratamiento del ALP, la exploración de nuevas cepas de hongos hábiles en degradar este efluente, es aún de gran interés científico e industrial [7]. Además, no hay literatura actual ningún paper que haga referencia a la aplicación del hongo basidiomiceto *Pleurotus sajor-caju* (cepa denominada PSC01), al ALP, sin tratamiento previo del mismo y con la inoculación directa en ese residuo. Así, el presente trabajo tuvo como objetivo investigar la capacidad del hongo basidiomiceto PSC01, para reducir la DQO, los polifenoles y demás contaminantes presentes en el ALP, sin esterilización del efluente, con el fin de proponer un tratamiento aeróbico biológico, efectivo y económicamente rentable.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 *Microorganismos*

Los hongos fueron aislados de un cultivo sólido de cepas comestibles del género *Pleurotus*, adaptados e inoculados a las condiciones del ALP. La cepa de los hongos sometidos al proceso de adaptación fue denominada PSC01.

2.2 *Medios de cultivo del hongo*

La cepa PSC01 aislada del cultivo sólido en medio con aserrín, luego de 30 días de desarrollo a ±28 °C, fue usada como inóculo para el ALP. De este medio se sacaron porciones de 2 g que fueron agregadas como inóculo a los frascos de cultivos (erlenmeyer) conteniendo 180 mL del ALP.

2.3 *Cultivo del hongo en ALP*

El alpechín fue obtenido de una industria olivícola de la provincia de Mendoza. Las alícuotas de 180 mL del ALP, sin dilución y en triplicado, fueron usadas como medio de cultivo para el desarrollo del

importante reducción de DQO y polifenoles, considerando las condiciones iniciales del ALP y el tipo de cultivo al que el hongo fue sometido.

4 DISCUSIÓN

La comparación de todos los datos obtenidos, representados en la Tabla 2, muestra la evolución del proceso de biodegradación del efluente de la industria olivícola (ALP), en los 21 días de tratamiento biológico con el desarrollo del hongo basidiomiceto PSC01.

El acentuado cambio de pH, siendo inicialmente de 4,7 y alcanzando hasta 7,3 al los 21 días del tratamiento, es indicativo de la actividad de las enzimas fúngicas y tiene relación con diferentes factores involucrados en el crecimiento fúngico, Nüske y colaboradores [11] realizaron investigaciones con el hongo basidiomiceto *Nematoloma frowardii* y afirman que es conocida la secreción de oxalato, en cultivos líquidos durante la fase de crecimiento. Estos autores verificaron elevación del pH en el medio de cultivo asociada al aumento de la secreción de oxalato.

La determinación de fenoles es de importancia ambiental, puesto que un considerable número de contaminantes orgánicos, que se encuentran ampliamente distribuidos en el medio ambiente, poseen estructura fenólica. Fenoles y sus derivados, como clorofenoles y compuestos aromáticos son conocidos por su elevada toxicidad incluso en pequeñas cantidades (<1 ppm), los compuestos fenólicos afectan el gusto y olor de aguas potables y tienen efectos tóxicos en animales y plantas [12].

Cuando se analizan en la literatura referencias sobre polifenoles, se encuentra que en las investigaciones realizadas los tratamientos biológicos fueron aplicados en condiciones en donde el ALP fue previamente esterilizado o procesado térmicamente, y posteriormente fueron inoculados los hongos basidiomicetos con la finalidad de estudiar su capacidad de degradar dichos polifenoles. En tales ensayos la degradación de los fenoles alcanzó 78,3% en el ALP esterilizado y con dilución del 50%, y alrededor de 66% en el ALP procesado termalmente (100° C) y diluido (al 50%) [1]. Tales valores demuestran que los resultados obtenidos en esta investigación, con una reducción de hasta 48% de polifenoles, 60% de DQO, sin previa esterilización ni dilución del ALP, son bastantes significativos. Los datos logrados en el presente trabajo son corroborados por Maestro y colaboradores [13] que en un tratamiento del ALP con microorganismos aeróbicos específicos, se alcanzó a reducir la DQO en un 56% y los polifenoles en 66%, resultados similares a los alcanzados en esta investigación.

La evolución del medio y sus cambios pudieron ser mensurados por la demanda química de oxígeno (DQO). Distintas investigaciones llevadas a cabo, aplicando hongos basidiomicetos *Coriolus versicolor* y *Funalia trogii* indicaron que éstos presentan la capacidad de reducir 63% de DQO, 90% de fenoles en 6 días de cultivo agitado, pero con dilución previa del ALP en una proporción de 1:5 [3]. Así, constatase que las constantes cinéticas asociadas a la eliminación de DQO, siempre son más elevadas en experimentos en los cuales el ALP fue sometido a tratamiento previo [14].

Con respecto a los parámetros Nitrógeno y Fósforo, es conocido que uno de los impactos ambientales generados por efluentes con alto contenido de compuestos y de materia orgánica produce un enriquecimiento excesivo en nutrientes y consecuente eutrofización de los cuerpos de agua receptores [15].

La aplicación de tratamientos biológicos para la eliminación del exceso de nitrógeno y fósforo, como el realizado en esta investigación, es plenamente corroborada por datos de la literatura, que indican que existen métodos físico-químicos y biológicos para la eliminación del exceso de nitrógeno y fósforo de los efluentes. Los primeros, en la mayoría de los casos, no resuelven el problema ya que trasladan el contaminante de un ambiente a otro. Los segundos, sí eliminan al contaminante y, en condiciones idóneas, sus productos finales son CO_2 y N_2 [16].

Con relación al Nitrógeno, los datos obtenidos después de los 21 días de tratamiento biológico indican que se logró reducir el 51% de su concentración y el Fósforo, un 66 %, siendo tales valores significativos y que demuestran la efectividad del tratamiento biológico empleado.

5 CONCLUSIONES

Los experimentos efectuados mostraron la capacidad del hongo basidiomiceto PSC01 en sobrevivir y crecer en ALP sin previa aclimatación al mismo. Conjuntamente, el ALP, no fue diluido, ni esterilizado ni tampoco sometido a ningún tipo de tratamiento previo, lo que indica que el tratamiento biológico propuesto es efectivo y de bajo costo. Este último es reducido por la eficiencia del

de polifenoles totales presentes en el medio, en todas las etapas del crecimiento del hongo. Tales datos indican una probable interacción entre los dos parámetros representados en la Figura 1, evidenciado por el paralelismo del comportamiento de tales variables en todos los ensayos hechos al largo de la investigación. Ese aspecto es comprobado en la medida que ambos disminuyeron sus concentraciones iniciales en valores semejantes, o sea, 60% de reducción de DQO y 48% de los polifenoles totales, en la misma etapa del tratamiento, correspondiente a los 21 días de desarrollo del hongo PSC01 en ALP.

La Figura 2 se refiere a los ensayos en que se analizaron la variación de la concentración del Nitrógeno en los medios de cultivo con ALP, inoculados con el hongo basidiomiceto PSC01.

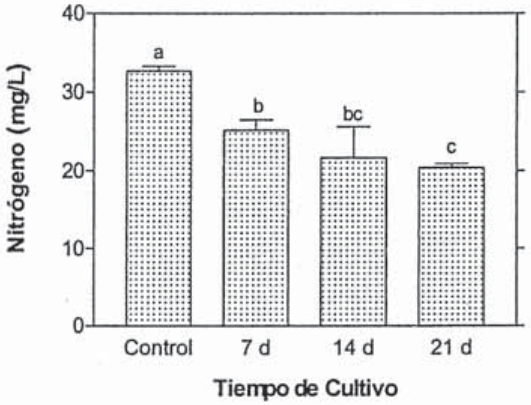


Figura 2. Variación de la concentración de Nitrógeno en los medios de cultivo durante los 21días.

El decrecimiento de la concentración del Nitrógeno fue observado en todas las etapas de desarrollo de los ensayos. Los menores valores para Nitrógeno fueron obtenidos en el 21º día de cultivo, cuando alcanzaron una reducción de 51%, en comparación a los valores iniciales presentes en el ensayo denominado Control (sin el hongo).

Los datos relativos a la variación de la concentración de Fósforo en los 21 días de tratamiento del ALP están representados en la Figura 3.

La concentración de Fósforo se redujo en todas las etapas del tratamiento del ALP, presentando hasta 66% de disminución en el 21º día de cultivo, comparado a los valores iniciales encontrados en el ensayo denominado Control.

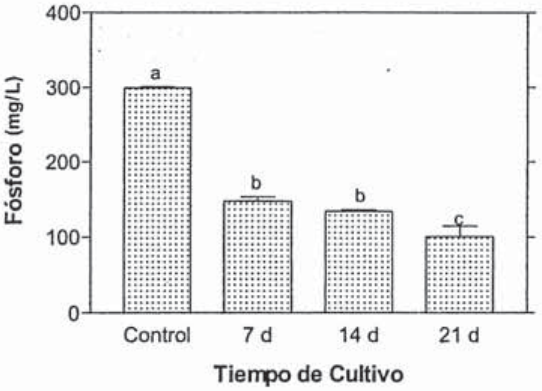


Figura 3. Variación de la concentración de Fósforo en los medios de cultivo durante los 21días.

La disminución de los valores encontrados para Nitrógeno y Fósforo, sirve como indicativo del crecimiento y desarrollo del hongo en ese medio, teniendo en cuenta, que tales compuestos químicos son indispensables para la síntesis de proteínas y estructuración celular de los microorganismos.

La Tabla 2 presenta un estudio comparativo de los cambios logrados en el ALP, después de 21 días de tratamiento, y porcentajes de reducción de los valores de los parámetros estudiados, después de 21 días de tratamiento biológico aeróbico del ALP, con la aplicación del hongo basidiomiceto PSC01. A partir de estos datos fueron hechos los estudios comparativos que indicaron los cambios de dichos parámetros, a lo largo del proceso de tratamiento biológico aeróbico del ALP. El pH inicial del medio fue de 4,7 y al final del tratamiento llegó a índices de 6,8-7,3 (datos no mostrados).

Tabla 2. Composición del Alpechín

Parámetros	Valor Inicial (mg/L)*	Valor Final (mg/L)*	Reducción (%)
DQO	59250	23700	60
Polifenoles	2282	1193	48
Nitrógeno	32.1	15.8	51
Fósforo	297	101	66
pH	4,7	7,3	----

* Excepto para pH.

Los datos representados como valores finales se refieren a la media de los triplicados de las muestras analizadas en el 21º día de tratamiento biológico. Todos los parámetros iniciales analizados en el Control, tuvieron cambios significativos después de 21 días del tratamiento, siendo lo más destacable la

[16] Borja, A. Los impactos ambientales de la acuicultura y la sostenibilidad de esta actividad, Bol. Inst. Esp. Oceanogr., 18: 41-49, 2002.

microorganismo en hacer cambios positivos cuando se consideran todos los parámetros estudiados. También la no esterilización implica ahorro de costos, ya que generalmente son altos debido a los insumos, a gastos energéticos y a equipos, que están involucrados en los procesos físico-químicos de esterilización. El beneficio de no ser sometido el efluente a tratamientos previos favorece la posibilidad de transferencia de tal tratamiento a las condiciones "reales" encontradas en las industrias olivícolas, reforzando la viabilidad del tratamiento.

El producto final obtenido puede ser usado como agua de riego sin riesgos de eutrofización de suelos y cauces. También está la posibilidad de tratar tal efluente por un largo plazo, y ser aprovechado como abono (condición a ser estudiada).

Como secuencia de esa investigación se harán estudios de optimización de los procesos involucrados en el tratamiento biológico empleado.

Los resultados obtenidos indican la viabilidad de tratamientos de biodegradación con empleo de hongos basidiomicetos, como una alternativa para depurar totalmente el alpechín o de ser un proceso previo a la aplicación de otros métodos aerobios con uso de otros microorganismos.

REFERENCIAS

[1] M.S. Fountoulakis, S. N Dokianakis, M. E. Kornaros, G.G. Aggelis & G. Lyberatos, Removal of phenolics in olive mill wasters using the white-rot fungus *Pleurotus ostreatus*, Water Research, 36, 4735-4744, 2002.

[2] E. Moreno, J. Quevedo-Sarmiento & A. Ramos-Cormenzana, Antibacterial activity of wastewaters from olive oil mills, In: Cheremisinoff PN, editor, Hazardous waste containment and treatment, vol. IV, 731-757, 1990.

[3] O. Yesilada, S. Sik & M. Sam, Biodegradation of olive oil mill wasterwater by *Coriolus versicolor* and *Funalia troggi*: effects of agitation, initial COD concentration, inoculum size and immobilization, World Journal of Microbiology & Biotecnology, 14, 37-42, 1998.

[4] A. Tsioulpas, D. Dimou, D. Iconomou & G. Aggelis, Phenolic removal in olive mill wastewater by strains of *Pleurotus* spp. In respect to their phenol oxidase (laccase) activity, Bioresource Technology 84, 251-257, 2002.

[5] R. Borja, A. Marin, L. F. Gomez & A. Ramos-Cormenzana, Anaerobic digestion of olive mill wastewater pretreated with Azobacter chroococum, Resource Conserv. Recycled, 9, 201-211, 1993.

[6] E. Kamis, N. Azbar, H. Yildiz & F. Kalyoncu, Feasibility of using olive mill effluent (OME) as a wetting agent during the cultivation of oyster mushroom, Pleurotus ostreatus, on wheat straw, Bioresour. Technology, 99, 164-169. 2008.

[7] E. Sanjust, R. Pompei, A. Resciggno, R. Augusto & M. Ballero, Olivem milling wastewater as a medium for growth of four Pleurotus species, Applied Biochemistry and Biotechnology, 31, 223-235, 1991.

[8] Standard Methods, (SM) 4500-Norg. B "Método Macro-Kjeldahl"; Métodos Normalizados de Análisis de Aguas y Aguas de Desecho.11° Vol.

[9] P. G. Waterman & S. Mole, Analysis of phenolic plant metabolites, In: J. H. Lawton & G. E. Likens editors, Methods in Ecology, Oxford, Blackwell Scientific Publications, 1994.

[10] APHA, AWWA, WPCF. Standard methods for examination of water and wastewater, 19th Ed. Washington DC, USA, American Public Health Association, 1995.

[11] J. Nüske, K. Schneibner, U. Dornberger, R. Ullrich & M. Hofrichter, Large scale production of manganese-peroxidase using agaric white-rot fungi, Enzyme and Microbial Tecnhnology, 30, 556-561, 2002.

[12] L. V. da Costa Silva, M. A. Zarur & A. M. Medeiros, Aplicação de Tecido do Cogumelo Paris (*Agaricus bisporus)* como Fonte da Enzima Tirosinase no Desenvolvimento Preliminar de um Biosensor de Fenol. VI SINAFERM & XVI Simpósio Nacional de Bioprocessos, 11, 2007.

[13] R. Maestro, R. Borja, A. Martín, J. A. Fiestas & J. Alba, Biodegradación de los compuestos fenólicos presentes en el alpechín, Grasas y Aceites, 42, 75-81, 1991.

[14] J. B. de Heredia Alonso, J. T. Antón, J. G. Rodríguez, M. P. R. Viseas & J. R. D. Vargas, Tratamiento biológico aerobio de alpechín depurado previamente con ozono, Grasas y Aceites, 51, 332-339, 2000.

[15] Watanabe, M. Can bioremediation bounce back?, Nature Biotechnology, 19: 1111-1115, 2001.

Biodiesel en Mendoza 2008. El caso particular de la colza

M. Malandrucco
m0n1a@yahoo.it
Facultad de Ingenierìa, Università di Roma "Tor Vergata"

J.E. Núñez Mc Leod[1,2]
jnmcleod@cediac.uncu.edu.ar

S.S. Rivera[2]
srivera@cediac.uncu.edu.ar
Investigador del CONICET
Instituto CEDIAC, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo

RESUMEN: En los últimos años Argentina asistió a una revolución de los biocombustibles, pero la verdadera explosión todavía tiene que llegar. Existen varios proyectos que prevén un tamaño notablemente mayor de producción, que podrán obtener ventajas de las economías de escala, dejando fuera del mercado a las Pyme´s. Mendoza no asistió al mismo desarrollo, sin embargo son varios los proyectos que se están llevando a cabo teniendo en cuenta la singular situación de la provincia. Claramente, cada región en base a sus características, busca la manera más rentable de producirlas. En Mendoza están investigando sobre la posibilidad de producir biodiesel, para autoproducir el 5% de biodiesel necesario para cumplir con la ley 26.093 en el 2010. La colza es una oleaginosa de invierno, así que no compite con los cultivos tradicionales, pudiendo ser utilizada como cultivo de segunda. Además, Mendoza cuenta con muchas hectáreas aptas no cultivadas, y la colza no necesita de un suelo particular, por esto potencialmente todas las áreas con derecho a riego y aptas que no están utilizadas, podrían ser dedicadas a este cultivo. Todavía este proyecto está en fase de experimentación.

Palabras clave: biodiesel – cultivos energéticos – colza – aceite – energía

ABSTRACT: In the last years, Argentina assisted at a bio-fuel revolution, but the true explosion is still to come. There are few projects predicting a much bigger size of production that could take advantage of the economies of scale, excluding the small and medium size companies ("*Pyme´s*"). Mendoza didn't assist at the same development. There are some projects performing, but we can't speak about biofuel without speaking of the singular situation of Mendoza province. Cleary, each region, basing on its own characteristics, looks for the most profitable way to product them. Mendoza is investigating the possibility of producing biofuel, to self-generate the 5% of the biofuel necessary to obey the Law 26.093 within 2010. The rapesed is winter oil, so it doesn't' compete with traditional crops, because it can be used as a second farming. Besides, Mendoza counts with a lot of non cultivated, suitable hectares, and rapeseed doesn't need a particular land, so potentially all non cultivated areas with suitable irrigation could be dedicated to this farming. This project is still in the experimentation phase.

Key Words: biofuel – energy crops – rapeseed – oil – energy

para las petroleras y no es fácil tener suficiente estructura y estrictos estándares de calidad.
Una alternativa a la asociación entre las empresas es trabajar con la oleo-química, como los productos biodegradables que permitan tener un nicho diferente donde no estarán los grandes productores.
Por el contrario, las perspectivas para las grandes industrias son excelentes. La capacidad total estimada de todas las plantas que estarán en funcionamiento este año es de 1,6 M tn donde 1,2 M tn serán exportadas con posibilidad de entradas del orden de 1.280 M U$S. Los expertos del sector están muy esperanzados y según Molina Ref. [2] en cinco años es probable que Argentina sea el primer exportador del mundo. Por su parte, José Luis Martínez Justo, presidente de "Soy Energy" afermò las condiciones actuales del País son perfectas, siendo unos de los principales exportadores de aceite y ademas que el uso de biocombustibles crearà nuevas industrias, con relativos nuevos puestos de trabajo y mejorerà el medio ambiente. Ref. [6]
En Santa Fe se encuentran las principales plantas activas y se desarrollarán la mayor parte de los nuevos proyectos. Por esto el secretario de Sistemas Agropecuarios, Agroalimentos y Biocombustibles del Gobierno de Santa Fe, Carlos Sartor, explicó que se está creando una comisión específica para delinear una política abarcativa, porque cada vez hay más proyectos y día a día crecen las consultas. Y existe la probabilidad que en el plazo de un año, se pueda triplicar la capacidad de producción de biodiesel. Ref. [7]
Pero la soja no es la única oleaginosa a ser utilizada para la producción de aceite, de hecho la Argentina es el 3er. productor mundial y el 1er. exportador de aceite de soja; el 2do. productor mundial y el 1er. exportador de aceite de girasol y el 2do. exportador de maíz a nivel mundial.
Hacia 2010 la producción estimada de biodiesel asciende a 16,73 M tn, mientras que la producción de aceites giraría en torno a los 150 M tn. De allí que la elaboración de biodiesel representaría cerca del 11% de la producción aceitera.

1.3 *La soja*

Todavía la oleaginosa más utilizada es la soja, este año es otra vez record, creció 4% y alcanzó los 16,9 millones de hectáreas, o sea 650.000 más que en la campaña anterior, con una cosecha de 47 millones de toneladas. Así, más de la mitad de la tierra cultivada en el país está dedicada a la soja, por su fácil cultivo y por la capacidad de la planta para soportar condiciones climáticas severas.
Pero la motivación principal es su alta rentabilidad; de hecho, la inversión para sembrar una hectárea con la oleaginosa promedia los 180 dólares, mientras que para cualquier otro cultivo es entre un 30% y un 50% superior..
Existen en el país unas 50 fábricas de aceite activas, con una capacidad total de procesamiento de 156.700 tn diarias. Entre las regiones en donde más se expandió el cultivo están Entre Ríos, el norte de Santa Fe, el oeste de Buenos Aires y Santiago del Estero. En particular, la planta de LDC Argentina SA en General Lagos, provincia de Santa Fe, opera desde el 1992, con una capacidad de 12.000 tn de soja por día, es una de las más grandes del mundo. Ref. [2,5]

1.4 *La colza*

El aceite de colza es tercero en importancia a nivel mundial, después del de palma y soja, sin embargo, en la Argentina, según datos de la Secretaría de Agricultura, el cultivo ocupó en la última campaña apenas unas 14.556 hectáreas o entre 20.000 a 30.000, según fuentes privadas. Pero se espera para 2008/09 que se duplique el área de siembra.
El gran interés en este cultivo surgió por dos razones fundamentales, la primera son los buenos precios. En la campaña pasada los contratos estuvieron entre los 220 a 240 U$S/tn, pero casi se duplicaron al momento de cosecha. Hoy ya se habla de una base de U$S400 para la campaña nueva que también podría rondar los U$S 420, condiciones comerciales muy similares al girasol. La segunda razón es que esta oleaginosa es un buen antecesor de cultivos de segunda. "Resulta una alternativa de diversificación interesante durante el invierno que se inserta muy bien con las propuestas, hoy en desarrollo, de intersiembra con soja o como predecesor de soja de segunda, maíz y sorgo, dado que permite una liberación temprana de los lotes", explicó el gerente comercial de Sursem.
Argentina busca estimular cultivos alternativos también porque en los principales, soja y maíz, el uso con fines energéticos compite con el alimentario, por esto además de la colza se están desarrollando proyectos con jatropha y cocotero.
La jatropa, que podría cultivarse en la región centro-norte de la Argentina, es una especie rústica que se adapta a diferentes condiciones extremas de crecimiento rápido y tiene una semilla con alto contenido de aceite (30 por ciento). En tanto, el

1 INTRODUCCIÒN

Desde siempre el hombre sabe de la importancia de la energía y busca nuevas fuentes. Además hoy en día da mucha más importancia al cuidado ambiental. Estos y otros factores, como la escasez de recursos no renovables, incentivaron en diversas partes del mundo el gran desarrollo de las energías alternativas, como la bioenergía. Si bien sólo en los últimos años hemos asistido al gran desarrollo de esta energía, no es tan nueva como parece:

"El uso de los aceites vegetales como combustible y fuente energética podrá ser insignificante hoy, pero con el curso del tiempo será tan importante como el petróleo y el carbón" (Rudolf Diesel, 1858-1913).

Si bien se asocia este descubrimiento a Rudolf Diesel, en realidad, el biodiesel ya se había producido en 1853 por E. Duffy e J. Patrick quienes realizaron la transesteficación de aceite vegetal, proceso del cual deriva el biodiesel.
Las posibles fuentes de bioenergía son numerosas y cada país, o mejor dicho, cada región busca la más apta a sus características y a sus recursos. Actualmente son más de 25 los Países que elaboran biodiesel a partir de aceite obtenido de semillas, plantas o algas oleaginosas. El mismo se puede obtener de más de 300 especies vegetales, sin embargo unos 40 cultivos de oleaginosas son potencialmente utilizables para su producción, y los más utilizados son la soja, la colza, la palma y el girasol.
El principal desafío se encuentra en aumentar el número de especies oleaginosas cultivables, debido a la necesidad de diversificar la producción en la búsqueda de una sustentabilidad ecológica y económica, encontrar genotipos adaptados a situaciones en la que cultivos tradicionales no prosperan, y la aparición de nuevos nichos comerciales para la producción de aceites no comestibles.

1.1 *La situación actual en Argentina*

Se puede notar un crecimiento exponencial de la producción. En el 2006 se exportaron 5.800 tn de biodiesel con entradas de 4,5 M U$S, ya en el 2007 se asistió a un aumento increíble que alcanzó 319.093 tn a fin de año con un valor promedio de 841 U$S/tn y entradas totales por 268,4 M U$S. Ref. [1]. En enero del 2008 se habían declarado exportaciones argentinas de biodiesel por 58.070 tn a un valor promedio ponderado de 978,8 U$S/tn, con un mínimo de 802 U$S/tn y un máximo de 1.195 U$S/tn. En febrero del 2008 se declararon exportaciones argentinas de biodiesel por 47.367 tn a un valor promedio ponderado de 1.069,7 U$S/tn, con un mínimo de 830 U$S/tn y un máximo de 1.240 U$S/tn. Ref. [2].
El primer destino de estas exportaciones es EE.UU. con el 76,9%, el segundo es Europa con el 12,6% a Holanda y el 10,3% a Francia y último 0,2% está dividido entre Paraguay y Australia. Hoy en día hay en pie 8 plantas habilitadas con una capacidad de producción de 600.000 tn anuales. Ref. [3]. El 70% de la producción global y el 90% de las exportaciones están en manos de sólo dos plantas. Ref. [4].

1.2 *Potencialidad futura del País*

Con las próximas inauguraciones el negocio cambiará radicalmente hacia una concentración todavía mayor, las inversiones no paran así como la búsqueda de nuevos proyectos. Además de las fábricas de biodiesel en funcionamiento y las que se inaugurarán en 2008, según la estadística que lleva la Asociación Argentina de Biocombustibles e Hidrógeno (AABH), están analizándose otros 20 proyectos. De concretarse, agregarían más de 500 millones de U$S adicionales de inversión. Entre otras empresas, Repsol YPF, Cargill, Oil Fox, Gea Biodiesel, Enarsa, Rosario Bio Energy, la Asociación de Cooperativas Argentinas (ACA) y Agricultores Federados Argentinos (AFA) planean instalarse en Santa Fe. Pero la naciente industria del biodiesel también podría tener referentes fuera del polo aceitero santafecino. En Santiago del Estero (Villuco-Grupo Citrusvil), Entre Ríos (Goldaracena) y Chaco (Biocombustibles Federales) también hay proyectos en estudio. Por otro lado, varias compañías internacionales, como la holandesa Biokraftstoffe Vom Süden y las norteamericanas Pure Biodiesel, Imperial Renewables y World Energy, están evaluando instalarse en el país. Ref. [2,5]
Es evidente que en este contexto hay siempre menos espacios para las Pyme's. Esto es normal para una actividad que requiere escala y tecnología elevada, con márgenes muy chicos y difíciles de alcanzar por los pequeños o medianos empresarios. El modelo que se puede adoptar ahora es el de la asociatividad entre ellas. Además, este negocio requiere cumplir muchas normas para que el producto sea aceptable

tomate y papa son los cultivos que ocupan la mayor superficie. Ref. [8]. En la Fig. 1 se puede ver te la distribución de los cultivos en la provincia.

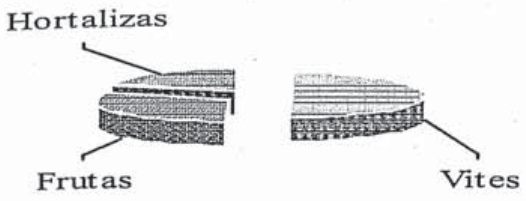


Figura 1. Esquematizaciòn del utilizo de las hectàreas apta y cultivada en Mendoza

2.4 *Los nuevos proyectos*

Como muchas hectáreas aptas para el cultivo no están siendo utilizadas, mas la reciente sanción de ley de biocombustibles 26.093, que exige que en el 2010 se utilice el 5% de este producto en el combustible normal, varios proyectos para el cultivo de colza se han visto impulsados.

Uno de estos proyectos es el que YPF, en el marco del acuerdo firmado con la Universidad Nacional de Cuyo (UNC), suscribió un anexo por el cual pone a disposición los recursos necesarios para la plantación y el desarrollo de cultivos alternativos a ser destinados a la producción de biocombustibles en un predio de 60 hectáreas ubicadas en las cercanías del Complejo Industrial Luján de Cuyo, en la provincia de Mendoza. Dicho programa tiene como primer objetivo el desarrollo y la implementación de los biocombustibles de manera sustentable en la matriz energética de nuestro país y la formación de profesionales para su inserción en este campo Ref. [12].

Otro es llevado adelante por el Ministerio de Economía, el Inta y ocho municipios de Mendoza. Al principio eran solo cinco Rivadavia, San Martin, La Paz, Junin pero enseguida se sumaron al proyecto los municipios de Maipú, Lavalle y San Rafael.

Por ahora existe un laboratorio para la producción de biodiesel a partir de colza en la ciudad de La Colonia, en Junin pero ya se esta trabajando en el armado de otras en Rodeo de la Cruz, Lujan y en Santa Rosa. Este proyecto aún está en fase de experimentación, sin embargo está funcionando muy bien, en el 2006 eran apenas 30 las hectáreas cultivadas mientras al final del 2007 había 1000 hectáreas cultivadas en todo el Este, hoy hay alrededor de 2.000 hectáreas plantadas en la zona Este y el Sur provincial, desarrollo mostrado en la Fig. 2. En estas zonas con tierras áridas y riego artificial, se formó una red de pequeños productores interesados en diversificar el perfil de sus explotaciones y que pretende lograr el autoabastecimiento de combustible para sus chacras Ref. [8,13].

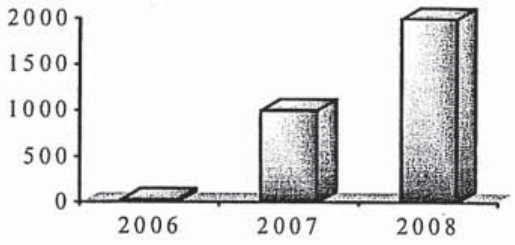


Figura 2. Hectáreas cultivadas de Colza en Mendoza

2.4.1 Ventajas del cultivo

El interés hacia este cultivo sigue creciendo, son varias las motivaciones, por ejemplo son muchos los productos que se pueden obtener a partir de cada hectárea cultivada, como se muestra en la Fig. 3. Los productores pueden llegar a obtener unos 3.000 kilos de semilla de colza por hectáreas, y por cada mil de esos kilos se sacan unos 400 litros de combustibles diesel, que se puede aplicar a cualquier vehículos diesel sin ningún tipo de modificación en el motor. Además, Mendoza tiene el clima adecuado para la producción de colza, cultivo de invierno que permite eludir el granizo, no compite con los cultivos tradicionales y por sus características es un cultivo alternativo ideal para terrenos que resultan inapropiados para otro tipo de plantaciones. Se puede obtener aceite para consumo humano, y por cada mil kilos de semillas pueden sacarse hasta 500 kilos de harinas proteicas que andan muy bien en la alimentación de ganado.

El alimento para animales es uno de los destinos usuales en los países donde se la cultiva. La materia que queda luego de extraído el aceite (entre 40 e

cocotero, que tiene cerca de 50 años de vida útil, tiene un rendimiento de 19.200 kilos, un 14 por ciento de aceite en su semilla y pueden dar a 2.816 litros de biodiesel por hectárea en áreas del noreste del país. Ref. [2,5]

2 MENDOZA HACIA EL BIODIESEL

2.1 *La situación del territorio mendocino*

Mendoza tiene una geografía muy particular. Es un lugar muy seco y la mayoría de las áreas verdes son artificiales, hechas por el hombre. Por eso solo el 3% de la superficie del territorio provincial, correspondiente a los oasis irrigados, es habitada. El 20% vive en las zonas rurales, porque aquí también, como en la mayor parte del mundo la población rural ha tenido en la última década una tasa de crecimiento negativa, a favor de la concentración urbana, especialmente las ubicadas en el oasis del río Mendoza. La superficie total de la provincia es de 150.839 km² y poseen derecho de riego solo 596.826 ha, por eso solo una pequeña parte de la provincia esta cultivada Ref. [8].

2.2 *El "trasvase" del Rio Grande*

Hay varios proyectos que intentan aumentar la superficie irrigada. El más importante actualmente es el trasvase del río Grande, que es el río más caudaloso de la provincia de Mendoza, con un módulo de 107 m³/seg y el único que a la fecha aún no ha sido aprovechado. Nace en la confluencia de los ríos Cobre y Tordillo, muy cerca del límite con la República de Chile y se extiende a lo largo de 275 Km. Posee gran pendiente, su desnivel se ubica entre los 4600 metros sobre el nivel del mar y los 835 metros y también condiciones geológicas y topográficas que permitirían un amplio aprovechamiento de su potencial Hidro-Energético.
A lo largo de casi un siglo se han realizado diversos estudios parciales, dirigidos al "trasvase" de los caudales del Río Grande hacia los otros grandes ríos mendocinos. En el proyecto actual el aprovechamiento integral del Río Grande podría incluir la incorporación de alrededor de 80.000 hectáreas de nuevas tierras para el desarrollo agropecuario y forestal, el repotenciamiento hidroeléctrico en los sistemas de generación hidro-eléctrica en los ríos Atuel y Diamante, la explotación hidro-energética, los abastecimientos de agua potable a pequeñas y medianas ciudades, a la industria y el posible inicio de un nuevo polo turístico de importancia para el sur mendocino.
El primer y más importante resultado de las obras del "trasvase", es poder irrigar inmensas superficies de tierras con potencial agropecuario y forestal y que nunca fueron puestas en producción. Podrían ser incorporadas al riego no menos de 60.000 hectáreas de zonas vírgenes y sin utilización económica actualmente en San Rafael y General Alvear. Además habría posibilidades de diversificación agropecuaria sobre la base de pasturas para ganadería de engorde, producción forestal bajo riego y productos de alto valor exportable. Se estima que se podría establecer zonas bajo riego en la cuenca media del Río Grande, lo que significa que sumaría unas 3.250 hectáreas, donde casi no se requiere infraestructura (los niveles entre el río y las áreas a regar no requieren de dique ni bombeo). En otras 1.560 hectáreas fuera del valle hay que encarar trabajos e inversiones de alguna envergadura. Luego podrían incorporarse al riego otras 22.810 hectáreas en la cuenca inferior del Río Grande. Lo que significa que en el departamento de Malargüe podrían ser habilitadas alrededor de 25.000 hectáreas bajo riego de tierras vírgenes. En dicha zona se incluiría algo de frutales y hortalizas, sobretodo papa, pero el grueso sería para pasturas y forestales Ref. [9,10, 11].

2.3 *Las áreas cultivadas*

En realidad la falta de riego no es el único problema, de hecho de las 596.826 ha actualmente bajo riego solo 295.557 ha son la superficie efectivamente cultivada, así que quedan 301.269 ha apta y no utilizada.
La principal actividad agrícola provincial es la vid permitiéndole aportar el 65% del total de la producción vitícola nacional y un 45% del Producto Bruto Geográfico (PBG) agropecuario de la Provincia.
La segunda actividad en importancia es la fruticultura que representa el 25% de la producción agrícola de la provincia. Los más cultivados son los frutales de carozo que en total ocupan el 55% de aquella superficie. Por su parte, los frutales de semilla como el manzano, el peral y el membrillo participan con el 25% de la superficie frutícola provincial. Las hortalizas aportan el 16,4% sobre el total de la producción agrícola donde ajo, cebolla,

racimos terminales. Los frutos son vainas, denominadas silicuas, de color verde oscuro y tienen entre 5 y 7 cm de longitud y el número de granos por vaina es aproximadamente de 20, pero varía según la especie. Las semillas son ligeramente ovoideas, de 2 a 2,5 mm de diámetro y, una vez madura, tienen un color castaño rojizo o negro. Necesita agua para desarrollarse bien y no soporta temperaturas inferiores a los 2 ó 3 °C bajo cero. Cuando finalmente llega a el estado de Rosetta puede aguantar hasta los 15° bajo cero, incluso el frio favorece el desarrollo de la raíz. Después de un periodo vegetativo bastante lento aparecen la yemas reproductivas sobre un tallo principal que se empieza a elongar, de aquí el nombre de la etapa, Elongación. Esta es seguida da la Floración, que empieza con la apertura de la primer flor y puede durar entre 25 y 35 días y simultáneamente se van formando vainas. La última etapa de esta planta es denominada Maduración. Se puede desarrollar a partir de lòs 400 mm de lluvia si estos están bien distribuidos, casi la mitad de lo que necesita la soja. Tiene resistencia a la sequía invernal y sufre con los encharcamientos. El intervalo de PH deseable es 5,5-7, aunque puede cultivarse en cualquier tipo de suelo, soportando incluso una cierta acidez Ref. [16].

3.3 *Nivel de investigación en Mendoza*

Todavía la colza en Mendoza esta en fase de experimentación. En los años 2005/2006 se realizaron siembras experimentales de 3 cultivares de colza canola (Eclipse, Master e Impulse) en 3 fechas (abril, mayo y junio), todas en parcelas de 10 m² cada una. En el 2007 las hectáreas cultivadas a colza llegaron a ser 2000, una parte de la Uncuyo, otra del Inta y otra dividida entre pequeños productores. Se encontraron numerosas dificultades, sobre todo a causa del frio y de la falta de agua. El año pasado se atrasó la siembra, se sufrió la falta de agua y las plantas no se desarrollaron en forma homogénea, hecho que complicó la fertilización y sobre todo la curación. Además la gran ola de frío heló las plantas y no permitió obtener datos válidos sobre el rendimiento del cultivo. Este año en la UNCuyo se volvieron a cultivar 22 ha, con 3 tipos de colza. Siendo un cultivo en fase experimental y debido a los inconvenientes del año 2007, no son muchos los datos disponibles sobre los costos y el rendimiento Ref. [17, 18].

3.6 *Potencialidad de la colza en Mendoza*

La colza no necesita de un suelo particular, por esto potencialmente todas las áreas con derecho a riego y aptas que todavía no están utilizadas, podrían ser dedicadas a la colza.

A continuación se presentan datos obtenidos del Departamento General de Irrigación específicos para los oasis de Mendoza.

Tabla 1: Datos del Departamento General de Irrigación

Oasis	Sup. Total	Sup. con derecho de riego	Agricola	Sup. sin producción
Rio Mendoza	19.553 km²	158.000 ha	84,5% = 133.510 ha	27,2% = 42. 976 ha
Rio Diamante	12.523 km²	81.400 ha	96% = 78.144 ha	43% = 45.002 ha
Rio Atuel	29.721 km²	109.818 ha	96% = 105.425,3 ha	35% = 38.436 ha
Rio Tunuyán	18.954 km²	143.000 ha	94% = 134.420 ha	21% = 18.310 ha
Rio Malargüe	11.146 km²	7.300 ha	96% = 7.008 ha	11% = 770,9 ha
Total	91.897 km²	499.518 ha	458.507,3 ha	145.494,9 ha

Analizando estos datos podemos estimar la disponibilidad de hectáreas utilizables para el cultivo de colza en 175.000 ha. Sabiendo que de cada hectárea se pueden sacar aproximadamente 2500 kg, (3000 kg en caso óptimo) de colza es simple calcular una producción total de la provincia de cerca 437.500.000 kg.

Teniendo en cuenta que de cada 1.000 kg de colza se pueden sacar alrededor de 480 litros de aceite, (500 litros en caso óptimo), casi enteramente convertible en biodiesel, es posible estimar una producción de biodiesel por hectárea de 1.100 l/ha, (1500 l/ha en caso óptimo), que corresponde a una producción total en la provincia de 192.500.000 l/año, (equivalente a 169.400.000 kg/año = 169.400 tn/año).

Actualmente es posible producir biodiesel en pequeña, mediana y gran escala, en particular las plantas de gran escala mas comunes, permiten una producción anual entre los 200.000 y los 250.000 tn/año.

Finalmente, en base a datos de la Secretaría de Energía de la Nación Argentina resulta un consumo de gas oil (trasporte e industria) de 645.201 m³ en el año 2007, el 5% resulta estar cerca de 32.260 m³/año, que equivalen a 32.260.000 l/año por lo cual

50%) que contiene la semilla, es un nutriente con alta concentración de proteínas, utilizado en la formulación de alimentos balanceados. También como forrajera es muy interesante, porque puede llegar a producir hasta 7.000 kg de materia seca en período invernal. Además, es un cultivo relacionado con la apicultura y pueden sacarse unos 300 kilos de miel por hectárea, con lo cual ya se estaría pagando el costo de producción Ref. [8,11,13].

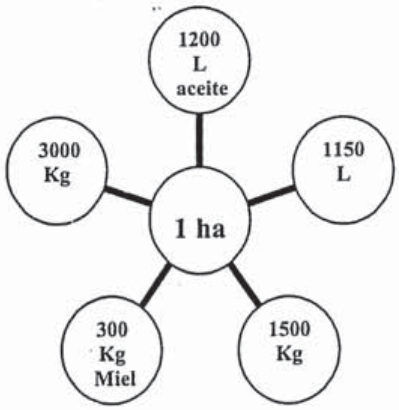


Figura 3. Productos obtenidos de 1ha de colza

2.4.2 Perspectivas futuras

La fuerte demanda y la firmeza de los precios internacionales, y su correlato en el mercado interno, se hacen sentir aún en zonas otrora ignoradas para el tipo de emprendimientos agrícolas que tradicionalmente capitalizó la región central del país. En efecto, también aquí es evidente la creciente expectativa que despiertan las zonas "marginales". Acopiadores de la Pampa Húmeda intensificaron este año los contactos con productores del Este, mientras obtentores y multiplicadores de semillas han hecho lo propio en el Sur mendocino, esperando el momento en que se produzca la repentina explosión del cultivo. Además, inversores extranjeros estarían explorando la zona como potencial proveedora de semilla o aceite y, por otra parte, habría un par de iniciativas con miras a constituir un fideicomiso para invertir en el cultivo. Así, a la par que crece la demanda, se afirman los precios en el mercado internacional. Pesan mucho los 500 dólares que, como mínimo, está cotizando la tonelada del grano de colza, hasta 700 en algún momento y en algunos mercados, y los casi 1.500 dólares la tonelada de aceite en las plazas de referencia mundial. Este año será la tercer campaña para varios de los emprendimientos iniciados en Mendoza, todo parece indicar que llegaría a marcar el despegue de un cultivo con el que, a mediano plazo quizás, podrían recuperarse miles de hectáreas que, por diversas razones, están hoy fuera del circuito productivo.

Otro objetivo que se lograría es expandir incluso lo que se consideraba la "frontera agrícola" de la provincia, limitada por las exigencias agroecológicas de las especies tradicionales en la región. En efecto, al tiempo que se afianzan algunos desarrollos con capitales provenientes de otras actividades económicas en campos del Este, avanzan las iniciativas dirigidas a pequeños productores. Al mismo tiempo, se afirma en el Sur, el trabajo con más de una veintena de productores de esa zona.

En el orden nacional se cultivaron unas 30.000 hectáreas en 2007, con rindes muy bajos en general porque fue un año de heladas en todo el país Ref. [14].

3 LA COLZA

3.1 *Situacion mundial*

Es una planta originaria del mediterráneo y el nombre deriva del holandés "Koolzad" que significa semilla de repollo. Actualmente es la tercer fuente de aceite vegetal del mundo, los primeros productores son India, China, Canadá, y en Europa los países más interesados son los nor-orientales como Alemania, Francia, Polonia, Gran Bretaña, Dinamarca y Suecia Ref. [15]. En Argentina según datos de la Secretaría de Agricultura, el cultivo ocupó en la última campaña apenas unas 14.556 hectáreas. En Mendoza según el INTA, el año pasado llegaron a ser 2000 las hectáreas dedicadas a este cultivo.

3.2 *La planta*

La colza pertenece a la familia de las crucíferas y al género de la Brassicas, es una oleaginosa de invierno, de ciclo anual. Posee raíz pivotante y profundizante, cuando esta raíz principal encuentra obstáculos para profundizar, tiene facilidad para desarrollar raíces secundarias, pero claramente prefiere suelo profundo y con buen drenaje. El tallo tiene un tamaño de 1,5 m aproximadamente. Las flores son pequeñas, amarillas y se agrupan en

Efectos del riego con efluentes agroindustriales sobre suelos cultivados

M. E. Balanza & A. L. Ordóñez
mbalanza@fcai.uncu.edu.ar & aordonez@fcai.uncu.edu.ar
Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria, Universidad Nacional de Cuyo

RESUMEN: El objetivo del trabajo es evaluar el comportamiento de suelos cultivados con alfalfa en parcelas regadas con los efluentes líquidos eliminados por una industria conservera frutihortícola (previa separación de sólidos gruesos y filtración, además de una estricta regulación del pH) en comparación con parcelas regadas con aguas procedentes del sistema de riego (río Diamante). Los resultados del trabajo realizado durante un año y medio muestran que no hay diferencias significativas en los suelos cultivados con forrajeras, regados con los efluentes industriales y los regados con aguas superficiales, a pesar de que la conductividad del efluente es prácticamente el doble que la del agua de río. La materia orgánica contenida en el efluente no muestra tampoco ninguna influencia, especialmente toda vez que su contenido de fósforo y nitrógeno es muy bajo. Los contenidos de sodio y metales alcalino térreos (calcio y magnesio) encontrados en los suelos, así como los de conductividad no muestran peligro de salinización ni de alcalinización de los suelos, debido al manejo del riego y el tipo de terreno, constituido principalmente por suelos francos a franco arenosos.

Palabras clave: Efluentes industriales – riego – suelo cultivado – calidad del agua

ABSTRACT: The objective is assessment of alfalfa farming soil behavior in parcels irrigated with liquid effluents from a fruit processing industry (previous coarse solid separation, filtration and pH regulation), comparing them with parcels irrigated with fresh water from Diamante river irrigation system. Results of monitoring carried out along eighteen months show no significant differences between forage plant farming soils irrigated with industrial effluents and fresh surface waters respectively, despite effluent conductivity is almost twice than river water conductivity. Effluent organic matter content has no influence, because its very low phosphorus and nitrogen content. Soil conductivity and sodium, calcium and magnesium soil contents show that irrigation with fruit industry effluents do not cause salinity or alkalinity hazard to farming soils.

Key Words: Industrial effluents – irrigation – farming soil – water quality.

la provincia de Mendoza no solo podría cumplir autónomamente con la ley 26.093, sino también tendría una cantidad en exceso de biodiesel que podría vender a las Provincias más cercanas Ref. [19].

4 CONCLUSIONES

La provincia de Mendoza no tiene mucha experiencia con cultivos de invierno y todavía menos con cultivos extensivos.

Los datos existentes son pocos y no totalmente confiables, el cultivo en parcelas normalmente logra resultados diferentes respecto a un cultivo extensivo.

Las primeras experiencias se enfrentaron con numerosos problemas, que afectaron profundamente los resultados.

Se espera que el cultivo de este año sea exitoso para realizar una evaluación más precisa y un análisis costos/beneficios completo, que permita evaluar la mejor alternativa entre la autoproducción de biodiesel, o la importación de éste.

Si bien aún no se cuenta con datos absolutamente confiables, una primera evaluación de las condiciones en que se encuentra la provincia indica que la cantidad de biodiesel que se podría producir es mayor a seis veces la que podría gastarse.

Cuando se disponga de datos más precisos será posible evaluar la factibilidad en términos de costos y en el caso que fuera elegida la opción de la autoproducción el exceso de producción se podría vender.

REFERENCIAS

[1] Programa Nacional de Biocombustibles de la Secretaría de Agricultura, Infobae profesional, "Cultivos exóticos impulsarán la exportación de biodiesel", 03/03/08

[2] Relevamiento de IES Consultores, La Nación, "Invierten en 13 plantas de producción de biodiésel en Argentina", 19/12/07

[3] InfoCampo, www.infocampo.com.ar, "Los precios de exportación del biodiesel aumentaron un 9,2% en febrero", 03/03/08

[4] www.biofuelsdigest.com, "Argentina Progetti di biodiesel, ad aumentare le esportazioni del 300% nel 2008, a $ 1,1 miliardi", 04/03/08

[5] www.argentinebiofuels.org, 04/03/08

[6] www.tiryas.eurofull.com, "Transporte – El desarrollo de biocombustibles en Argentina", 10/03/08

[7] www.infobeaprofesional.com, "La Argentina liderará el negocio de nafta a base de soja", 11/03/07

[8] www.inta.gov.ar, Centro Regional Mendoza-San Juan, Provincia de Mendoza, 25/03/08

[9] Subsecretaría de recursos hídricos, La Nación, "enviará $14 millones a Mendoza para iniciar Portezuelo del Viento", 22/11/07

[10] www.elbaqueano.com, "San Rafael Obras Trasvase R.Grande", 29/03/08

[11] www.prensa.mendoza.gov.ar, "Anuncios de obras en el consejo federal de energia electrica", 10/11/07

[12] www.agromeat.com, "Incentivan producciòn de biocombustibles", 31/03/08

[13] www.tiempodeleste.com.ar, "Ya cosechan colza", 28/03/08

[14] www.losandes.com.ar, "Adelantan la siembra de colza en Mendoza", 22/03/08

[15] FAO, organizaccòn por la alimentaciòn y la agricoltura, 24/03/08

[16] www.cti2000.it, "Oli vegetali, Colza- Brassica napus oleifera", 18/04/08

[17] Facultad de Ciencia Agraria de la UNCuyo, entrevista personal al Ing. Carlo Antonini

[18] Jornada de los cultivo energèticos en la regiòn de Cuyo, 09/05/08

[19] Sistema SESCO 4.0 - Secretaría de Energía de la Nación Argentina

de laboratorio para medir contenidos de agua (%) (desecación a 100 – 105%), proteínas (%) (Kjeldahl) e hidratos de carbono (%). La comparación de rendimientos, altura de las plantas y otras variables importantes en cultivos sembrados simultáneamente, inicialmente previstos, no pudo ser llevada a cabo por no disponerse de la situación de campo adecuada. [4] Para el análisis estadístico de los resultados se utiliza, cuando es posible la comparación múltiple por ANOVA. Dado que el análisis de varianza compara los valores medios asumiendo que las desviaciones estándares son iguales en todos los puntos, no se utilizará esta prueba cuando la relación entre la mayor desviación y la menor sea superior a 3. Simultáneamente, antes de utilizarla, se verificará que los valores de la asimetría y la curtosis no se encuentren fuera del rango de –2 a +2, lo que indicaría que los datos no presentan una distribución normal. En ese caso, se utiliza la prueba de Kruskal y Wallis, que compara las medianas en lugar de las medias. Un valor de p superior o igual a 0,05 denota que no hay una diferencia significativa entre las medianas de las muestras a un nivel de confianza del 95%. [5]

4. RESULTADOS

4.1 Efluente utilizado para riego.

Tabla 1. Características físico – químicas de los efluentes utilizados para el riego

Parámetro		Diciembre - febrero	Abril - mayo
Conductividad eléctrica	∝S/cm	2299,3 ± 247,8	2104,7 ± 245,5
pH a 20°C		6,2 ± 0,5	6,9 ± 0,5
sólidos totales	mg / L	2160,5 ± 90,4	1944,3 ± 230,4
Oxígeno disuelto	mg / L	5,8 ± 1,0	5,4 ± 1,1
D.Q.O.	mg / L	589,6 ± 204,6	702,9 ± 278,1
D.B.O.	mg / L	378,0 ± 131,2	433,1 ± 171,4
Dureza	°F	85,2 ± 16,3	76,1 ± 17,0
Bicarbonatos	mg / L	178,2 ± 10,2	224,7 ± 141,2
Cloruros	mg / L	289,2 ± 15,6	240,6 ± 27,8
Sulfatos	mg / L	796,2 ± 89,0	671,6 ± 150,2
Nitratos	mg / L	6,5 ± 0,4	3,5 ± 0,3
Calcio	mg / L	303,4 ± 71,7	259,1 ± 45,7
Magnesio	mg / L	44,5 ± 2,7	33,2 ± 3,4
Sodio	mg / L	177,5 ± 37,2	210,1 ± 18,1
Fósforo	mg / L	0,28 ± 0,04	0,31 ± 0,13
Nitrógeno total	mg / L	22,7 ± 1,4	21,2 ± 9,0
Sólidos Volátiles	mg / L	364,8 ± 125,7	301,5 ± 50,2
Rel P/N		0,013 ± 0,001	0,014 ± 0,001

En la Tabla 1 se muestran las características físico químicas de los efluentes utilizados para el riego, los cuales pueden variar en su calidad durante los meses de diciembre a febrero con respecto a abril y mayo, debido a que predomine en el proceso una u otra especie frutícola .

4.2 Calidad de suelos

En forma sintética se muestran los valores medios obtenidos de algunos parámetros en cada punto de muestreo, con sus respectivas desviaciones estándares, y el rango de los mismos. Asimismo se incluyen para todos los parámetros un gráfico de dispersión de los valores obtenidos y otro de caja y bigotes que resume los datos estadísticos.

1. INTRODUCCIÓN

Las industrias conserveras frutihortícolas de Mendoza procesan aproximadamente el 90% de las conservas de frutas y el 70% de las de hortalizas elaboradas en el país y, por su naturaleza, utilizan y evacuan en forma de efluente líquido, una importante cantidad de agua, cuyos costos de tratamiento biológico resultan imposibles de afrontar. En los últimos años el Departamento General de Irrigación ha permitido el reuso de los efluentes en riego de ACREs (Areas de Cultivo Restringido) debidamente monitoreados.

Para este uso se requiere agua con un tratamiento de separación de los sólidos gruesos, además de regulación del pH, lo que se logra, en el caso en estudio, mediante el paso por separadores y "filtros" o tamices de malla fina y neutralización química de ácidos o álcalis cuando es necesario.

Por otro lado, dada la gran cantidad de agua que se requiere en los procesos de elaboración, las industrias deben extraerla de napas subterráneas, mediante perforaciones propias. Estudios previos muestran que los parámetros correspondientes al contenido de sólidos inorgánicos disueltos en el efluente no presentan diferencias estadísticamente significativas con los del agua utilizada por la industria, aunque son muy superiores a los de las aguas superficiales comúnmente utilizadas para el riego y su conductividad es muy alta. Es fundamentalmente por esta razón y no por el contenido de materia orgánica disuelta y en suspensión, que se requiere el monitoreo de los terrenos regados, para prevenir tempranamente la aparición de problemas de salinización y/o alcalinización.

Otro problema que suele presentarse en proyectos de reuso agrícola cuando el terreno a regar no se encuentra ubicado en forma aledaña a los sistemas de eliminación de los efluentes, es la descomposición del agua en cauces abiertos antes de su utilización, con la aparición de olores, proliferación de vectores y molestias al vecindario. Para eliminar los mismos, en este caso el agua residual es conducida desde el establecimiento hasta la parcela bajo riego mediante una tubería de aproximadamente 1 km de longitud.

2. OBJETIVOS

Evaluar el comportamiento de suelos y cultivos (alfalfa) en parcelas regadas con los efluentes líquidos eliminados por una industria conservera frutihortícola (previa separación de sólidos gruesos y filtración, además de una estricta regulación del pH) en comparación con parcelas regadas con aguas procedentes del sistema de riego (río Diamante).

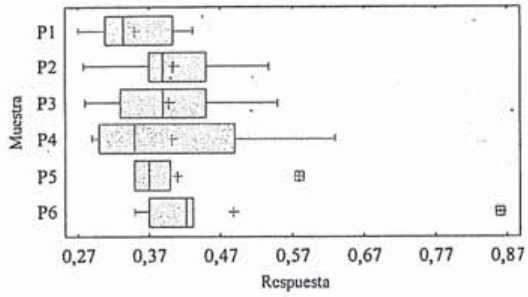
3. MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron frecuentes análisis de los efluentes utilizados, controlando una amplia gama de parámetros físico químicos mediante técnicas analíticas habituales. [1] Para el monitoreo de suelos y cultivos se tomaron dos parcelas aledañas dentro de la misma propiedad (terrenos francos a franco – arenosos), una de las cuales sólo fue regada con agua de río (sistema de riego normal) y la otra con el efluente, aún cuando se utiliza periódicamente agua de río para "lavar" tanto posibles acumulaciones de sólidos orgánicos como el exceso de sales. Ambas parcelas fueron cultivadas con forrajeras (alfalfa).

Para los ensayos de suelos se fijaron cuatro puntos (P1 a P4) (diferentes distancias del punto de vertido del efluente) en la parcela regada con las aguas residuales y dos (P5 y P6) en la regada con agua de río, de los que se tomaron cada 15 días muestras a diferentes profundidades. Por razones de espacio, en este trabajo se presentarán sólo los resultados de una muestra integrada de la totalidad del perfil en el punto de muestreo (0 – 30 cm de profundidad). Las determinaciones analíticas realizadas sobre suelos incluyeron: Conductividad eléctrica ∝S/cm (extracto saturado); pH hidrolítico (Dilución 1/10); pH en solución de KCl (1 N, pH: 7. Dil 1/2,5); pH en solución de $CaCl_2$ (0,01 N pH: 5-6,5. Dil ½); Materia orgánica (%) (Walkley y Black); Fósforo (ppm) (Bray y kurtz); Nitrógeno total (%) (Microkjeldahl); Sodio (meq/100 g de suelo) (Fotometría de llama); Potasio meq/100 g de suelo (Fotometría de llama); Calcio (mg/100 g de suelo) (Quelatometría); Magnesio (mg/100 g de suelo) (Quelatometría); Relación de absorción de sodio (R.A.S.). (cálculo) y Acidez de cambio (meq/100 g de suelo). [2][3]

En cuanto al monitoreo de los cultivos, se hizo una observación directa quincenal de los mismos en diferentes puntos de ambas parcelas, en busca de síntomas y signos de desarrollos anormales de las plantas. Paralelamente se realizaron análisis

Acidez de cambio



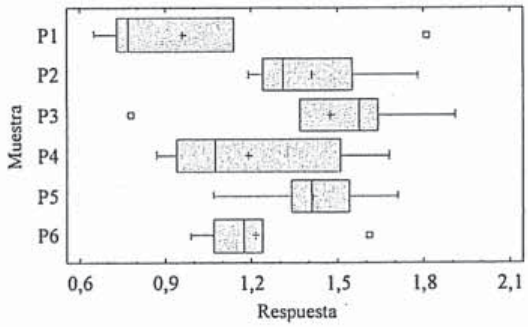
No aparecen diferencias significativas en la acidez de cambio de las muestras de ambas parcelas.

4.2.5 Materia orgánica (%)

Tabla 5. Materia orgánica (%)

Punto de muestreo	Materia Orgánica	Rango
P1	0,96 ± 0,41	1,16
P2	1,41 ± 0,22	0,59
P3	1,48 ± 0,38	1,13
P4	1,19 ± 0,33	0,81
P5	1,41 ± 0,24	0,64
P6	1,22 ± 0,24	0,62
Prueba de Kruskal Wallis		10,27
	P valor	0,068

Materia Orgánica

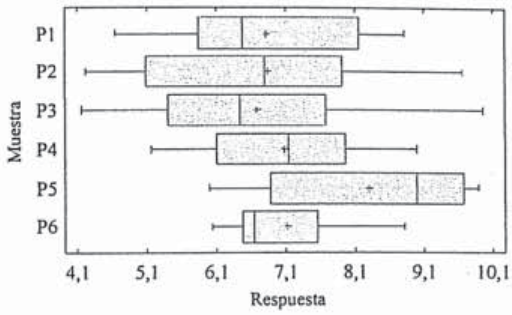


Los valores de materia orgánica muestran mayor variabilidad, pero sin diferencias significativas entre los obtenidos de ambas parcelas.

4.2.6 Fósforo (ppm)

Los valores de fósforo muestran una distribución normal, con medias de 6,5 a 8,3 ppm, y el análisis de la varianza muestra un valor de F = 0,70 y valor de p = 0,63, por lo que no aparecen diferencias significativas entre las muestras de ambas parcelas,

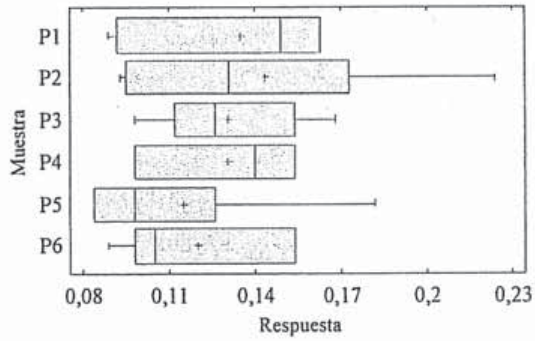
FÓSFORO



4.2.7 Nitrógeno total (%)

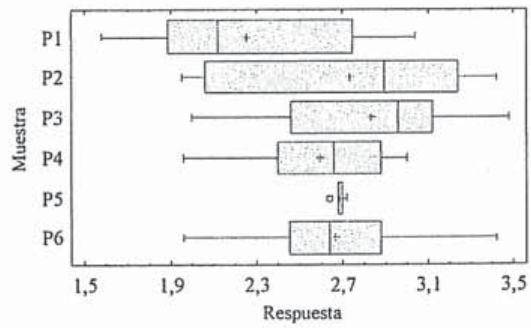
Este parámetro también muestra una distribución normal de los valores, con medias de 0,12 a 0,15%. El análisis de la varianza muestra un valor de F = 0,51 y valor de p = 0,77, por lo que no hay diferencias significativas entre las muestras de ambas parcelas.

NITROGENO TOTAL



4.2.8 Sodio (meq/ 100 g suelo)

SODIO



4.2.1 Conductividad (∝S/cm)

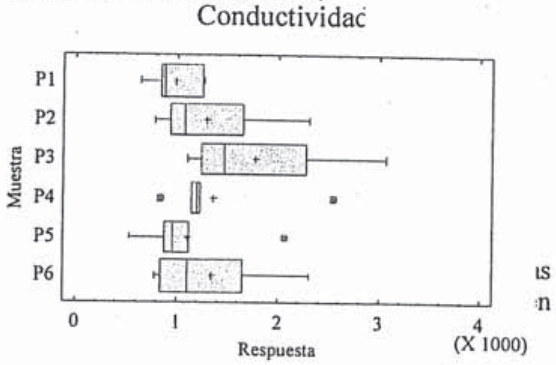


Tabla 2. Conductividad, en ∝S/cm.

Punto de muestreo	Conductividad	Rango
P1	988 ± 247	632
P2	1297 ± 531	1509
P3	1772 ± 751	1949
P4	1358 ± 596	1694
P5	1111 ± 576	1535
P6	1341 ± 636	1509
Prueba de Kruskal Wallis		6,499
	P valor	0,261

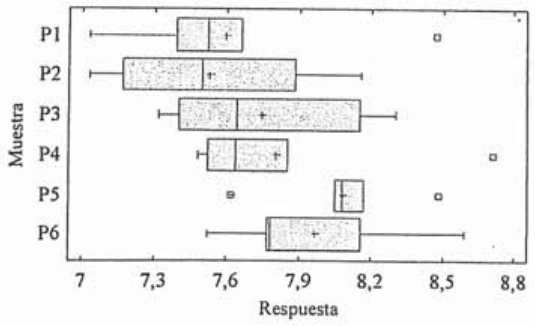
4.2.2 pH hidrolítico

No hay diferencias significativas en el pH hidrolítico de las muestras obtenidas en ambas parcelas para un nivel de significancia del 95%.

Tabla 3. pH hidrolítico

Punto de muestreo	pH hidrolítico	Rango
P1	7,6 ± 0,44	1,44
P2	7,5 ± 0,43	1,13
P3	7,7 ± 0,41	0,98
P4	7,8 ± 0,46	1,23
P5	8,1 ± 0,31	0,86
P6	8,0 ± 0,42	1,07
Prueba de Kruskal Wallis		7,51
	P valor	0,185

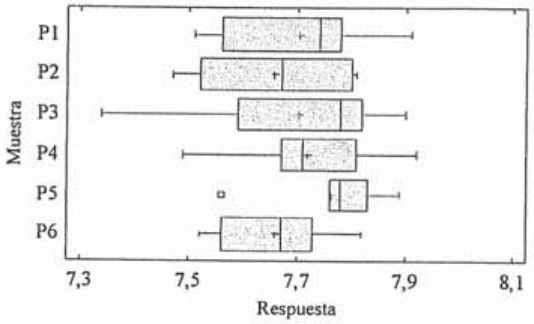
pH Hidrolítico



4.2.3 pH en KCl

Los valores de este parámetro muestra una distribución normal, por lo que pueden analizarse mediante análisis de la varianza, para la que se obtiene un valor de F = 0.39 y valor de p = 0,85, por lo que tampoco aparecen diferencias estadísticamente significativas.

pH en KCl



4.2.4 Acidez de cambio (meq/100 g suelo)

Tabla 4. Acidez de cambio (meq/ 100 g)

Punto de muestreo	Acidez de cambio	Rango
P1	0,35 ± 0,06	0,16
P2	0,40 ± 0,08	0,26
P3	0,40 ± 0,09	0,27
P4	0,40 ± 0,14	0,34
P5	0,41 ± 0,10	0,23
P6	0,49 ± 0,21	0,51
Prueba de Kruskal Wallis		2,94
	P valor	0,71

[2] Técnicas de análisis de suelos. Cátedra de Edafología, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, 1992

[3] M.L Jackson, Análisis Químico de Suelos. Ediciones Omega, Barcelona, España, 1994

[4] AOAC. Official Methods of Analysis of A.O.A.C. International, Editado por Patricia Cunnif, 16° Ed. U.S.A., 1995

[5] Lopez Planes, R., Diseño Estadístico de Experimentos, Universidad Vicente Perez Rosales, Chile, 1999

[6] G. Oron, J. DeMalach, Z. Hoffman & Y. Manor, Effect of effluent quality and application method on agricultural productivity and environmental control, Water Science and Technology, 26, 1593-1601, 1996

[7] H.T.L. Steward, E. Allender, P. Sandell & P.Kube, Irrigation of tree plantations with recycled water in Australia: research developments and care studies. En: Cole DH, Henry CL, Nutter WL, editors. The forest alternative for treatment and utilization of municipal and industrial wastes, Seattle: University of Washington Press, 431-441, 1986.

[8] B. Al-Shreideh, Reuse of treated waste water in irrigation and agriculture as a non-conventional resource, Advanced short course on water saving and increasing water productivity: challenges and options. Amman, Jordan: University of Jordan, Faculty of Agriculture, b18.1-b18.30, Marzo 2001.

[9] G. Oron, C. Campos, L. Gillerman & M. Salgot, Wastewater treatment, renovation and reuse for agricultural irrigation in small communities, Agricultural Water Management, 38, 223-234, 1999

[10] L.S. Pereira, T. Oweis & A.Zairi, Irrigation management under water scarcity, Agricultural Water Management, 57, 175 – 206, 2002

[11] B. Sheikh, R.C. Cooper & K.E. Israel. Hygienic evaluation of reclaimed water used to irrigate food crops – a case study. Water Science and Technology, 4, 261-267, 1999

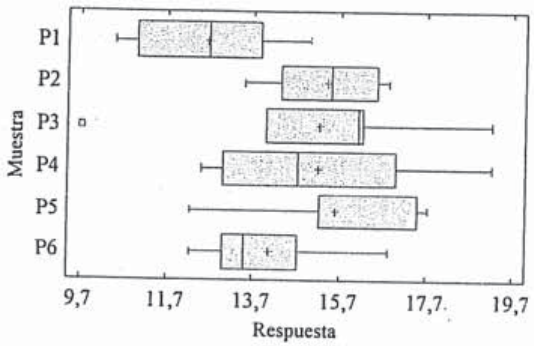
[12] A. Capra & B. Scicolone, Recycling of poor quality urban wastewater by drip irrigation systems, Journal of Cleaner Production, 15, 1529-1534, 2007

Como puede apreciarse en el gráfico de caja y bigotes este parámetro no presenta distribución normal de los datos. Sus medias varían de 2,2 a 2,8 meq/100 g de suelo, pero con un rango muy variable de una a otra muestra. La prueba de Kruskal-Wallis da un valor de p = 0,396, por lo que aún así, no aparecen diferencias significativas entre ambas parcelas.

4.2.9 Calcio (ppm)

El contenido de calcio también muestra una distribución normal de los datos, con medias entre 12 y 15 ppm. El análisis de la varianza da valores de F = 1,84 y de p = 0,13, por lo que no hay diferencias significativas entre las muestras de ambas parcelas.

CALCIO



4.3 Cultivos

La observación directa periódica de los cultivos no muestra la aparición de síntomas y/o signos de desarrollos anormales en ninguna de las parcelas.
Las falta de simultaneidad en la siembra en ambas parcelas no permitió la realización de algunas mediciones importantes como altura de las plantas, rendimiento (masa por unidad de superficie cultivada), etc.

5. CONCLUSIONES

Los resultados del trabajo realizado durante un año y medio muestran que no hay diferencias significativas en los suelos cultivados con forrajeras, regados con los efluentes industriales y los regados con aguas superficiales, a pesar de que la conductividad del efluente es prácticamente el doble que la del agua de río.

Los contenidos de sodio y metales alcalino térreos (calcio y magnesio) encontrados en los suelos, así como los de conductividad no muestran peligro de salinización ni de alcalinización de los suelos, debido al manejo del riego y el tipo de terreno, constituido principalmente por suelos francos a franco arenosos. El manejo del riego incluye una alternancia periódica (cada 15 días) al uso de agua de río en la parcela regada con los efluentes, a fines de evitar problemas a largo plazo por la salinidad del efluente, ya que la industria utiliza agua proveniente de fuente subterránea, de inferior calidad salina para el riego.
La materia orgánica contenida en el efluente no muestra tampoco ninguna influencia, especialmente toda vez que su contenido de fósforo y nitrógeno es muy bajo. Dado que se trata de una industria frutícola, el mayor aporte de materia orgánica está dado por materia hidrocarbonada fácilmente putrescible (produciendo ácidos en este proceso) y ácidos orgánicos, los cuales podrían afectar el pH del suelo, acidificándolo. Sin embargo, los resultados del trabajo indican que la materia orgánica se oxida rápidamente y el riego con el efluente no afecta negativamente el suelo por modificación del pH, aunque tampoco resulte en un aporte positivo por la incorporación de nutrientes (nitrógeno y fósforo).
Diversos autores [6][7][8][9][10][11] coinciden en el aprovechamiento de los efluentes para riego de cultivos, aunque la mayoría de los trabajos publicados se refiere al uso de efluentes domiciliarios, de composición diferente a los industriales (y diferente riesgo de transmisión de enfermedades) y en otros casos proponen un tratamiento previo más profundo del efluente, aunque más por razones tecnológicas (riego por goteo) que por posible afectación del suelo. [12]
El reuso agrícola de los efluentes de agroindustrias se presenta como una alternativa viable y valiosa, con las mismas limitaciones de uso en cultivos que las aguas limpias de las cuales provienen, siendo limitante la conductividad.

REFERENCIAS

[1] APHA, AWWA, WPCF. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales, Diaz de Santos S.A., Madrid. España . 1992

Transformaciones morfológicas durante la termoconversión de biomasa densificada, su estudio y análisis

B. Bucki Wasserman
bbucki@uacf.utn.edu.ar
Regional Académica Confluencia –Universidad Tecnológica Nacional

P. J. Aguilar; R. Quintana Puchol; J. F. Martirena Hernández

pjva@fim.uclv.edu.cu
Universidad Central de Las Villas

RESUMEN: La creciente demanda mundial debido a la crisis energética por el elevado costo de los combustibles fósiles ha incentivado el desarrollo de técnicas para la obtención de portadores energéticos a fin de aumentar el aprovechamiento de diferentes recursos de biomasa hasta ahora ignorados. En el presente trabajo se determinaron los parámetros cinéticos característicos del proceso de termo-conversión de aserrín proveniente de la manufactura de la madera, que ha sido previamente densificado con arcilla con el objeto de aumentar su densidad como su estabilidad física para su uso, empleando un modelo cinético simple de termoconversión, el cual brindó resultados satisfactorios. Asimismo se realizó la caracterización fásica del este nuevo combustible, la que posibilitó establecer correlaciones útiles para el proceso de termo-conversión estudiado.

Palabras clave: difracción de rayos X - termogravimetría - parámetros cinéticos – recursos renovables.

ABSTRACT: The growing demand of fuels has motivated the use of different resources of biomass up to now unknown. Presently work the characteristic kinetic parameters of the thermal conversion process of sawdust coming from the factory of the wood, densificated with clay were determined, using a simple model, which offered satisfactory results. Also the phasical characterization of this new fuel was carried out, which facilitated to establish useful correlation for the thermal conversion process studied.

Key Words: diffraction of rays X - thermo-gravimetry - kinetic parameters – renewable sources.

La optimización se realizó con el auxilio de la herramienta Solver del Microsoft Excel, restringiéndose para valores de: k > 0 y n > 0. Para el modelo aplicado, se calculó la desviación standard, D.S.:

$$D.S. = 100\left[\sqrt{\frac{FO}{N-P}}\right] \quad (4)$$

Donde: P es el número de parámetros estimados. Además, se calculó el coeficiente de variación, C.V., según:

$$C.V. = 100\left[\frac{FO}{\overline{W}_{exp}}\right] \quad (5)$$

Donde: $\overline{W}_{exp}$ es el valor promedio de los datos experimentales.

La energía de activación (EA) del proceso estudiado se determinó de acuerdo a la ecuación de Arrhenius:

$$k = k_0 \exp\left\{-\frac{EA}{RT}\right\} \quad (6)$$

Donde: k_0 es el factor prexponecial; EA, la energía de activación de la reacción global y R la constante universal de los gases.

Las condiciones establecidas para la realización del análisis termo-gravimétrico se basaron en estudios preliminares realizados a otras biomasas que permiten llevar a cabo la termo-conversión de la misma en ausencia de efectos difusivos apreciables. Dichas condiciones se detallan a continuación:

- Masa de la muestra: 20□g;
- Diámetro de partículas: 0.03 < dp < 0.1□m;
- Flujo de Nitrógeno: 80 ml/min.;
- Velocidad de calentamiento: 10°C/min.

Las experiencias se realizaron en una termobalanza marca PHILIPS, que permite una exacta regulación de los flujos de gases, así como la adquisición de los datos experimentales mediante una computadora personal con el software correspondiente. Los análisis se realizaron en atmósfera oxidante (aire) para evaluar el proceso de termo-conversión correspondiente (combustión), para ello, la muestra pesada se coloca en el porta muestras dentro del horno, se calefacciona la muestra a una velocidad de calentamiento de 5°C/min. hasta la temperatura final de 1000°C, registrándose en forma continúa la pérdida de peso de la muestra en función del tiempo.

Se evaluó una propiedad física muy útil para los combustibles, en este caso se determinó la resistencia mecánica por un método similar al empleado en [4]. Esta propiedad física se valoró a partir del fraccionamiento de una masa inicial de estos materiales por la acción del golpeo y fricción de 6 bolas de vidrio en un recipiente semiesférico de acero inoxidable. La masa fraccionada que no pasa por un tamiz con dimensiones de malla de 0.5 mm se compara con la masa inicial y se toma como medida en por ciento de la resistencia mecánica [5]. La densidad real se determinó empleando lo métodos tradicionales establecido internacionalmente para tales mediciones.

La caracterización fásica se realizó con el auxilio de la técnica de difracción de rayos X. Esta determinación permitió valorar algunos cambios que tienen lugar durante el proceso de conversión térmica analizado. Para ello se le realizó un estudio con rayos X a la materia prima de interés. Asimismo, se realizaron ensayos similares a materias primas de origen vegetal para valorar posibles diferencias durante dichos procesos.

Las muestras se trituraron en un mortero de ágata y se tamizaron, tomando la fracción de diámetro de partículas inferior a 63μm, para garantizar la homogeneidad morfológica de las mismas. El equipo marca PHILIPS, se accionó con un voltaje de 35kV y 20mA, empleándose un tubo de cobre, la radiación fue filtrada obteniéndose un valor de λ =1.5406Å, el ángulo de barrido del goniómetro fue de 5 a 70°. Sobre el porta muestra se colocó una pequeña película de glicerina con el objetivo de garantizar la total adherencia del polvo a la misma, evitando así el deslizamiento del polvo durante el registro del patrón de difracción.

Para determinar la forma en que los átomos están distribuidos dentro de las celdas unitarias que conforman la red cristalina, es preciso recurrir a la medida de las intensidades y posiciones de los haces difractados a lo largo del espectro de DRX y al empleo de ecuaciones del factor de estructura F_{hld}, que relaciona las coordenadas de cada átomo en la red cristalina con las intensidades y

1 INTRODUCCIÓN

Los estudios más difundidos en la literatura abierta sobre la caracterización morfológica y textural durante la termo-conversión de recursos biomásicos se refieren fundamentalmente a los residuos agrícola y agroindustriales, en cambio han sido poco estudiadas las referidas a otros recursos de amplia disponibilidad y poca competencia en otros usos de las zonas tropicales [1]. En el caso de Cuba uno de estos recursos de amplia disponibilidad es el aserrín proveniente de aserraderos y fábricas de muebles, que cada vez gana más terreno en los campos. En los últimos años se han realizado importantes esfuerzos en la búsqueda de alternativas para reducir el impacto ambiental de esa enorme cantidad de biomasa y añadirle valor agregado para un desarrollo sustentable, uno de estos intentos lo constituye su densificación para emplearlos como portadores energéticos en la obtención de materiales de construcción de creciente demanda en el mercado.

El uso de nuevas materias primas en la producción de materiales de construcción se justifica por muchas razones. Independientemente del precursor de que se trate, es importante conocer el ciclo térmico por el que este transita, ya que las pérdidas en masa que tiene lugar durante los procesos de termo-conversión están determinadas por sus características específicas, ya que la estructura celular de cada precursor vegetal es definitoria en su micro-estructura. El problema básico en cualquier proceso de combustión es la extensa cantidad de parámetros físicos y químicos involucrados, además de que la eficiencia del proceso depende de la historia térmica del combustible, por lo que la definición del proceso depende de la misma [2].

En el presente trabajo se determinan las propiedades morfológicas de aserrín densificado con arcilla, así como los parámetros químico-físicos que caracterizan el proceso de combustión de este portador energético alternativo.

2 PARTE EXPERIMENTAL

La muestra estudiada fue aserrín de maderas tropicales densificada, una materia prima de alta disponibilidad. El estudio químico-físico del proceso de termo-conversión consistió en la determinación de los parámetros cinéticos que caracterizaban éste proceso: energía de activación, constante de velocidad y orden de reacción. La evaluación de éstos parámetros se hizo a través de la aplicación del modelo transciente a los termogramas no - isotérmicos a bajas velocidades de calentamiento y bajo similares condiciones a las empleadas en los ensayos de pirolisis y activación [3]. En el modelo empleado se considera la conversión termoquímica de la biomasa como un proceso que ocurre en una sola etapa global, lo que permite la modelación matemática de los datos experimentales con un reducido número de parámetros y a través de una expresión sencilla, este modelo se emplea con frecuencia para estudios similares, según se presenta seguidamente:

$$\frac{dX}{dt} = k\,(1-X)^{n} \qquad (1)$$

donde: X es la conversión del sólido: $X = \frac{m_0 - m}{m_0} = 1 - w$; t, el tiempo; k, la constante cinética de la reacción global de pirolisis o activación y n el orden de reacción respecto al sólido, m_0 la masa inicial y m es la masa instantánea en la medida que va ocurriendo la pérdida de masa. Reemplazando (1 – X) por w, la expresión (1) se reduce a:

$$\frac{dX}{dt} = kw^{n} \qquad (2)$$

El ajuste de los datos experimentales w vs. t se realizó mediante análisis de regresión no lineal. Los parámetros característicos del modelo se estimaron minimizando la función objetivo FO:

$$FO = \sum_{i=1}^{N} \left(\left.\frac{dX}{dt}\right|_{exp_i} - \left.\frac{dX}{dt}\right|_{cal_i} \right)^2 \qquad (3)$$

Donde: N es el número de datos experimentales considerados para el aj uste; $\left.\frac{dX}{dt}\right|_{exp}$ se refieren a la velocidad de reacción experimental, obtenida directamente del termograma y $\left.\frac{dX}{dt}\right|_{cal}$ a la velocidad de reacción calculada según el modelo.

obtenida mediante termogravimetría para de este modo valorar las posibles relaciones entre ambas determinaciones.

3 RESULTADOS

En la Fig. 1 puede apreciarse la apariencia externa del material analizado.



Figura 1. Muestras de aserrín densificado analizadas.

En la Fig. 2 se presenta el termograma no-isotérmico que caracteriza la combustión de la materia prima estudiada.

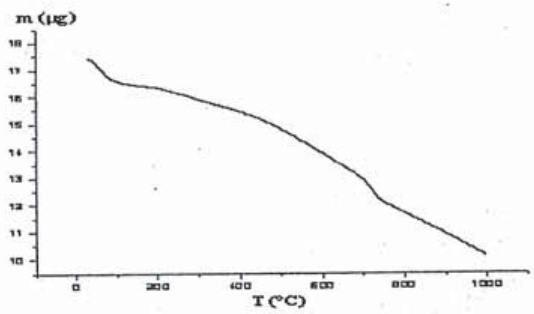


Figura 2. Registro termo - gravimétrico de la combustión del aserrín densificado.

Debe notarse en la Fig. 2, que se produce una drástica pérdida de peso en un pequeño intervalo de tiempo (20-60 min.), éste se corresponde con el intervalo de temperaturas comprendido entre 100 y 1000° C, en el que ocurren casi la totalidad del desprendimiento de volátiles. Por tal motivo se decidió valorar la cinética del proceso de descomposición térmica en este intervalo de temperaturas. En las curvas de pérdida de masa se observan cambios significativos en la biomasa distinguiéndose efectos térmicos diferentes en cuatro intervalos de temperaturas:

I. Entre 30 y aproximadamente 100°C, la pérdida de masa está relacionada con la eliminación de la humedad contenida en la muestra.
II. Entre 100 y 220°C: en este intervalo de temperatura además de la humedad también son removidos compuestos volátiles, los cuales son arrastrados por el flujo de vapor de agua que sale de la biomasa durante el proceso de evaporación.
III. A temperaturas superiores a 220°C la pendiente del registro termo-gravimétrico de la biomasa cambia de forma significativa, indicando el comienzo del proceso de carbonización provocado por desprendimiento de los compuestos volátiles. En el intervalo de temperaturas comprendido entre 220 y 700°C se establece una pérdida creciente de los constituyentes de la biomasa que son arrancados de la estructura amorfa de la misma con mayor facilidad por los efectos de la temperatura.
IV. Por encima de 700°C se mantiene la pendiente de la pérdida de masa, obteniéndose un residuo sólido completamente devolatilizado que no es otro que el producto final del proceso de termo-conversión que tuvo lugar (combustión), el que usualmente se nombra ceniza.

La observación de la Fig. 2 permite afirmar que en los intervalos II, III y IV, donde ocurre alrededor del 85% de la pérdida de masa, es donde tiene lugar el proceso de interés, por lo que la valoración cuantitativa de este registro se hará para dichas etapas. Los valores de los parámetros cinéticos determinados a partir del termograma estudiado se presentan en la Tabla 1. De la que se deduce que el método empleado para estimar los parámetros cinéticos es muy preciso, ya que los coeficientes estadísticos son muy bajos (todos excepto uno están por debajo del 1.00%), lo que indica una fiabilidad elevada.

posiciones angulares de todas las reflexiones del patrón de difracción. Un principio en el que se basa la determinación de la cristalinidad de una sustancia, consiste en que la suma de las intensidades de los rayos X difractados y dispersos a lo largo de todo el intervalo angular del registro espectral para una asociación de átomos es independiente del estado de orden o desorden que presenten los átomos en la sustancia (conservación de la cantidad de haces y halos difundidos). De aquí resulta que si se logra discriminar la intensidad integral de la difracción correspondiente a la parte cristalina de la intensidad integral de la dispersión asociada a la parte amorfa en el patrón de difracción, se pueden dar criterios cuantitativos sobre la contribución de ambas fases [3, 6].

La relación que asocia las características vectoriales del retículo con las del haz de rayos difractados, se efectúa a través de la magnitud espacial $\square_{hkl}$, del vector del retículo con las del vector del haz difractado s, mediante la ecuación siguiente:

$$s = \left|\vec{s}\right| = \rho_{hkl} = \frac{2sen\theta_{hkl}}{\lambda} - \frac{s}{2\pi} \qquad (7)$$

Obsérvese en la ecuación fundamental que el vector s, está relacionado directamente con $sen\theta_{hkl}$ y con su módulo s, e inversamente con el factor 2θ y la longitud de onda λ empleada. Sea I(s) la intensidad la radiación coherente difundida por la sustancia en el punto s en la red recíproca, e $I_0(s)$ la parte de la intensidad en el mismo punto, donde se encuentran los reflejos correspondientes a la parte cristalina. Las integrales de esas intensidades sobre todo el espacio recíproco y la correspondiente a su fracción altamente ordenada se expresan a través de las ecuaciones (8) y (9), respectivamente:

$$\int_0^\infty I(s)d\upsilon_f - 4\pi\int_0^\infty s^2 I(s)ds \qquad (8)$$

$$\int_0^\infty I_0(s)d\upsilon_f - 4\pi\int_0^\infty s^2 I_c(s)ds \qquad (9)$$

En las ecuaciones (8 y 9) I(s) y $I_c(s)$ se refieren a las intensidades de dispersión por unidad de ángulo sólido en la distancia radial s en el espacio recíproco. Para una primera aproximación de la fracción cristalina de la sustancia en la muestra radiada se expresa de la forma siguiente:

$$X_C = \frac{\int_0^\infty s^2 I_c(s)ds}{\int_0^\infty s^2 I(s)ds} \qquad (10)$$

El valor de X_C, determinado experimentalmente, tiende a ser más pequeño que la verdadera fracción cristalina, debido a que una parte de la intensidad de los rayos X del pico que es difundida por la región cristalina, se pierde y aparece como dispersión difusa asociada a la radiación de fondo como resultado de la vibración térmica y de las imperfecciones reticulares, por lo que:

$$X_C + X_{amorf} \approx 1 \qquad (11)$$

Los patrones de difracción de los materiales analizados presentan un fondo de radiación difusa que corresponde a las fases cristalinas presentes en estos materiales. Tomando como aproximación aceptable a todas las intensidades de los picos de los reflejos como $\sum I_c(s)$ y las intensidades del halo bajo la línea de fondo como $\sum I_{amorf}(s)$ para la determinación de la cristalinidad que presentan dichos materiales. Debido a la constancia de la energía involucrada en la difracción se puede afirmar que la sumatoria de la radiación dispersa con la difractada es constante, lo que posibilita la determinación de la cristalinidad (η) mediante la expresión (12).

$$\eta\,(\%) = \frac{I\ rad\ dispersa}{\text{I total de la radiación}} * 100 \qquad (12)$$

Donde:

I rad dispersa: es la intensidad de la radiación dispersa;

I total de la radiación: es la intensidad total de la radiación.

Para determinar la cristalinidad mediante la fórmula anteriormente descrita, primeramente, se determinó el área bajo la curva de la banda ancha en el intervalo angular de 10 a 45°, para cada muestra. La cristalinidad se determinó con el objetivo de relacionarlo con la pérdida en masa

operacionales empleadas y las propiedades físico-mecánicas del material tratado, [3, 8, 9].

Se determinaron los valores de cristalinidad de otros recursos energéticos renovables tropicales, los que se presentan en la Tabla 2. En la propia Tabla se ofrecen los valores de resistencia mecánica (Rm) de las muestras y sus correspondientes densidades reales o pesos específicos (d).

Como puede apreciarse en la Tabla 2, los valores de la cristalinidad (η) difieren significativamente para prácticamente todas las muestras, correspondiendo los valores superiores al quebracho colorado y al marabú, lo que se corresponde con la elevada dureza de estos materiales, obteniéndose el menor valor para el cedro. La variación de estos valores se debe a que, los materiales de origen vegetal inevitablemente se diferencian en su composición estructural y resistencia mecánica. Asimismo, debe notarse que todos los productos presentan una elevada resistencia mecánica, correspondiendo el mayor valor al quebracho colorado.

Esta propiedad es de gran utilidad a la hora de evaluar las diferencias entre las reactividades de estos productos, ya que las materias primas de mayor dureza o consistencia dificultan la difusión de los agentes oxidantes en su estructura y por tanto las energías necesarias para favorecer las reacciones de combustión son superiores.

Los valores encontrados para el aserrín aglomerado son similares a los de las maderas semi-duras, lo que hace suponer que la heterogeneidad de este producto además de la incorporación de la arcilla como agente aglomerante le concede una elevada consistencia a este nuevo combustible que facilitan su uso en procesos industriales donde se requiera una elevada cantidad de combustible de origen vegetal como lo constituye la fabricación artesanal de materiales de construcción como los ladrillos cocidos.

La Fig. 3 ilustra la dependencia de la cristalinidad (η) de la materia prima estudiada y las tomadas con fines comparativos con la resistencia mecánica con la resistencia mecánica (Rm) y la densidad (d). Como puede observarse, existe una correspondencia satisfactoria entre la cristalinidad de los combustibles estudiados y morfología, encontrándose que el nuevo combustible analizado se adecua satisfactoriamente a estas correlaciones. La ecuación multi-variables que asocia la cristalinidad (13) con ambas propiedades mecánicas se presenta seguidamente, siendo su coeficiente de correlación $R^2 = 0.9791$:

$$\eta = 2.06*Rm - 9.51*d - 135.868 \quad (13)$$

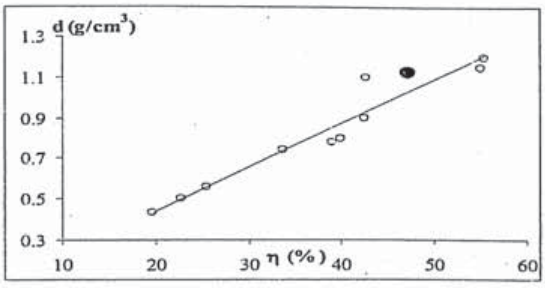


Figura 4. Relación de la resistencia mecánica (Rm) y la densidad (d) con la cristalinidad (η) de diferentes precursores renovables empleados como combustibles.

En la Fig. 4 se presentan las dependencias entre las energías de activación, tanto del material de interés, como de sus semejantes, tomados como referencia, en función de la resistencia mecánica (Rm) y la densidad (d).

De forma análoga a como se procedió con la cristalinidad, se hizo con el parámetro químico-físico energía de activación (EA), notándose nuevamente que los resultados obtenidos para el residuo de interés armonizan adecuadamente con los determinados para otros sustratos de naturaleza semejante. La Fig. 4 ilustra ambas dependencias, de la cual se dedujo la correlación multi-variables brindada a través de la ecuación (14) que relaciona la energía de activación con la densidad y la resistencia mecánica, la que brindó un coeficiente de correlación $R^2 = 0.9342$; mientras que la ecuación (15) expresa la dependencia entre la cristalinidad y la barrera energética que necesariamente debe vencerse para que la combustión de determinado portador energético se haga efectiva, siendo coeficiente de correlación $R^2 = 0.9003$:

$$EA = 37.84*d + 2.70*Rm - 180.02 \quad (14)$$

$$\eta = 0.38*EA + 4.28 \quad (15)$$

Tabla 1. Parámetros cinéticos que caracterizan la combustión del aserrín densificado en comparación con otros recursos renovables determinados bajo las mismas condiciones

Muestra:	EA (kJ/mol)	k(min^{-1}) A 1000 C	n	D.S. (%)
Quebracho colorado (*schinosis balansae*)	141.88	$9.38*10^6$	1.15	0.19
Palo Santo (*bulnesia sarmientoi*)	116.18	$4.82*10^6$	1.00	0.20
Eucalipto (*eucalyptus robusta*)	85.93	$5.00*10^6$	1.07	0.16
Marabú (*leptoptilus crumeniferus*)	84.42	$5.43*10^6$	1.00	0.12
Algarrobo Blanco (*prosopis alba*)	76.60	$8.00*10^5$	0.97	0.03
Pino(*Araucaria angustifolia*)	50.00	$1.98*10^5$	0.74	0.21
Cedro(*cedrela balansae*)	39.50	$3.89*10^5$	0.98	0.05

Referencias: EA: energía de activación; K: constante cinética; n: orden de reacción respecto al sólido; D.S.: desviación estándar

Del análisis de la Tabla 1 se deduce que la termo-conversión del material estudiado se caracteriza por poseer una energía de activación intermedia con respecto a los valores determinados para otras biomasas, los que se corresponden con los reportados para maderas semi duras. Los órdenes de reacción obtenidos son cercanos a la unidad en la mayor parte de los casos, y las constantes cinéticas son también muy próximas. Estos valores son similares a los reportados en la literatura para biomasas semejantes, los cuales suelen encontrarse en el amplio intervalo desde 23.6 hasta 166 kJ/kmol [7].

En la Fig. 3 se presenta el difractograma de rayos X correspondiente al aserrín aglomerado con arcilla o biomasa densificada, el cual se utilizó para evaluar la cristalinidad (η) de la muestra de interés, para compararla con otros combustibles de naturaleza vegetal. Del análisis del difractograma se deriva que la muestra presenta una ancha banda en el intervalo angular analizado, lo que indica la presencia de sustancias amorfas en la misma.

Tabla 2. Cristalinidad (η), resistencia mecánica (Rm), densidad (d) de diferentes recursos energéticos.

Muestra	η (%)	Rm (%)	d (g/cm^3)
Quebracho colorado (*schinosis balansae*)	55.36	98.97	1.20
PaloSanto (*bulnesia sarmientoi*)	55.10	96.63	1.15
Aserrín aglomerado con arcilla	47.29	94.42	1.12
Eucalipto (*eucalyptus robusta*)	39.86	90.00	0.80
Marabú (*leptoptilus crumeniferus*)	39.08	86.95	0.78
Algarrobo Blanco (*prosopis alba*)	33.70	85.76	0.74
Pino (*araucaria angustifolia*)	22.80	79.47	0.50
Cedro (*Cedrela balansae*)	19.61	77.64	0.43

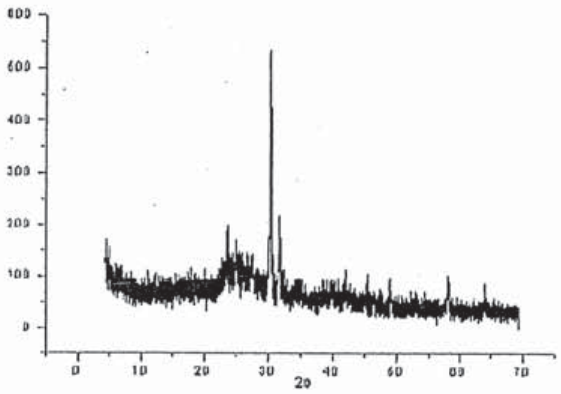


Figura 3. Difractograma de la biomasa densificada.

El estudio comparativo con otras muestras de origen vegetal, evidencia una gran similitud con los rayos X de la muestra evaluada en este trabajo. El mecanismo de combustión es similar en todos los casos, independientemente que durante este complejo proceso se producen diferentes ordenamientos de las cadenas carbonadas con el incremento de temperatura, el cual está condicionado por las variables

Modelado matemático de dispersión de contaminantes provenientes de fuentes vehiculares

N. Pugliese , E. Ortega , J. Aguirre , J. Mercado & G. Romero
noriris@unsj.edu.ar
Departamento de Matemática, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Juan.

S. Loiácono & N. Alonso
stellaloiacono@hotmail.com
Departamento de Informática, Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, Universidad Nacional de San Juan

RESUMEN: En la mayoría de las áreas urbanas, la principal fuente de contaminación proviene de los vehículos. El área relativamente compacta de la ciudad bajo estudio, con alta intensidad de tránsito, las condiciones climáticas con numerosos días soleados y altas temperaturas, hacen que se intensifiquen las reacciones fotoquímicas. Los principales componentes en estas reacciones son los óxidos de nitrógeno y los compuestos volátiles orgánicos, emitidos por los vehículos. En este estudio se desarrolla el modelo de emisiones para contaminantes atmosféricos en una ciudad vecina a la capital de San Juan, y se estiman las concentraciones de ozono a nivel superficial, en variadas condiciones climáticas.

Palabras clave: contaminación - modelo matemático - emisiones

ABSTRACT: In most urban areas the main anthropogenic pollutant sources are vehicles. Relatively compact area of city under study, high intensity of roads, the climatic conditions with numerous sunny days and high daily temperatures are able to intensify the photochemical reactions. The major components of these reactions are oxides of nitrogen and volatile organic compounds emitted by vehicles. In this study it is developed the emission model for atmospheric pollutants in a city close to capital city of San Juan, and also estimated ozone concentrations at various weather scenarios.

Key Words: pollution – mathematical model – emissions

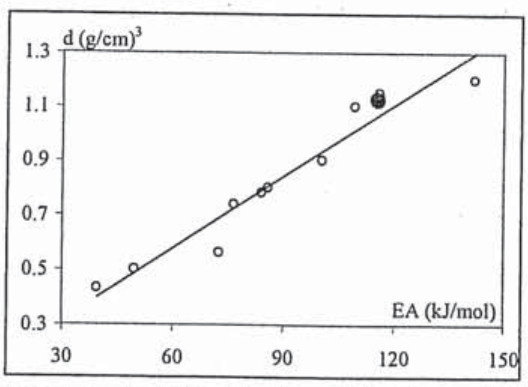


Figura 5. Relación de la resistencia mecánica (Rm) y la densidad (d) con la energía de activación (EA)

4 CONCLUSIONES

- Se determinaron los parámetros cinéticos característicos del proceso de termo-conversión del aserrín densificado, un subproducto de la manufactura de diferentes maderas renovables tropicales, poco usado hasta el presente.
- Se pudieron determinar, en base a modelos conocidos las ecuaciones que permitieron el desarrollo de los modelos a usar.
- Para determinar estos parámetros se empleó un modelo simple, el cual brindó resultados satisfactorios, en todos los casos en los que se aplicó.
- La energía de activación que caracteriza la termo-conversión de esta materia prima fue de 115kJ/mol, mientras que la constante cinética tuvo un valor de y $1.21*10^{6}min^{-1}$, siendo el orden de reacción muy cercano a la unidad (0.97). Estos valores concuerdan satisfactoriamente con los reportados en la literatura para maderas semi-duras, analizadas a través del mismo método.
- La realización de los ensayos y modelos permitió la caracterización fásica lo que posibilitó establecer correlaciones de gran utilidad durante el proceso de termo-conversión en los materiales estudiados.

REFERENCIAS

[1] Villegas Aguilar, P. J.; Dévora Rodríguez Y., Bucki Wasserman, B.; Mollineda Trujillo, A. Obtención de carbones activados para laprotección ambiental partir de maderas exóticas tropicales. Avances en EnergíasRenovables y Medio Ambiente (ISSN 0329-5184),Vol. 8, 2004. [2] CYTED. Descontaminación ambiental mediante adsorbentes. Libro contenedor de una compilación de trabajos de de la Red Temática V. F.: Red Iberoamericana de Adsorbentes para la Protección Ambiental. Editado por Francisco Rodríguez Reinoso. Noviembre de 2005.

[3] Villegas Aguilar, P. J.; Cavalieri, A., Camerucci, A.; Quintana Puchol, R.; Bucki Wasserman, B.; Dévora Rodríguez, Y. Estudio de las transformaciones morfológicas durante la termoconversión de biomasas tropicales. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 10, 2006.

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

[5] Lovera R. G. Carbones Activados. Resúmenes III Curso Taller Iberoamericano Adsorbentes para la protección ambiental, La Plata, Argentina, pp. 79-90, 2003.

[6] Voinshtein, B. K. Diffraction of X ray by chain molecules. Elsevier Publishing Co. Amsterdam-London- New York, pp. 414, 1966.

[7] Villegas Aguilar, P. J. Aprovechamiento de residuos fibrosos de la industria azucarera mediante procesos de conversión térmica. *Tesis Doctoral,* Universidad Central de Las Villas, Santa Clara, Cuba, 2000.

[8] Quintana Puchol, R. Ramos, M. G. González, O. H. Principio de difracción de rayos X, análisis térmico y espectroscopía Mosbauer. Material Docente editado en la Universidad Central de Las Villas, 1986.

[9] Alexander, L. E. X ray diffraction methods in polymer science. Wiley Interscience. John Wiley & Soc. Inc. New York-London-Toronto, pp. 582, 1969.

Se introduce la siguiente representación de las componentes del viento [6]:

$$u = \sum_{i=1}^{2n} a_i g_i^1(x,y,t)\,,\quad v = \sum_{i=1}^{2n} a_i g_i^2(x,y,t)\,, \tag{4}$$

Donde n es el número de estaciones de medición, a_i es un factor de peso y $g_i^1(x,y), g_i^2(x,y)$ son incógnitas. Por otro lado las componentes del viento se pueden escribir como sigue:

$$u = \frac{\partial P}{\partial x},\ v = \frac{\partial P}{\partial y}\,, \tag{5}$$

donde la función $P(x,y) = \sum_{i=1}^{2n} a_i P_i(x,y)$ es la solución de la ecuación de Laplace:

$$P_i(x,y) = \ln\sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2}\,, \tag{6}$$

donde $(x,\ y)$ son puntos cualquiera fuera del área bajo estudio. Las funciones $g_i^1(x,y), g_i^2(x,y)$ pueden ser representadas por $P_i(x,y)$.

Para encontrar a_i es necesario resolver el sistema algebraico lineal:

$$u_k = \sum_{i=1}^{2n} a_i \frac{\partial P_i(x_k,y_k)}{\partial x}\,,$$
$$v_k = \sum_{i=1}^{2n} a_i \frac{\partial P_i(x_k,y_k)}{\partial y}\,, \tag{7}$$

donde

u_k y v_k son las componentes del viento en las estaciones de medición;

x_k e y_k son las coordenadas para la k-ésima estación.

Los cálculos muestran que la solución depende de la elección de los puntos (x,y). Una distribución simétrica de estos puntos alrededor del área bajo estudio, es una juiciosa interpolación del campo de vientos. Si las estaciones de medición estuvieran eventualmente en la región bajo estudio, entonces una interpolación válida sería ubicando estaciones ficticias fuera del área bajo estudio. Para disminuir la perturbación del campo real de vientos, esta estación debe ser ubicada lejos de la frontera. La velocidad del viento en este punto puede ser tomada como un valor promedio de las velocidades medidas en las otras estaciones.

La distribución vertical del campo de velocidades está basada en las siguientes presunciones [6]:

1) En la dirección horizontal, el transporte debido a la difusión turbulenta, es mucho menor que el de advección;

2) El campo de velocidades entre mediciones se considera estable.

La ecuación de Navier Stokes se reduce entonces a un sistema de dos ecuaciones:

$$\frac{\partial}{\partial z} K_V \frac{\partial u}{\partial z} = 2\omega_z (v_g - v)\,,$$
$$\frac{\partial}{\partial z} K_V \frac{\partial v}{\partial z} = 2\omega_z (u_g - u) \tag{8}$$

donde

v_g y u_g son las componentes horizontales del viento geostrófico,

ω_z es la componente de la velocidad angular de la rotación de la tierra.

Las ecuaciones de borde son:

$$u = u_g\,,\ v = v_g \text{ en } z = H\,,$$
$$u = u_a\,,\ v = v_a \text{ en la superficie.} \tag{9}$$

2.1.3. Dispersión de los contaminantes

La dispersión de los contaminantes en la atmósfera está sujeta a factores meteorológicos y topográficos, por lo que es importante para el estudio de la calidad del aire el conocimiento de estos parámetros. Con respecto a la meteorología, este estudio se hace en las capas bajas de la atmósfera y el área bajo estudio está localizada aproximadamente de 0 a 500 metros sobre el nivel terrestre. Dentro de los factores que influyen en el área, desde el punto de vista de este estudio son: la variación de la temperatura con la altura, la presión atmosférica y la dirección y velocidad del viento. Siendo estos últimos los de mayor relevancia, ya que a mayor velocidad del viento hay mayor turbulencia y por lo tanto más rápida y completa será la dispersión.

Para este estudio, se contó con datos meteorológicos proporcionados por la estación meteorológica de la

1 INTRODUCCIÓN

La principal contaminación del aire en las grandes ciudades es debida a las emisiones vehiculares. Las ciudades pequeñas con alta concentración de vehículos están también expuestas a una importante contaminación del aire. La formación de algunos contaminantes se produce por las reacciones fotoquímicas, como es el caso del ozono, componente importante del smog. Su formación involucra reacciones de óxidos de nitrógeno y los compuestos volátiles orgánicos, iniciadas por la luz solar. Se determinará la concentración de ozono producida en una ciudad cercana a la capital de San Juan. Siendo el objetivo de este estudio desarrollar el modelo de emisiones para contaminantes atmosféricos en la ciudad y estimar la contaminación del aire en variadas condiciones climáticas.

En este análisis se aplica la aproximación bottom-up, que consiste en encontrar un conjunto de parámetros para cada celda elemental de la ciudad (número y tipo de vehículos, consumo de combustible, tipo y longitud de ruta, factores de emisión en caliente y en frío). Se analizó el sistema de reacciones fotoquímicas que contribuyen a la formación de smog. Obteniendo la solución del problema tridimensional por el método split. Se analizó la influencia de las condiciones de borde en la solución numérica.

Las condiciones meteorológicas influyen n la concentración de contaminantes por lo que se obtuvieron los correspondientes valores de temperaturas, vientos, presión se encuentra

2 MODELO MATEMÁTICO

2.1 *Planteo del problema*

El área bajo estudio es la ciudad de Rawson, un cuadrado de 3x3 km^2, con una alta densidad de población. El modelo urbano se basa en la ecuación de conservación de masas que describe advección-difusión turbulenta y transformaciones fotoquímicas. El análisis se ha desarrollado en un sistema Euleriano de grilla tridimensional. La altura de la frontera superior, H, es mayor o igual que el espesor de la capa de mezcla. Las fronteras verticales de la región bajo estudio están fuera de la ciudad.

Diversos autores han estudiado el transporte y formación de oxidantes fotoquímicos En esencia las ecuaciones gobernantes mencionadas por todos ellos, son similares y basadas en las ecuaciones de balance de masa [1, 2, 3]. La principal ecuación para la concentración de *i-ésimo* contaminante puede entonces escribirse:

$$\frac{\partial C_i}{\partial t}+\frac{\partial C_i u}{\partial x}+\frac{\partial C_i v}{\partial y}+\frac{\partial C_i w}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x}(K_H \frac{\partial C_i}{\partial x})+\frac{\partial}{\partial y}(K_H \frac{\partial C_i}{\partial y})+\frac{\partial}{\partial z}(K_V \frac{\partial C_i}{\partial z})+R_i, \quad (1)$$

$$t \geq 0,\ 0 \leq x \leq X,\ 0 \leq y \leq Y,\ 0 \leq z \leq H,$$

donde

C_i es concentración para cada especie.

t es tiempo.

u, v, w componentes de velocidad del viento a lo largo de las coordenadas x, y, z.

K_H, K_V coeficientes de difusión horizontal y vertical.

R_i tiene en cuenta la variación del contaminante i debido a las reacciones químicas;

X, Y y H son las dimensiones horizontal y vertical de la región bajo estudio, respectivamente.

Las condiciones de borde vertical son:

$$\frac{\partial C_i}{\partial z} = -f_i(x,y,t)/K_V, \quad \text{en } z=0, \quad (2)$$

$$\frac{\partial C_i}{\partial z} = 0 \quad \text{, en } z=H,$$

donde el término $f(x,y,t)$ está determinado por la emisión vehicular que es la fuente emisora.

Se aplican dos tipos diferentes de condiciones de borde horizontales en $x = 0, X$ y en $y = 0, Y$.

La distribución vertical inicial se considera de la forma [4]:

$$C(z) = C|_{z=0} \cdot \exp(-z/m) \quad (3)$$

2.1.1 *Coeficiente de difusión*

La variación vertical de la difusividad se ha tomado de acuerdo a Reynolds y otros [5]

2.1.2 *Velocidad del viento*

La velocidad del viento se mide solo en algunos puntos de la ciudad. Por lo tanto, esos datos fueron interpolados en los puntos de la grilla. La interpolación del campo de viento satisface la ecuación de incompresibilidad $div\vec{W} = 0$, donde $\vec{W} = (u, v, 0)$ es el vector velocidad, bidimensional.

M_i consumo de combustible por unidad de tiempo *(l / hora)* para vehículos tipo *i* (independiente del tipo de ruta);

T_{it} tiempo de calentamiento desde el arranque hasta alcanzar el estado de régimen *(seg)*, siendo *t* la hora en que tiene lugar el arranque;

F_i Factor de Emisión de NOx. (g / l).

La fórmula usada para su cálculo es:

$$E_t^c = \sum_{i=1}^{3} \sum_{j=1}^{3} N_{ij}\, M_i\, T_{it}\, F_i \qquad (11)$$

Para estimar el número de vehículos de cada tipo que circulan en cada tipo de ruta, se consideró que los autos arrancan en frío tres veces al día y se distribuyó el número de arranques durante las 24 horas en las cien celdas.
Se determinó el consumo de combustible para cada tipo de vehículo en frío, como así también el tiempo de calentamiento para las diferentes horas del día.
Finalmente para determinar las emisiones totales, sumando las emisiones en frío y las emisiones en caliente.

$$E_T\left(g/km^2\ hora\right) = E_t^h + E_t^c \qquad (12)$$

En las siguientes figuras puede verse las concentraciones de óxidos de nitrógeno determinadas en dos momentos diferentes del día. Las Fig. 1-2 muestran la distribución de NO y las Fig. 3-4 la de NO_2 en la mañana (8 a.m.) y al medio día (2 p.m.), respectivamente

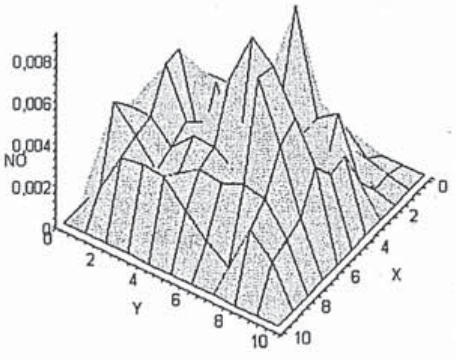


Figura 1. Distribución de NO en *ppm* (8 a.m).

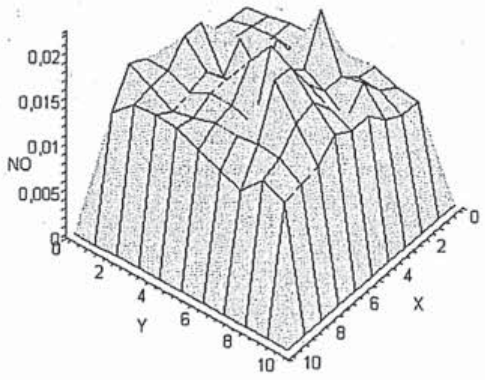


Figura 2. Distribución de NO en *ppm* (2 p.m).

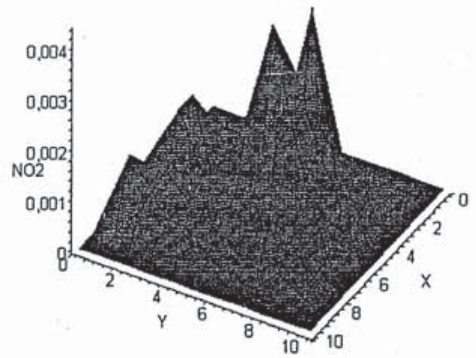


Figura 3. Distribución de NO_2 en *ppm* (8 a.m).

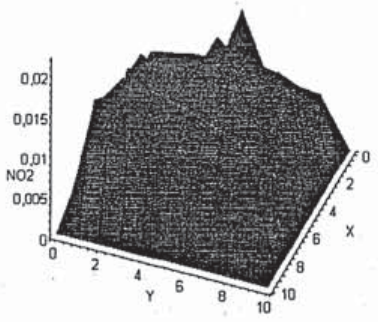


Figura 4. Distribución de NO_2 en *ppm* (2 p.m).

Fuerza Aérea ubicada en el aeropuerto de Las Chacritas y por el INTA.
Con respecto a la topografía, la posición de las montañas influye en la acumulación de humo.
Analizados los datos meteorológicos y topográficos se concluyó que debido a la posición de las montañas (la Cordillera de los Andes al oeste, la montaña del Pie de Palo al este y las montañas del Villicum al norte), el viento predominante es de sur a norte, con velocidad moderada (de 11a23 *km/h*) y con menor frecuencia el viento del sudeste al noroeste con baja velocidad (10 *km/h*). La temperatura varía entre –2 °*C* y 18 °*C* en invierno y entre 17 °*C* y 36 °*C* en verano. La presión es generalmente baja; entre 942 *hPa* y 950 *hPa*, es decir no superior a 947 *hPa*. La lluvia es prácticamente nula en la región.

2.1.4 *Modelo de emisiones*

El modelo de emisiones para los contaminantes atmosféricos en la ciudad, está basado en la metodología desarrollada por Costa y Baldasano [7]. La principal fuente de contaminación atmosférica en la ciudad está relacionada con la emisión vehicular. El área bajo estudio es un cuadrado dividido para fines operativos en celdas de 0.3x0.3 km^2. Se aplica la aproximación bottom-up para encontrar el monto emitido por celda en la unidad de tiempo [7,8]. La información detallada para cada celda, como número de vehículos, tipo de vehículos, consumo de combustible, etc. es esencial para computar la contribución de las celdas en las emisiones totales. Esta aproximación da un detallado inventario de emisiones, pero requiere un alto esfuerzo computacional, debido a la cantidad de datos involucrados.
A los efectos de estimar las emisiones de óxidos de nitrógeno del tránsito vehicular, deben considerarse todos los tipos de rutas: autopistas, rutas y calles, clasificadas así según la velocidad promedio de circulación en las mismas, 70, 40 y 30 km/h respectivamente.
Se han tomado en cuenta dos tipo de emisiones: *emisiones en caliente*: cuando el motor está térmicamente estabilizado y *emisiones en frío*, tienen lugar durante el calentamiento del motor.

Para calcular las emisiones en caliente: E_{ij}^h del contaminante NOx, por celda, emitido por vehículos tipo i en rutas tipo j, usamos la expresión:

$$E_{ij}^h = N_{ij} d_j G_{ij} F_i \ . \ (g/km^2\ hora) \qquad (9)$$

donde:

$N_{ij} d_j$ kilómetros recorridos por hora por vehículos tipo i en ruta tipo j, (km/hora);

G_{ij} consumo de combustible para vehículos tipo i en ruta . En Tabla 1 de muestran diferentes valores de G_{ij}, (l / km);

F_i Factor de Emisión de NOx considerado. Valores en Tabla 2, (g / l).

El factor de emisión es función del tipo de contaminante, velocidad de conducción y categoría de vehículo: diesel y nafteros livianos y motocicletas; diesel semilivianos y diesel pesados.

Integrando para todas las rutas y tipos de vehículos se obtiene el total de emisiones en caliente

$$E_t^h = \sum_i \sum_j N_{ij} d_j G_{ij} F_i \ \ (g/km^2 hora) \qquad (10)$$

Tabla 1. Consumo de combustible (G_{ij}).

	Autopista	Ruta	Calle
Auto	0.08	0.12	0.16
Utilitario	0.1	0.15	0.5
Camión-Bus	0.12	0.18	0.2

Tabla 2. Factor de Emisión de NOx

	Nafteros	Diesel
F_i *(g/l)*	15	20

Para el cálculo de las *Emisiones en frío* se consideran las rutas de tipo 2 y 3, ya que se considera que en la autopista no hay arranque de vehículo en frío.
Para determinar estas emisiones se necesitan los siguientes parámetros:

N_{ij} número de vehículos tipo i circulando a lo largo de la ruta tipo j;

photochemical oxidants in Central Japan. *Atmospheric Environment.* V23, No. 2, pp. 363-393.1989.

[2] Ku J.-Y., Rao S.T., Rao K.S. Numerical simulation of air pollution in urban areas: model development. *Atmospheric Environment.* V21, No. 1, pp. 201-212.1987.

[3]Velasco R. M. y Varela J. R. Simulación numérica de la dispersión de contaminantes en la atmósfera. Universidad Autónoma Metropolitana de México.1996.

[4] Y.S. Chang., G.R. Carmichael & H. Kurita The transport and formation of photochemical oxidants in Central Japan. *Atmospheric Environment*, 23(2), pp. 363-393, 1989.

[5] S.D. Reynolds, P.M Roth & J.H. Seinfeld Mathematical modeling of photochemical air pollution-I. *Atmospheric Environment*, 7, pp.1033-1061, 1973.

[6] E.A. Samarskaya. Formulation of mathematical model of air pollution propagation in atmosphere. *Mathematical modelling*, 9(11), pp. 59-71, 1997.

[7] M. Costa & J.M. Baldasano. Development of a source emission model for atmospheric pollutants in the Barcelona area. *Atmospheric Environment*, 30(2), pp. 309-318, 1986.

[8] W. Lobil, R. Orthofer & W. Winiwarter. Spatially disaggregated emission inventory for anthropogenic NMVOC in Austria. *Atmospheric Environment*, 27A, pp. 2575-2590, 1993.

[9] J.H. Seinfeld. Atmospheric chemistry and physics of air pollution. N.J. Wiley. 1986.

De estas cuatro figuras se puede inferir que el nivel de óxidos de Nitrógeno es más alto al medio día (2 p.m.), cuando la radiación solar es elevada. A pesar de tener un perfil de distribución agudo en las primeras horas de la mañana (Fig. 1 y Fig. 3), debido a la difusión las concentraciones de óxidos de nitrógeno se acumulan y distribuyen en toda la ciudad (Fig. 2 y Fig. 4). Como una consecuencia la distribución de concentración de ozono tiene forma aguda en las mañanas y más suave al medio día.

2.1.5 *Modelo fotoquímico*

Las transformaciones químicas resultan en la formación de smog [9]. El ozono atmosférico participa en varias reacciones químicas en las que se involucran los siguientes cinco compuestos gaseosos: NO, NO_2, NO_3, O_2 y O_3.
El correspondiente sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias es un sistema rígido. Las reacciones fotoquímicas se han considerado usando el método de los coeficientes "congelados".

3 MÉTODO DE SIMULACIÓN

3.1 Condiciones de frontera.

Generalmente se consideran condiciones de frontera del tercer tipo, es decir: $-K_H \frac{\partial C}{\partial x_i} = v(C - C_{ext})$, donde C_{ext} es la concentración de contaminación en el exterior de la frontera de la región calculada. Ya que no se conoce esta concentración "a priori", se supone que en la periferia de la ciudad se caracteriza por un perfil de concentración relativamente suave. Debido a esto es posible considerar a la ecuación igualada a cero. Esta suposición sirve para las caras laterales de la región bajo cálculo y también para la cara superior.
La superficie inferior del paralelepípedo (la superficie terrestre) tiene una emisión de potencia S_i.

3.1 *Método Split*

El sistema principal de ecuaciones para determinar la concentración del i-ésimo contaminante, puede ser escrito como sigue:

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} + \hat{L}_1 C_i + \hat{L}_2 C_i = R_i ,$$

donde los operadores diferenciales:

$\hat{L}_1$ y $\hat{L}_2$, son los responsables para la difusión y la advección respectivamente.
Se aplica el método de diferencias finitas, implícito con fórmulas de diferencias atrasadas debido a la rigidez del esquema. La aplicación del método split permitió encontrar la solución numérica óptima del problema.
Para la convergencia de la solución numérica es suficiente verificar el orden de aproximación y estabilidad de la solución numérica. Se ha investigado la estabilidad numérica del método mediante el método de separación de variables. Se ha construido un esquema de estabilidad absoluta

4 RESULTADOS NUMÉRICOS

El modelo se aplicó para el cálculo de la concentración de ozono en el área bajo estudio, para diferentes condiciones meteorológicas. El viento aumenta la dispersión de los contaminantes atmosféricos, cambiando la distribución de concentración de ozono. En las noches las concentraciones de ozono disminuyen a mínimos valores. Las emisiones vehiculares elevadas y la alta radiación solar al medio día producen la máxima concentración de ozono. Sin embargo la posición de los máximos es función directa de los parámetros meteorológicos. Por ejemplo los cielos nublados desplazan los máximos hacia horas de la tarde.

5 CONCLUSIONES

Los cálculos muestran que la emisión de los óxidos de nitrógeno para el área bajo estudio es de un nivel de contaminación significativo.
El viento reduce los niveles de contaminación. La frecuente presencia de noches claras, produce la radiación por inversión. El programa de contaminación desarrollado en este estudio permite la predicción de la contaminación del aire para diferentes condiciones climáticas.
La principal ventaja del modelo de emisiones presentado en este trabajo es que puede ser fácilmente actualizado cambiando los datos. El esquema desarrollado puede ser útil para futuros estudios de otros contaminantes en el área.

REFERENCIAS

[1] Chang Y.S., Carmichael G.R., Kurita H., Ueda H. The transport and formation of

Matriz energética integral de la provincia de Mendoza 2007

S. Curadelli, L. R. Álvarez, G. R. López, J. F. Fernández

curadelli.irese@frm.utn.edu.ar, alvarez.irese@frm.utn.edu.ar, cassarino_lopez@hotmail.com & fernandez.irese@frm.utn.edu.ar

Instituto Regional de Estudios Sobre Energía, Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional

RESUMEN: Desde hace algunos años Argentina atraviesa una crisis energética estructural. La realización de un planeamiento energético con acciones en el corto y mediano plazo requiere un buen diagnóstico. Para ello, la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Mendoza realizó la Matriz Energética Integral de la Provincia de Mendoza para el año 2007. Se hizo el relevamiento de la infraestructura energética: petróleo, gas natural, generación, sistemas de transporte y de distribución de energía eléctrica, y energías alternativas. Una vez confeccionado el Balance Energético Provincial, con modelos econométricos propios se realizaron proyecciones socioeconómicas y energéticas considerando series de tiempo que abarcan el período 1992-2006. Se propusieron tres escenarios factibles: el primero extrapola para el mediano y largo plazo el PBG Provincial durante los períodos 2002/2006 y 1992/2006 respectivamente. El segundo supone condiciones que configuran un escenario más favorable, lo que implica tasas de crecimiento superiores (límite superior). El tercero supone condiciones menos favorables sobre la tendencia histórica (límite inferior). Los aspectos relevantes de las proyecciones energéticas (escenario de Referencia), muestran un incremento del consumo total de energía al año 2016 de 51,7%, esto presupone un crecimiento medio de 4,3% anual acumulativo (% aa). La hipótesis de máxima arrojó un crecimiento de 5,1% aa y la de mínima un 3,4% aa.

Palabras clave: balance energético - escenarios de crecimiento - proyecciones de demanda de energía.

ABSTRACT Argentina has been going through a structural energy crisis for years. The design of short and long term energy planning requires a good diagnosis. In that sense, the Mendoza Energy Budget computed in 2007 by the UTN did a complete description of the local the energetic infrastructure (gas, oil, the generation, transport and distribution of electricity and alternative energies) and a balance sheet of energy. Some econometric models were made in order to perform socio-economic and energetic projections by using time series during the 1992-2006 period and three scenarios were proposed. the first one extrapolates for the medium and long term the provincial Gross Geographic Product during 1992/2006 periods and 2002/2006 respectively. The second one supposes conditions to constitute the favorable scenario, which implies higher growth rates (upper limit). The third scenario considers the less favorable conditions on the historical tendency (lower limit). Some of the energetic projections results for the reference scenario (first one) show an increase of the total energy consumption for year 2016 of 51.7%, that implies a cumulative annual average growth of 4.3%. The best case scenario gives a growth of 5.1% and 3.4% for the less favorable case

Key Words: energy budget – growth scenarios – energy demand projections

1 INTRODUCCIÓN

Nuestro país, al igual que el resto del mundo, está atravesando por un enigma que cambiará completamente al mundo que conocemos. Esta es, sin duda alguna, la crisis energética. Si bien es cierto que las consecuencias de esta problemática no se darán a corto plazo, aunque muchas de ellas ya se han hecho notar, es imperioso tomar acciones lo antes posible.

Para implementar soluciones que sepan hacer frente a las problemáticas energéticas actuales, es necesario que nuestros analistas y planificadores comprendan que una crisis siempre trae aparejada una oportunidad de cambio. Cambios que se tienen que dar a nivel de un planeamiento energético en el corto y largo plazo sino también mediante la modificación de comportamientos humanos y el uso de tecnologías, equipos y artefactos más eficientes desde la perspectiva energética

1.1 *Descripción del trabajo realizado*

El sistema energético nacional es el reflejo de la crisis porque no es capaz de cumplir con su rol principal: asegurar que el conjunto de la población tenga acceso a los beneficios que brindan los recursos energéticos para garantizar condiciones de vida dignas. Todos estos factores no sólo condicionan el estilo y la calidad de vida de todos los argentinos, sino que también hacen aún más evidente nuestra vulnerabilidad como Nación.

Teniendo en cuenta lo arriba mencionado y el hecho que Mendoza no contaba con su matriz energética actualizada, se tomó la iniciativa de realizar ese aporte desde la Universidad.

La primera parte del trabajo consistió en un relevamiento de la infraestructura energética existente (petróleo, gas natura y energía eléctrica: generación, transporte y distribución), su estado respecto de la capacidad operativa y planes de obras en curso y futuras.

Durante la segunda etapa tuvo lugar el relevamiento de las variables socioeconómicas nacionales y especialmente las de Mendoza.

Finalmente la tercera etapa consistió en la realización de los cálculos. Se realizaron balances energéticos provinciales anules durante el período 2000-2006 siguiendo la metodología del Balance Energético Nacional (BEN) Ref.[1]. Luego y con los datos obtenidos, se procedió a la confección de modelos econométricos para la realización de las proyecciones socioeconómicas y energéticas.

2 BALANCE ENERGÉTICO

El Balance Energético Provincial (BEP) es una herramienta de información histórica anual, que sintetiza el proceso de producción, transformación y consumo de energía primaria y secundaria que se registró en la Provincia.

Su formulación, estructurada en una síntesis matricial, conjuga metodológicamente, en una unidad de medida común kTEP1, las ofertas y demandas energéticas de cada año, posibilitando identificar a un nivel agregado la producción de energía primaria, la energía secundaria obtenida de los procesos de transformación operados en los centros de transformación y el consumo final de estas fuentes energéticas.

Su lectura permite identificar los parámetros de comportamiento de las distintas variables computadas y derivar en un análisis prospectivo base de una planificación de corto y mediano plazo.

Contar con Balances Anuales, permite el análisis de comportamientos a través de los años, el seguimiento de la evolución de variables claves del sector y también su comparación con otras regiones y en un macro análisis testear conductas que se verifican a nivel nacional. El BEP aporta información para la proyección de escenarios en el ámbito interno, regional e interprovincial, y posibilita identificar alternativas de niveles de oferta energética de equilibrio, de inversión asociada a la producción, transporte y distribución y determinar el grado de complementación o dependencia con el sistema energético nacional.

La metodología de cálculo, los criterios de imputación por sectores económicos, el procedimiento de conversión en una unidad común (kTEP) y la estructura de exposición aplicada en la formulación del BEP, se corresponden con los aplicados en el BEN. Criterios que se encuentra en permanente revisión en pos de optimizar el cálculo, simplificar la formulación y facilitar la lectura de la matriz.

---

[1] 1 kep = kilo equivalente de petróleo = 10.000 kcal. A efectos prácticos se utilizan todas las variables medidas en miles de toneladas equivalentes de petróleo: 1 kTEP = 1.000 TEP = 1.000.000 kEP.

A modo de ilustración en la Tabla 1 se puede observar el balance energético de la provincia de Mendoza correspondiente al año 2006.

2.1 *Fuentes energéticas*

Las siguientes definiciones, han sido extraídas del BEN Ref. [1], las cuales se han adoptado para la realización de este BEP.

2.1.1 Energía primaria

Se entiende por energía primaria a las distintas fuentes de energía en el estado que se extrae o captura de la Naturaleza. Sea en forma directa, como en el caso de la energía hidráulica, eólica, solar, o después de un proceso de extracción o recolección, como el petróleo, el carbón mineral, la leña, etc.
Se consideraron las mismas fuentes energéticas que en el BEN, a pesar de que algunas de ellas no están presentes en la Provincia: hidroenergía o energía hidráulica, combustibles nucleares, gas natural (libre y asociado), petróleo crudo, carbón mineral, leña, bagazo y otras primarias no incluidas en las anteriores (residuos vegetales, eólica y solar).

2.1.2 Energía secundaria

Son los diferentes productos energéticos (no presentes en la Naturaleza como tales) que son producidos a partir de energías primarias o secundarias en los distintos centros de transformación, con la finalidad de obtener energéticos en condiciones aptas para el consumo.
Los tipos de energía secundaria consideradas, al igual que en el BEN, son las siguientes: Electricidad (generada de cualquier recurso), Gas Distribuido por Redes (es el gas natural que resulta después del proceso de acondicionamiento y separación de condensados), Gas de Refinería, Gas Licuado, Motonaftas (son las naftas obtenidas de la refinación del petróleo y/o del tratamiento del gas natural), Kerosenes (incluye kerosén propiamente dicho y turbo combustibles), Diesel y Gas Oil, Fuel Oil, Carbón Residual (se refiere al coque de petróleo), No Energéticos (productos que no se utilizan con fines energéticos aún cuando poseen contenido energético), Gas de Coquería (es el gas producido en la coquización del carbón), Gas de Alto Horno (es el gas producido en el proceso de obtención del arrabio), Cóque de Carbón (es el coque obtenido de las coquerías siderúrgicas) y Carbón de Leña (obtenido de la descomposición de un compuesto químico por acción del calor, pirólisis, en las carboneras).

2.2 *Descripción analítica*

El BEP, al igual que el BEN, se estructura en una matriz conformada por cinco módulos básicos, que referencian las siguientes variables:
Módulo 1: (lectura horizontal: filas) registra la energía primaria computada, clasificada en 8 categorías, según sea la fuente de la cual provienen: hidráulica, nuclear, gas natural, petróleo, carbón mineral, leña, bagazo y otros primarios.
Módulo 2: (lectura horizontal: filas) registra la energía secundaria computada, clasificadas en 14 categorías, las que responden, en su gran mayoría, al nombre comercial del producto con destino al consumo final. Una aclaración especial merece el producto identificado como No Energéticos; este representa la cantidad de fuentes energéticas secundarias incorporadas como materia prima en la fabricación de bienes no energéticos (asfaltos, solventes, aceites, grasas, etc.)
Módulo 3: (lectura vertical: columnas) registra la oferta computable detallando el proceso de formación de la oferta, mediante la identificación en las columnas de detalle, del origen de los incrementos (como producción o importación) y las reducciones (exportaciones, no utilizado) de la oferta disponible, subtotalizando la Oferta Total y la Oferta Interna, referida a la energía primaria y secundaria, que se corresponden en la intercepción de las filas y columnas respectivas. Las columnas de detalles exponen:

- Producción (3a):
- Importación (3b):
- Variación de Stock (3c):
- Oferta Total (3d)
- Exportación y Bunker (3e)
- No aprovechada (3f)
- Pérdidas (3g)
- Intercambio Interprovincial (3h)
- Ajuste (3i)
- Oferta Interna (3j)

Módulo 4: (lectura vertical: columnas) registra la cantidad de energía transformada por distintos centros de transformación, identificando la fuente y el producto energético obtenido a la izquierda según lo consignado en el módulo 1 y 2 (filas) y el Centro de Transformación en las cabeceras de las columnas. Las columnas de detalles exponen:

- Centrales Eléctricas: Interés Público (4a) y Autoproducción (4b)
- Plantas de Tratamiento de Gas (4c)
- Refinerías (4d
- Coquerías (4e) y Altos Hornos (4g)
- Carboneras (4f)
- Consumo Propio (4h)

Módulo 5: (lectura vertical: columnas) en él se registra la cantidad de energía primaria y secundaria consumida, clasificada por sectores socioeconómicos según el destino del consumo, identificando el producto a la izquierda según lo consignado en los módulos 1 y 2 (filas) y el sector según lo referido en las cabeceras de las columnas del módulo Consumo Final. Las columnas de detalles exponen:

- No Energéticos (5b)
- Residencial (5c)
- Comercial y Público (5d)
- Transporte (5e)
- Agropecuario (5f)
- Industria (5g)
- Total (5a)

2.3 *Conclusiones del Balance Energético*

La Provincia de Mendoza presentó en el año 2006 una demanda energética total de 2.475,3 kTEP, de las cuales el 0,7% fueron de fuentes primarias (leña y otros primarios) y el 99,3% fueron de fuentes secundarias (electricidad, gas distribuido por redes, gas licuado, motonaftas, gas oil, etc.). Analizando los consumos desde sus fuentes energéticas secundarias, se destaca la importancia del gas distribuido por redes, que concentró el 50,3% del consumo total de energía, seguido por el gas oil con un 23,5% del total y un 15% de electricidad. Este consumo, analizado desde el punto de vista de los sectores, se destaca el sector Industrial que consumió el 42,4% del total, le siguió en importancia el transporte con un 31,6%, el sector Residencial con el 16,6%, el Agropecuario con el 4,8% y el Comercial y Público con el 4,6%. El uso no energético de distintas formas de energía, alcanzó el 0,6% del total.

Tabla 1. Balance energético provincial de Mendoza. Ref.[2]

Balance Energético Provincial (BEP) de Mendoza

Año 2006 — PROVISORIO MENDOZA — Formas de Energía	OFERTA (Módulo 3)										TRANSFORMACIÓN (Módulo 4)							CONSUMO (Módulo 5)							
																			CONSUMO FINAL							
																				ENERGÉTICOS					
	PRODUCCIÓN	IMPORTACIÓN	VARIACIÓN DE STOCK	OFERTA TOTAL	EXPORTACIÓN Y BUNKER	NO APROVECHADO	PÉRDIDAS	INTERCAMBIOS INTERPROVINCIALES	AJUSTES	OFERTA INTERNA	CENTRALES ELÉCTRICAS: SERVICIO PÚBLICO	CENTRALES ELÉCTRICAS: AUTOPRODUCCIÓN	PLANTAS DE TRATAMIENTO DE GAS	REFINERÍAS	COQUERÍAS	CARBONERAS	ALTOS HORNOS	CONSUMO PROPIO	TOTAL	NO ENERGÉTICO	RESIDENCIAL	COMERCIAL Y PÚBLICO	TRANSPORTE	AGROPECUARIO	INDUSTRIA	EMISIÓN ESTIMADA DE CO_2
PRIMARIA (Módulo 1)																									
Energía Hidráulica	350.8			350.8						350.8	-350.8								0.0						
Nuclear										0.0									0.0						
Gas Natural	1 415.5			1 415.5		-116.5		-1 106.5		192.5			-192.5						0.0						
Petróleo	4 709.4			4 709.4				992.1		5 697.5				-5 697.5					0.0						
Carbón Mineral										0.0									0.0						
Leña	1.5			1.5				16.8		18.3									18.3		16.0	2.4			77
Bagazo										0.0									0.0						
Otros Primarios	0.007			0.0						0.007									0.007					0.007	
TOTAL 1	6 476.2	0.0	0.0	6 476.2	0.0	-116.5	0.0	-97.5	0.0	6 262.2	-350.8	0.0	-192.5	-5 697.5	0.0	0.0	0.0	0.0	18.3	0.0	16.0	2.4	0.0	0.0	0.0	77.2
SECUNDARIA (Módulo 2)																									
Electricidad	567.9			567.9			-73.4	-104.2		390.3	663.4	4.5						-16.2	372.1		75.3	57.2	0.7	30.9	197.5	2 074
Gas Distribuido por Red	176.3			176.3				1 651.5		1 827.8	-665.9	-15.9	176.3						1 246.1		271.7	45.2	178.5		750.7	2 795
Gas de Refinería	142.5			142.5				0.0		142.5				142.5				-142.5	0.0							622
Gas Licuado	156.5		-1.2	155.4				-144.6		40.8			14.2	172.4					40.8		33.8	1.4			5.5	181
Motonafta Total	1 264.0		-2.0	1 256.0				-1 146.7		109.2			3.0	1 261.0					109.3				109.3			302
Kerosuno y Aerokerosen	147.7			147.7	0.0			-144.4		3.3				147.7					3.3		3.0		0.3			10
Diesel Oil + Gas Oil	3 102.0		-16.6	3 085.4				-2 902.7		632.8	-1.9	-0.2		3 102.0					650.6				483.5	87.1		1 754
Fuel Oil	124.6		0.0	124.6				-32.7		91.9	-13.6			124.6				-99.1	18.0						19.0	253
Carbón Residual	360.5		-7.7	352.9				-291.5		61.3				360.8					61.3						61.3	236
No Energético	0.0			0.0				11.5		11.5				0.0					11.5	11.5						0
Gas de Coquería	0.0			0.0						0.0									0.0							0
Gas de Alto Horno	0.0			0.0						0.0									0.0							0
Coque de Carbón	0.0			0.0						0.0									0.0							0
Carbon de Leña	0.0			0.0				16.2		16.2									16.2						16.2	0
TOTAL 2	5 967.5	0.0	-33.4	5 934.2	0.0	0.0	-73.4	-2 853.3	0.0	3 027.4	-652.8	-16.1	194.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-220.3	2 465.6	11.5	383.3	111.5	762.2	118.0	1 049.6	6 290
ENERGÍA PRIMARIA + SECUNDARIA																		-220.3	2 476.8	11.5	399.7	114.2	768.3	118.0	1 049.6	6 367

BALANCE DE TRANSFORMACIÓN							
ENERGÍA PRIMARIA	-351	0	-193	-5 697	0	0	0
ENERGÍA SECUNDARIA	-652	-16	0	0	0	0	0
TOTAL	-652	-16	-193	-5 697	0	0	0
PRODUCCIÓN	663	4	193	5 311	0	0	0
PÉRDIDAS	400	12	0	386	0	0	0

Estimación de Emisiones de CO_2 (Gg)	2 047	17			69				
	23%	0%			10%				
						776	101	2 265	240	2 968	8 250
						9%	1%	27%	3%	36%	

POBLACIÓN	PBG
1 693 261	12 901
Fuente: DEIE, Mendoza	PBG a precios de Mercado, base 1993 en millones de Pesos. Fuente: DEIE, Mendoza

3 PROYECCIONES SOCIOECONOMICAS Y ENERGÉTICAS

3.1 *Proyecciones socioeconómicas*

Teniendo en cuenta los prolongados períodos de tiempo que requiere el sector energético para la planificación y la realización de inversiones en obras, fue necesario por tanto, realizar proyecciones del PGB para una larga extensión de tiempo (largo plazo).
El tiempo de proyección considerado se dividió en dos quinquenios. Con este objetivo se han estimado tasas de crecimiento del valor agregado de mediano y largo plazo. Para ello, se han tomado series de tiempo que abarcan el período 1992/2006.
En este marco se realizaron tres escenarios factibles: el primero extrapola para el mediano y largo plazo la trayectoria del PBG durante los períodos 2002/2006 y 1992/2006 respectivamente. El segundo se basa en suponer condiciones que configuran un escenario más favorable que el anterior, lo que implica tasas de crecimiento superiores (límite superior). El tercero se sustenta en suponer condiciones menos favorables que las supuestas sobre la tendencia histórica (límite inferior).
Estas estimaciones socioeconómicas son fundamentales para asociar el comportamiento de la demanda energética con las actividades económicas y sociales de la provincia.

3.1.1 Metodología

Se han estimado tasas de crecimiento para la economía nacional y para cada uno de los sectores de la provincia de Mendoza. Para ello se considera, tal como se mencionó anteriormente, un horizonte temporal de diez años dividido en dos quinquenios.
En cada uno de ellos, en la mayoría de las estimaciones, se han considerado tasas de crecimiento diferentes. Se calculó en cada quinquenio una tasa media y también un límite inferior y un límite superior, resultando en consecuencia tres escenarios probables para cada uno de los quinquenios. Para obtener estos límites, o tasa de variación superior y tasa de variación inferior, se ha tomado como parámetro el error típico de cada tasa de crecimiento sectorial a lo largo de un determinado período de tiempo.
Dadas las importantes variaciones en las tasas de crecimiento registradas tanto en lo que se refiere a la economía nacional como a la provincial, la utilización de una única tasa de crecimiento para la década estimada (largo plazo) parece inapropiada, más aún si se considera la experiencia reciente, caracterizada por la recuperación de la economía nacional y provincial, desde la última crisis a tasas de crecimiento muy superiores a las registradas en la década pasada cuando se considera el mediano y largo plazo.
Considerando esta particularidad de la economía nacional y provincial, se ha optado por considerar dos quinquenios: el primero, con tasas de crecimiento que tienen magnitudes más cercanas a las experimentadas por el reciente período de expansión; el segundo, con tasas de crecimiento más próximas a los niveles que podría experimentar la economía en el largo plazo, menores a las del quinquenio anterior en la mayoría de los casos, de acuerdo con los probables niveles de inversión y capitalización del sistema, ya que no se esperan abruptos cambios en los años próximos.
Para el corto plazo se considera el período post crisis, que abarca la recuperación de la economía, o sea los años 2002-2006. Las tasas de crecimiento de largo plazo, son las que surgen de considerar el período 1992-2006, en el que las series del Producto Bruto Geográfico han presentado un importante cambio en los años 2004-2006 resultado de la incorporación de datos censales y del crecimiento natural de la economía provincial bajo condiciones muy favorables.
Del modo mencionado se han obtenido las respectivas tasas de crecimiento sectoriales de la provincia. La tasa de crecimiento estimada para el total del PBG de Mendoza resulta a partir del promedio ponderado de las tasas de crecimiento de cada sector. Para el primer quinquenio, las ponderaciones de participación de cada sector en el PBG son las que corresponden al corto plazo, o sea las participaciones promedio de cada sector en los últimos años a partir de la recuperación. En tanto que para las ponderaciones del segundo quinquenio se han utilizado las ponderaciones promedio que corresponden al largo plazo (1992-2006).

Se ha optado por un criterio simple para la obtención de las tasas de crecimiento, aunque, sin embargo, se han intentado otros métodos econométricos (filtro de Hodrick y Prescott para obtener proyecciones de largo plazo Ref. [3] y la aplicación de modelos ARMA), que no han arrojado diferencias sustanciales con los resultados que se han obtenido por medio del criterio antes descripto.

3.1.2 Algunos resultados

En la Fig. 1 se sintetizan las tasas de crecimiento medias proyectadas por cada sector referidas al escenario de referencia.

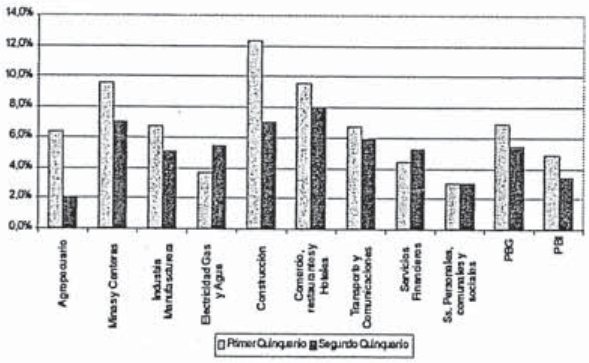


Figura 1. Tasas de crecimiento sectoriales medias proyectadas, por quinquenio. PGB y PBI. Ref. [2].

Las proyecciones energéticas de la demanda, según el escenario de Referencia, nos muestran un incremento de los consumos totales de energía al año 2016 de 51,7%, lo cual presupone un crecimiento medio de 4,3% anual acumulativo (% aa). La hipótesis de máxima (escenario Alto) arrojó un crecimiento de 5,1% aa y el de mínima (escenario Bajo) un 3,4% aa.
En la Tabla 2 se puede observar el balance energético de la provincia de Mendoza correspondiente al año 2006.

Tabla 2. Proyección total de consumos energéticos 2007-2016. Ref. [2].

Consumo Energético	Alto	Referencia	Bajo
Año Base 2006	2474.9	2476.8	2473.1
Proyectado al 2016	4077.3	3756.2	3441.1
Crecimiento proyectado 2006-2016 (kTEP)	1302.33	1279.37	968.02
Crecimiento proyectado 2006-20016 (en %)	64.7	51.7	39.1
Crecimiento proyectado 2006-20016 (en %aa)	5.1	4.3	3.4

En el trabajo original también se pueden ver los consumos proyectados analizados desde el punto de vista de los sectores económicos.

3.2 *Proyecciones energéticas*

En el presente apartado se realizaron las estimaciones acerca de la evolución de la demanda de los distintos energéticos durante el período 2007-2016 realizada a partir de análisis econométricos de las distintas series de datos obtenidas y su proyección a partir de la detección de variables relevantes para su determinación futura.
Para la proyección de las demandas energéticas se utilizaron tres escenarios energéticos, uno de Referencia y dos adicionales -Bajo y Alto-, los cuales contienen los lineamientos fundamentales para la realización para las proyecciones energéticas para los próximos dos quinquenios.
El Escenario de Referencia, es uno claramente tendencial en el cual continuarán las tendencias actuales y del pasado más reciente en cuanto a penetración de energéticos, estructura de precios y realización prevista de obras. El PBG de este escenario es el definido como escenario "Medio" en el Apartado de las Proyecciones Socio-económicas. El Escenario Alto concibe un aumento moderado respecto de las pautas del escenario de Referencia: mayor crecimiento del Producto Bruto, tanto PBG como PBI, una mayor penetración de los energéticos, una mayor tasa de crecimiento vegetativo de la población y un adelantamiento -aunque muy leve- de proyectos con implicancias energéticas.
El Escenario Bajo prevé una baja moderada respecto de las pautas del escenario de Referencia: menor crecimiento del Producto Bruto, tanto PBG como PBI, una menor penetración de los económicas e institucionales actuales.
En todos los escenarios se supone la continuación del actual ordenamiento institucional energético, es decir, las empresas continuarán en manos privadas y el Estado no cumplirá funciones empresarias, aunque sí regulatorias y/o de fiscalización y control. No se prevén grandes modificaciones, respecto de la situación actual, de las condiciones.

3.2.1 Algunos resultados

A continuación se grafican las proyecciones del escenario de referencia de demanda energética para el período 2007-2016 según las fuentes energéticas consumidas. Se puede apreciar la importancia del gas distribuido por redes, aunque al 2016 esta participación caerá hasta el 46,4%. El consumo de electricidad permanecerá prácticamente constante (participación cercana al 15%), mientras que los derivados de petróleo se incrementarán su participación hasta un 37,7%.

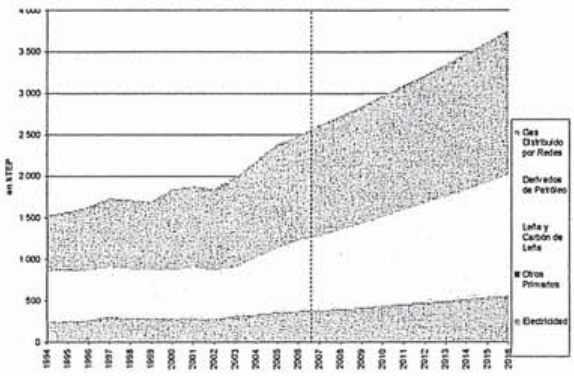


Figura 2. Demanda de Energía por Fuente Energética, escenario de Referencia Ref. [2].

También se muestra la demanda energética total según el sector socio-económico, para el período 2007-2016 del escenario de Referencia. Se puede apreciar la importancia de la demanda energética industrial con una participación cercana al 43% (similar a la del año base: 2006). El sector agropecuario incrementará levemente su participación hasta el 5,2% al 2016, al igual que el sector Comercial y Público que alcanzará el 4,9% hacia el final del período. El sector Transporte incrementará ligeramente su participación, alcanzando al 2016 un valor de 33%.

El sector residencial caerá su participación en casi 3 puntos porcentuales, por una menor tasa de crecimiento en relación al resto de los sectores, hasta llegar al 12,9% en el 2016. El sector no energético prácticamente mantendrá su participación en el período, alcanzando el 0,5% del total.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La política energética pública se puede definir como "una estrategia claramente elaborada y explícitamente formulada por el Gobierno para el manejo de los balances o equilibrios energéticos existentes y futuros" Ref. [4], minimizando las asimetrías de intereses de los agentes del sector energético.

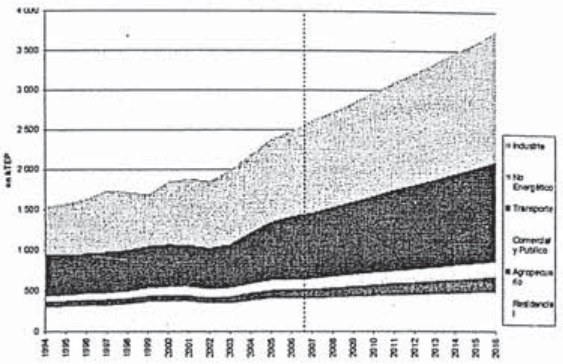


Figura 3. Demanda de Energía por sector Socio-económico, escenario de Referencia. Ref. [2].

El Estado tiene la responsabilidad ineludible de diseñar y poner en práctica una política energética activa y explícita. La necesidad de una política pública sobre el sector energético, surge al vislumbrar una discrepancia entre la situación actual y la situación que se desea llegar Ref. [5]., pero es muy importante como aspecto prioritario que se sepa dónde se quiere llegar.

El presente trabajo constituye la plataforma para el desarrollo de una Política de Estado sobre la temática Energética.

Para comenzar este camino, se deberían considerar analíticamente los siguientes aspectos:

- Prospección de los consumos energéticos futuros,
- Análisis y determinación de los medios para poder satisfacerlos,
- Evaluación de los proyectos energéticos y su posterior priorización en función de criterios que tengan en cuenta, por ejemplo: el beneficio social para la provincia de Mendoza, la factibilidad presupuestaria de la inversión, la disponibilidad y el desarrollo de nuevas tecnologías en la Provincia, tanto en el abastecimiento de energía, como en el consumo de ella el impacto ambiental,
- Definición de las líneas estratégicas, instrumentos y ejecución de las actividades necesarias para cumplir los objetivos definidos en la política energética.

Con el presente trabajo se abordan los dos primeros puntos arriba señalados. Para completar

los restantes aspectos, se recomienda que el Estado concrete las etapas necesarias para poder generar una solución efectiva e integral, en el marco de los escenarios planteados.

Se sugiere, que dentro de las directrices que establezca la Política Energética a definir en la Provincia, el Estado priorice, incentive y aliente el desarrollo y explotación de los recursos energéticos, con el objeto de diversificar la Matriz Energética y disminuir el consumo de fuentes energéticas no renovables. Es importante, además que el Estado provincial arbitre los medios necesarios para la implementación de diversos programas educacionales en el uso eficiente de la energía.

La importancia de dichas actividades reside en el concepto de que la demanda de energía debe ser orientada hacia un uso eficiente.

Además se considera necesario acentuar la atención y cuantificar los fenómenos relacionados con el sector energético e industrial que tienen impacto sobre el cambio climático.

Se recomienda mantener actualizado el presente trabajo sobre la Demanda Integral de la Provincia de Mendoza, de modo que el Estado provincial cuente con información actualizada en forma constante sobre la situación energética y su prospección futura.

El diagnóstico sobre la situación energética es el primer paso en el desarrollo de una Política Energética. Esta información es crucial para conocer el contexto en el cual se mueve el sector energético provincial, ante las constantes modificaciones en el ámbito provincial, nacional e internacional.

REFERENCIAS

[1] SECRETARÍA DE ENERGÍA, Balance Energético Nacional. Serie 1960-2005. Noviembre 2005, en http://www.energia.gov.ar.

[2] Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Mendoza (UTN-FRM) - IRESE. Matriz Energética Integral de la Provincia de Mendoza 2007, Cap. III, pag. 363. 2007.

[3] Hodrick, Robert J. and E.C. Prescott.. .Postwar U.S. Business Cycles: an Empirical Investigation; Mss. Pittsburgh: Carnegie-Mellon University; Discussion Papers 451, Northwestern University.1980.

[4] MCGOWAN, Francis, The Community and Energy Policy - a constrained constraint, citado por DIAZ ARAUJO, Edgardo, Entrevista en Revista "Única" (Buenos Aires, Apuaye). 2005.

[5] CEPAL, Energía y Desarrollo Sustentable en América Latina y el Caribe (Santiago de Chile, CEPAL, OLADE, GTZ), pág. 145. La CEPAL, afirma que el diseño de la política energética gira sobre tres preguntas interconectadas: ¿De qué se parte?, ¿A qué se aspira? y ¿Cómo actuar?.2003.

Determinación del contenido de vapor de agua troposférico mediante radiometría y radiosondeo

G.P. Ortiz & S.E. Puliafito

Gabrielortiz28@gmail.com & epuliafito@frm.utn.edu.ar
Grupo de Estudios Atmosféricos Ambientales, Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Mendoza.

C.M. Puliafito, J.L. Quero & M.A. Gantuz

carlos.puliafito@um.edu.ar , jose.quero@um.edu.ar, miguel.gantuz@um.edu.ar
Instituto de Alta Frecuencia y Microondas de la Facultad de Ingeniería, DICYT, Universidad de Mendoza

RESUMEN: Se presenta un estudio climatológico sobre la variación del contenido total de vapor de agua, utilizando diversos instrumentos y sensores. Se realizó una recopilación estadística de 50 años de datos meteorológicos superficiales diarios entre los años 1957 y 2007. También se analizaron 1200 sondeos de altura medidos sobre Mendoza en la estación El Plumerillo entre los años 1992 y 2007. El análisis de los datos de los radiosondeos muestra que el vapor de agua tiene una variación estacional con valores medios diarios entre 4 y 65 g/m^3, una media anual de 20 g/m^3 y una desviación de 13 g/m^3. El estudio de largo plazo de los datos superficiales muestra un aumento en los promedios diarios de las temperaturas máximas pasando de 30,5 °C a 33,3 °C. Paralelamente se analizaron alrededor de 700 horas de mediciones usando dos radiómetros de ondas milimétricas en 92 y 142 GHz, entre los años 1993 y 2007 comparándolas con el contenido de vapor de agua calculado a partir de los perfiles en altura de los radiosondeos.

Palabras clave: climatología – Mendoza – vapor de agua – radiómetro – radiosondeo

ABSTRACT: This paper presents a climatologic study of the total water vapor content using several sensors and instruments. A compilation of fifty year surface daily meteorological data from year 1957 through 2007 and 1200 radiosoundes over Mendoza is used to calculate the annual seasonal variability of atmospheric water vapor. The mean daily values of water vapor varies between a minimum of 4 g/m^3 through 65 g/m^3 with an annual mean of 20 g/m^3 and standard deviation of 14 g/m^3. The long term surfaces values show an increase in the daily temperatures annual maximum values from 30.5 to 33.3 °C. Furthermore 700 hours measurements using two-passive-radiometer at 92 and 142GHz from year 1993 through 2007 were studied and compared to the water vapor content calculated from the height profiles obtained from the radiosoundes.

Key Words: climatology – Mendoza – water vapor – radiometry – radiosounding.

1 INTRODUCCIÓN

Este artículo se enmarca en el proyecto denominado "Determinación del contenido de vapor de agua troposférico mediante radiometría como complemento a la lucha antigranizo" o en sus siglas cortas (COVAP), que tiene por objeto el monitoreo periódico del vapor de agua, la determinación de su variación estacional y el análisis de la física de nubes, a fin de contribuir a las investigaciones científicas del Programa de Lucha Antigranizo. El vapor de agua desempeña un papel principal en el clima por su realimentación sobre los efectos radiativos. En la troposfera baja, el vapor de agua actúa como la materia prima para todas las precipitaciones en todo tipo de estaciones y clima, proveyendo de calor latente en el proceso y dominando la estructura del calentamiento adiabático en la troposfera Ref. [1-2]. Por otra parte, el vapor de agua es el principal gas de efecto invernadero. Los cambios de éste en la troposfera alta son fundamentales para definir los cambios climáticos, sin embargo su desconocimiento es elevado, además por su alta variabilidad es una de las principales causas de incertidumbre en los modelos de cambio global. Una parte de estos cambios en el vapor de agua pueden provenir de efectos antrópicos Ref. [3-5]. El uso de la radiometría en ondas milimétricas para la determinación de parámetros atmosféricos está documentada en numerosos artículos Ref. [6-11]. Esta técnica ha sido ampliamente usada para la caracterización de vapor de agua y agua líquida en nubes, Ref. [11-14] e inclusive existen algunos estudios de caracterización de granizo y oportunidades de siembra de nubes Ref. [15-16]. Westwater Ref. [17] presenta un excelente artículo de revisión y actualización sobre el uso de radiometría en la observación meteorológica,

2 METODOLOGÍA

2.1 *Descripción*

El agua precipitable en un perfil atmosférico o contenido total de vapor de agua, en una columna vertical de base unitaria extendida desde la altura z hasta una altura dada h, se calcula según (1). Ref. [7-11].

$$PWV(h,z)=\int_{z}^{h}\rho(z')dz' \qquad (1)$$

Donde $\rho(z_0)$ (g/m^3) es la densidad del vapor de agua a una altura z_0 (m), entonces PWV se mide en g/cm^2. Sin embargo si consideramos un cubo de un volumen de 1 cm^3 y siendo la densidad del agua de 1g/cm^3, entonces una PWV de 1 g/cm^2 alcanzaría una altura de 1 cm; por ello se acostumbra a medir la columna total de vapor de agua indistintamente en g/cm^2 o cm. Para el siguiente estudio se han tenido en cuenta datos de tres fuentes diferentes: Radiometría, Radiosondeos y observaciones de superficie.

a) Radiometría: La radiometría mide en forma pasiva la emisión térmica de los constituyentes gaseosos de la atmósfera. Un radiómetro es un receptor de radiofrecuencia que se sintoniza a la frecuencia de una especie gaseosa dada y que está acompañado, generalmente, de un sistema para el análisis espectral denominado espectrómetro, estos pueden ser de banda angosta o de banda ancha. Los radiómetros de banda ancha se utilizan en meteorología como complemento a los radiosondeos. El radiómetro puede obtener un dato de contenido total de vapor de agua cada 10 minutos de día y de noche salvo en casos de lluvia. Ref. [17-20]. La radiación atmosférica medida por un radiómetro desde tierra, expresada en términos de temperatura de brillo T_B, está dada por la ecuación de transferencia de radiación (ETR). En esta ecuación S_A representa el nivel de superficie y S_B es la capa atmosférica superior más lejana. Es decir:

$$T_B(f)=T_A(f)\cdot e^{-\int_{S_A}^{SB}\alpha(f,s)ds}+ \\ +\int_{S_A}^{S_B}T(s)\cdot y(f,s)\cdot\alpha(f,s)\cdot e^{\int_{S_A}^{SB}\alpha(f,s)ds}ds \qquad (2)$$

Donde T_B es la temperatura de brillo medida en K, α(f,s,) es el coeficiente de absorción del gas en dB/km. Este coeficiente es función de la presión atmosférica P(s) medida en (mb), la temperatura de la atmósfera T(s) en K, la relación de volumen de mezcla del gas *VMR* en partes por millón (ppm), la frecuencia f en MHz y el camino de propagación s en km. Cada molécula de gas tiene espectro de absorción o atenuación característico en el espectro electromagnético. Algunas de líneas típicas de vapor de agua son 22.35 y 183.31 GHz, agua líquida puede medirse en 35 y 90 GHz Ref. [17]. Si se conoce la temperatura del gas en la atmósfera, los coeficientes de absorción para esa frecuencia y se mide la temperaturas de brillo $T_B(f)$ entonces es posible

determinar la relación de volumen de mezcla del gas en tal medio (*VMR*). Este procedimiento se conoce como "inversión de la temperatura de brillo". En Puliafito et al, Ref [19, 20], se realiza un estudio detallado de las fuentes de errores de los sistemas radiométricos y espectrométricos y se detalla la matemática de la inversión. Las incertidumbres en la atenuación troposférica por contenido de vapor de agua troposférico oscila entre 3-7 % y los errores de medición por variación en el tiempo de integración son menores al 1 %. Estos constituyen las fuentes de errores estadísticas. Los errores sistemáticos aparecen por la supresión de la banda lateral e incertidumbres en la calibración (1-2 %).

b) *Radiosondeos*: Este consiste en el lanzamiento de un globo con una sonda o radiosonda. Los datos obtenidos por la sonda son rastreados desde la Estación en Tierra con la ayuda de un dispositivo que tiene integradas dos antenas: la antena de recepción de datos y la de posicionamiento de satélites (GPS). Los datos llegan en lapsos de dos segundos, pudiéndose con ello obtener información cada 10 metros aproximadamente y permite la toma de muestras en la troposfera baja y parcialmente en la estratosfera hasta 30 km de altura. La radiosonda permite efectuar mediciones de las variables a lo largo de la atmósfera, como son la humedad, temperatura y vientos, relacionadas con la presión y, a la vez, con la altura sobre el nivel del mar.

c) *Datos de superficie*: Las mediciones meteorológicas de superficie constituyen las estaciones estándares del Servicio Meteorológico y aportan datos significativos sobre la temperatura (°C), la presión (mb), la humedad relativa (%), la temperatura de condensación de vapor, la dirección e intensidad del viento (m/s), la radiación solar, directa y difusa y otras observaciones adicionales. Generalmente se almacenan datos medios horarios.

2.2 *Mediciones*

Usando datos de radiosondeo de la estación meteorológica "El Plumerillo" a cargo del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) se realizó un estudio de la variación estacional de vapor de agua de altura. Se utilizaron sondeos de los años 1993 a 1995 y del 2005 al 2007, según se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1. Datos de sondeos

Campaña	N° disponibles
1993	231
1994	317
1995	336
2005/06	112
2006/07	90
2007/08	87
Total	1173

Las observaciones de superficie se obtuvieron de la misma estación meteorológica "El Plumerillo" del SMN, contándose con datos desde el año 1957 en forma discontinua. A partir de 1972 estos datos son ininterrumpidos hasta la actualidad. Los cálculos de la humedad absoluta Ha (3) y presión de vapor *Pv* (4) son relevantes para este estudio y se pueden calcular a partir de los datos superficie de la siguiente forma:

$$Ha = 216 * Pv/T = (g/m^3) \quad (3)$$

$$Pv = 6.112 * \exp(17{,}7 * Td/(Td + 243{,}5)) \quad (4)$$

Donde; Ha es humedad absoluta (g/m^3), Pv presión de vapor (mb), T temperatura (K) y Td temperatura del punto de rocío (K).

Para estimar el contenido de la columna total de vapor de agua en la troposfera se utilizó la radiometría-espectroscopía en el rango de las ondas milimétricas desde dos instrumentos a sintonizados en 92 GHz y 142 GHz. Se midió en forma regular durante la campaña 2007-2008 y a demás se cuentan con datos menos frecuentes de los años 1993 a 1997. Se realizaron mediciones radiométricas de vapor de agua mediante el uso de un radiómetro de 92 Ghz y 142 Ghz en el Observatorio del Parque (2006-2008) y en Benegas (Universidad de Mendoza) entre los años 1993 al 2004 (ver Tabla 2). Cabe destacar que en la actualidad el radiómetro de 92 GHz se encuentra midiendo en la Facultad Regional San Rafael (UTN), cuyos datos no se han tenidos en cuenta en el presente trabajo.

Tabla 2. Total Mediciones

Radiómetro	N° Med	Hrs
142 Ghz	106	377
92 Ghz	53	244

3 RESULTADOS

3.1 *Variación estacional de vapor de agua*

A partir de los datos de radiosondeo se realizaron simulaciones de la medición de la emisión térmica que debería medir el radiómetro de 92 GHz y el de

142 GHz con un dado perfil de temperatura y presión. De un sondeo típico, (Fig. 1) se pueden determinar los contenidos de la columna de agua y otros parámetros de interés. La Figura 2 muestra una medición típica de vapor de agua. Se observa la alta variabilidad medida con el radiómetro. En comparación se muestra el valor observado para el radiosondeo de ese día.

Con los datos de los sondeos especificados en la Tabla 1 se determinó el valor diario del contenido de agua en la columna atmosférica. Paralelamente se usaron estos perfiles de altura en (2) y se determinó las temperaturas de brillo que debería medirse para 92 y 142 GHz.

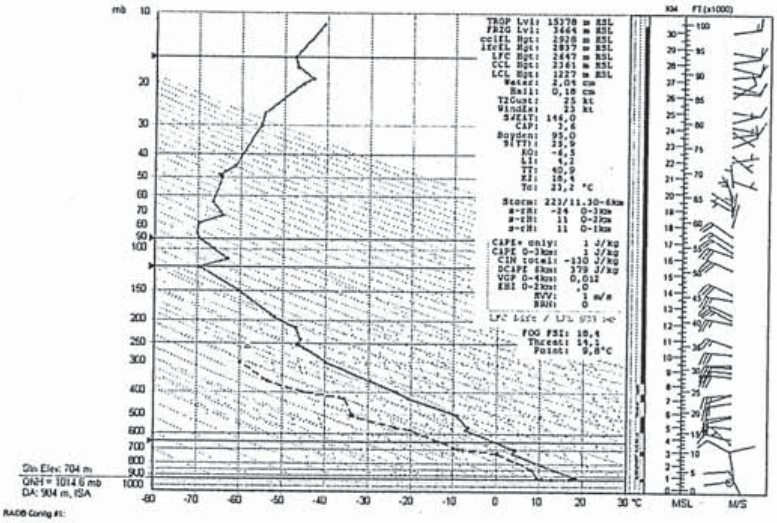


Figura 1. Emagrama típico de un radiosondeo realizado el día 8/03/08, en la estación meteorológica "El Plumerillo"

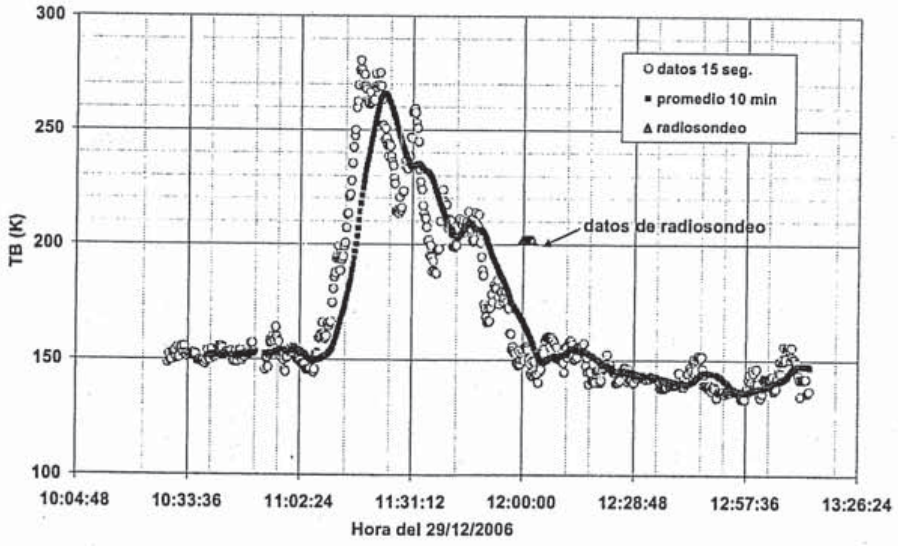


Figura 2. Temperatura de brillo medido el 29 Dic. 2006 con el radiómetro de 92 GHz en el Observatorio Parque para un ángulo zenital de 60°. (Puntos grises mediciones de 15 segundos de integración, línea negra promedio corrido de 10 minutos, triángulo grises datos de radiosondeo.

Las Fig. 3 muestra la variación estacional del vapor de agua en términos de temperatura de brillo calcula con datos de sondeo y las mediciones actuales realizadas por el

instrumento. La Fig. 3 corresponde a 92 GHz. El instrumento de 142 GHz presenta una gráfica similar por lo cual no se ha colocado. Puede observarse un alto grado de correspondencia entre las mediciones y los sondeos. Debe notarse que las mediciones de los radiosondeos existentes se realizaron entre las 10 y 12 horas aproximadamente. Por su parte se seleccionaron los datos de los radiómetros que coincidieran con el horario de los radiosondeos. La variabilidad entre el modelo y los datos se debe a incertidumbres propias de los instrumentos y de los coeficientes de absorción utilizados. También influyen las variaciones propias de la atmósfera, ya que, aún cuando se tomaron horarios coincidentes no siempre corresponden a la misma porción de atmósfera medida. No obstante ello, puede considerarse que los instrumentos reflejan adecuadamente el contenido total de vapor de agua atmosférico.

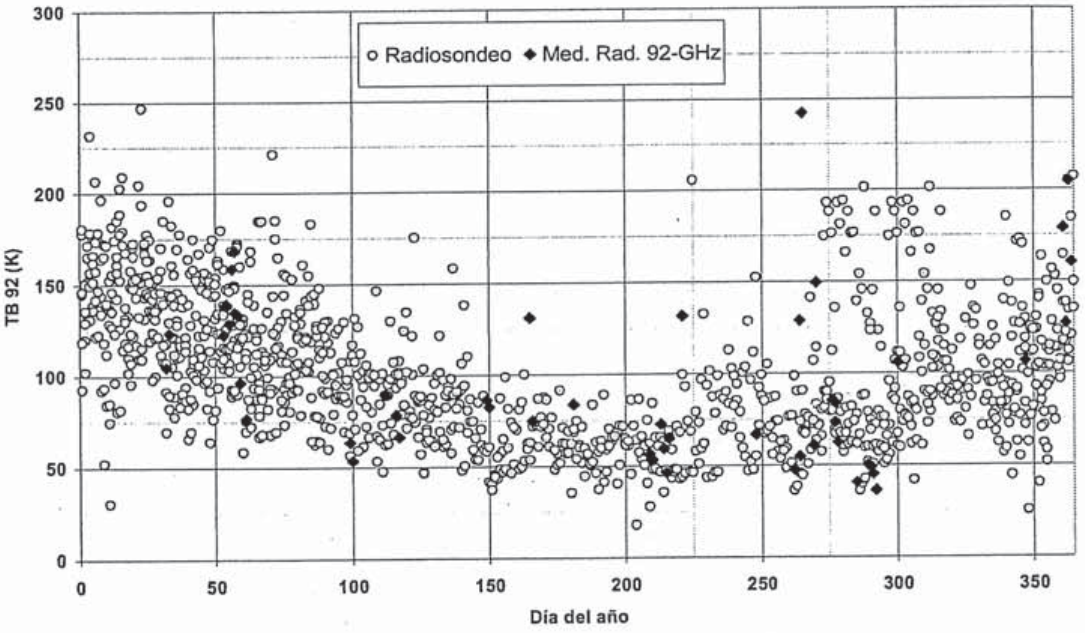


Figura 3. Simulación según datos de sondeo comparado con mediciones de radiómetro para 92 GHz.

La Fig. 4, muestra la correlación teórica entre los datos de radiosondeo de vapor de agua y el modelo de temperatura de brillo, para el radiómetro de 92 GHz. El radiómetro de 142 Ghz presenta una gráfica similar la cual no se muestra. Esta información se usa para calibrar la medición del radiómetro con la información física del contenido total de vapor de agua troposférico.
La correlación para el canal de 142 GHz (5).

$$PWV = 0.2102 * TB_{142} - 1.2861 \qquad (5)$$

Y para el canal de 92 GHz la relación (6);

$$PWV = 0.0424 * TB_{92} - 0.2101 \qquad (6)$$

Donde PWV es el contenido de la columna de vapor medido en mm, y TB es la temperatura de brillo (K) del canal de 142 GHz (TB_{142}) y 92 Hz (TB_{92}) respectivamente.

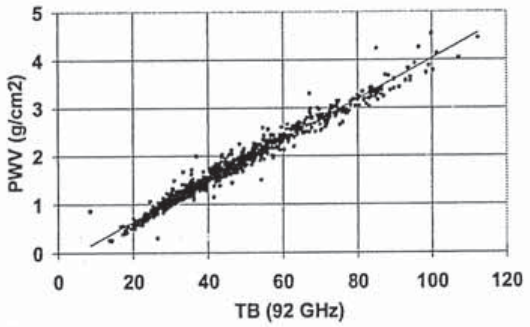


Figura 4: Correlación entre temperatura de brillo para 92 GHz y un ángulo de 60 grados de elevación y el contenido total de vapor de agua, (PWV ($g/cm^2 \equiv$ cm)), usando datos de radiosondeo.

El análisis de los datos de los radiosondeos (1993-2007) muestra una variación estacional anual del vapor de agua medido como PWV de 1,9 cm, un máximo de 5 cm y desviación de 0,8 cm. La humedad absoluta superficial varía entre 4 y 65 g/m^3 con una media de 20 g/m^3 y una desviación de 14 g/m^3, obteniéndose los valores mínimos en agosto y los máximos en febrero. No se observa una tendencia cambiante en la serie de datos analizada. Por otro lado puede verse que el contenido total de vapor de agua troposférico, medido como columna de agua se correlaciona de manera directa con la humedad a nivel superficie (Fig. 5). Ref. [22,23]

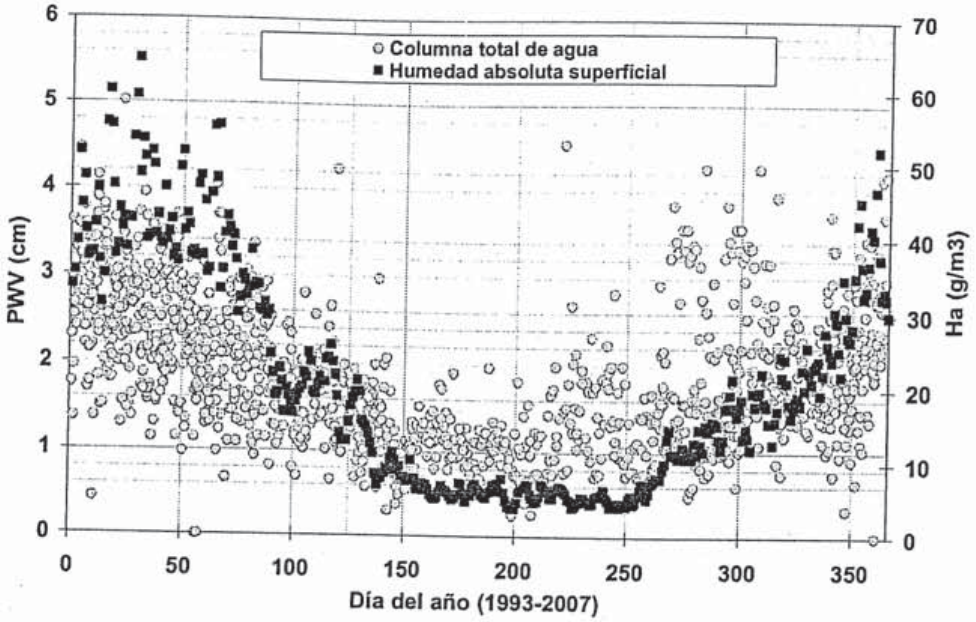


Figura 5. Variación estacional de vapor de agua troposférico (puntos grises) valores diarios de PWV (cm) vs. Valores promedios mensuales de humedad absoluta de superficie (puntos negros) Ha (g/m^3).

3.2 *Otros resultados climatológicos*

El estudio de largo plazo de los datos superficiales de 50 años muestra un aumento en los promedios mensuales de las temperaturas máximas pasando de valores anuales de 23,31 °C a 25,36 °C. Lo cual se puede visualizar en la Figura 6. Esta tendencia puede expresarse como un aumento de 0,0042°C por año, o

$$T_M(^\circ C) = 0.0042*A + 23.117 \qquad (7)$$

Donde A es la unidad de tiempo media en años. El promedio mensual de temperatura en el período 1957-2007 es de 17,1°C, y la mínima mensual de 8,3°C. La Figura 7 muestra el ciclo típico estacional anual con disminución de las temperaturas en los meses de invierno y un aumento de la humedad relativa invernal debido a la disminución del punto de rocío. Las precipitaciones anuales promedios llegan a 230 mm y las máximas ocurren entre los meses de diciembre y marzo, siendo febrero el mes de mayores precipitaciones con 56 mm de promedio y un máximo de 326 mm en Febrero de 1993. La media mensual de precipitaciones es tan solo 19 mm y una mínima de 4 mm..

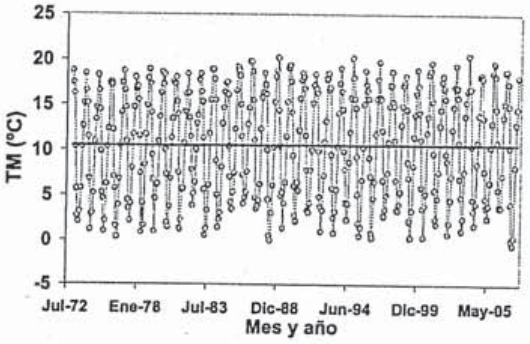


Figura 6. Temperaturas máximas mensuales, histórico. Tendencia.

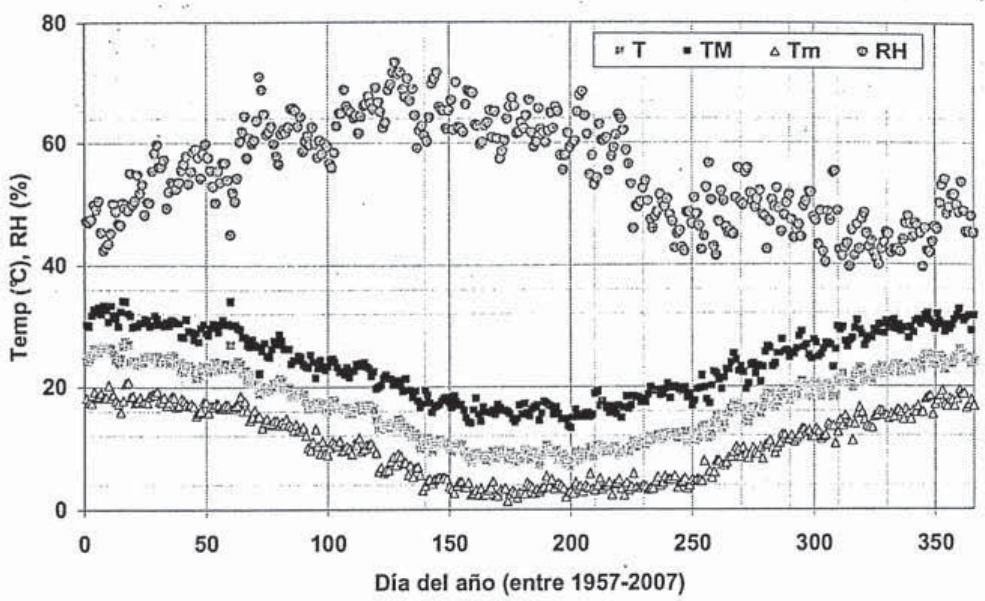


Figura 7. Variaciones medias diarias de temp. medias (T) (cuadrados grises), temp. mínimas (Tm) (triángulos grises) temp. máximas (TM) (cuadrados negros) y humedad relativa superficial (RH) (círculos grises).

El análisis de 50 años no muestra una tendencia significativa para las temperaturas medias o las precipitaciones

4 CONCLUSIONES

Este artículo presentó un estudio sobre la variación del contenido total de vapor de agua, utilizando diversos instrumentos y sensores, en el marco del proyecto de investigación denominado "Determinación del contenido de vapor de agua troposférico mediante radiometría como complemento a la lucha antigranizo". Se realizó una recopilación estadística de 50 años de datos meteorológicos superficiales diarios entre los años 1957 y 2007 y también se analizaron 1200 sondeos de altura medidos sobre Mendoza en la estación El Plumerillo entre los años 1992 y 2007. El análisis de los datos de radiosondeos y datos superficiales muestran un ciclo típico anual con valores bajos de vapor de agua en invierno y mayores en verano. El estudio de largo plazo de los datos superficiales no muestra una tendencia notable, salvo para los valores medios diarios o mensuales de las temperaturas máximas, con un aumento de 0,042°C por mes. Llegando a casi 2 grados desde 1972 al presente. Si bien podría interpretarse este aumento como producto de los cambios climáticos, también podría deberse al efecto de isla de calor urbano por el crecimiento de la ciudad, que estaría afectando el registro de temperatura. Por otra parte este estudio tiene por objeto la calibración de dos radiómetros de ondas milimétricas en 92 y 142 GHz, para lo cual se usaron los datos de radiosondeos entre los años 1993 y 2007 comparándolas con el contenido de vapor de agua calculado a partir de los perfiles en altura de los radiosondeos. En comparación con los radiosondeos, estos instrumentos pueden medir en forma continua las variaciones rápidas de vapor de agua en la atmósfera, lo que puede complementar las mediciones actuales usadas con radares meteorológicos.

REFERENCIAS

[1]Trenberth, K.: Atmospheric circulation climate changes. *Climate Change* 31:427–453, 1995.

[2]Trenberth, K.: Atmospheric moisture recycling: role of advection and local evaporation. *J Climate* 12:1368–1381, 1999.

[3]Kiehl T., Trenberth K. : Earth's annual global mean energy budget. *Bull Amer Meteorol Soc* 78:197–208, 1997.

[4] Trenberth K., Fasullo, J., Smith, L.: Trends and variability in column integrated atmospheric water vapor, *Climate Dynamics*, 24: 741–758, 2005.

[5]Held I., Soden, B.: Water vapor feedback and global warming. *Ann Rev Energy Environ* 25:441–475, 2000.

[6]Marquart S., Ponater M., Mager F., Sausen R.: Future development of contrail cover, optical depth, and radiative forcing: impacts of increasing air traffic and climate change. *J Climate* 16:2890–2904, 2003.

[7] Liebe, H.: MPM—An atmospheric millimeter wave propagation model. *Int. J. Infrared Millimeter Waves*, 10, 631–650, 1989.

[8]Liebe, H., Hufford, G., and T. Manabe: A model for the complex permittivity of water at frequencies below 1 THz. *Int J. Infrared Millimeter Waves*, 12(7), 659–675, 1991.

[9] Rosenkranz, P., Komichak, M, Staelin, D.: A method for estimation of atmospheric water vapor profiles by microwave radiometry. *J. Appl. Meteor.*, 21, 1364–1370, 1982.

[10] Westwater, E.:Ground-based microwave remote sensing of meteorological variables, Remote Sensing by Microwave Radiometry, M.A. Janssen, ed. John Wiley & Sons, 1993.

[11] Hang, Y., Westwater, E.: Analysis and improvement of tipping calibration for ground-based microwave radiometers, IEEE *Trans. Geosc. and Remote Sensing*, Vol. 38, no. 3, 2000.

[12] Wang, J. R., and L. A. Chang: Retrieval of water vapor profiles from microwave radiometric measurements near 90 and 183 GHz. *J. Appl. Meteor.*, 29, 1006–1013, 1990.

[13] Wang, J.R., J. Zhan, and P. Racette: Storm-associated microwave radiometric signatures in the frequency range of 90–220 GHz. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 14, 13–31, 1997.

[14] Racette, P., Adler, R, Wang, R. Gasiewski, A., Jackson, A., Zacharias, D.: Millimeter-wave imaging radiometer for cloud, precipitation, and atmospheric water vapor studies. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 13, 610–619, 1996.

[15] Snider, J., Rottner, D.: The use of microwave radiometry to determine a cloud seeding opportunity. *J. Applied Meteorology*, Vol. 21, p 1286-1291, 1982

[16] Mugnai, A, Cooper, H., Smith, E., Tripoli, G: Simulation of microwave brightness temperatures of an evolving hailstorm at SSM/I frequencies. Bulletin American Meteorological Society, Vol. 71, No.1, 1990.

[17]Westwater, E., Crewel, S., Mätzler, C. A review of surface based millimeter-wave radiometric remote sensing of the troposphere, Radio Science Bulletin, 310, 59-84, Sep. 2004

[18]Puliafito C; Puliafito, S.E: Intercomparison of ground-based microwave remote sensing measurements of stratospheric ozone over the Mendoza region, Argentina with Haloe data, *Remote sensing of the environment*, (94) 61-82; 2005.

[19]Puliafito, E., Bevilacqua, R., Olivero, J., Degenhardt, W.: Retrieval error comparison for several inversion techniques used in limb-scannig millimeter wave spectroscopy". *Journal of Geophysical Research*, Vol. 100, D7, Pag. 14,257 - 14,268, 1995.

[20]Puliafito, Carlos; E. Puliafito, G. Hartmann, J. Quero:"Determination of Stratospheric Ozone Profiles and Water Vapor Content by means of Microwave Radiometry Spectroscopy". *Anales del VIII Simposio Brasileiro de Microondas e Óptica*. pp 274-278, SBMO 98. Joinville, Brasil, Julio de 1998.

[21]Croskey C.L.; Martone J.P.; Olivero J.J.; Puliafito E.:"A Latitudinal survey of Mesospheric and Upper Stratospheric Water Vapor", *in Advance in Space Research* (COSPAR), 14 (9) 181- (9) 194, 1994.

[22] Haydu, K., Krishnamurti, T.: Moisture analysis from radiosonde and microwave spectrometer data, *Journal of Applied Meteorology*. Vol. 20, N°10, pag. 1177- 1191, October 1981.

[23] Viswanadham, Y. : The relationship betewen total precipitable water and surface dewpoint, *Journal of Applied Meteorology*. Vol 20, N°1, pag. 3-8, 1981.

Integración de distintos software para la realización de estudios técnicos, económicos y ambientales de energías renovables. Aplicación al caso solar térmico.

A.D.Atem[1,2], L.S. Scollo[1,2], L.D. Euillades[1,2] & A.H.Castro[3]

alexis.atem@gmail.com, lscollo@cediac.uncu.edu.ar, leuillades@cediac.uncu.edu.ar, & andreshcastro@gmail.com

[1]*Instituto CEDIAC, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo*
[2]*Becario CONICET*
[3]*Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo*

RESUMEN: El presente trabajo tiene como objeto elaborar una metodología que permita conocer la factibilidad técnica, económica y ambiental para la instalación de sistemas de energía renovable. En este caso se ha aplicado a un sistema solar de calentamiento de agua en el Espacio de la Ciencia y la Técnica "Elvira Calle de Antequera". Para la realización de este trabajo se efectuaron visitas al lugar y se recolectaron datos in situ. Se utilizó el software SketchUp para realizar los diseños 3D, el software Google Earth para conocer las condiciones locales de incidencia solar, se utilizó un filtro binario para conocer las condiciones completas en un día y finalmente el software RETScreen, para realizar las diferentes simulaciones técnicas, económicas y ambientales. Los resultados obtenidos permiten observar que la metodología propuesta resulta adecuada para la toma de decisiones en proyectos de energía renovable.

Palabras clave: solar – térmica – programa – simulación

ABSTRACT This paper aims to develop a methodology to ascertain the technical, economical and environmental feasibility for the installation of renewable energy systems applied to a system of solar water heating in the Espacio de la Ciencia y la Técnica "Elvira Calle de Antequera". For this work visits were made to the site and collected data on the spot. SketchUp software was used to perform 3D design, software Google Earth to learn about local conditions of solar incidence, a binary filter was used to know the conditions in a full day and finally RETScreen software, to perform technical, economic and environmental simulations. The findings noted that the proposed methodology is appropriate for decision-making in renewable energy projects.

Key Words: solar – thermal – software – simulation

1 INTRODUCCIÓN

1.1 *Descripción del problema*

El presente trabajo se realizó con el objetivo de conocer la factibilidad técnica y económica para la instalación de un sistema solar de calentamiento de agua en el Espacio de la Ciencia y la Técnica "Elvira Calle de Antequera".
El lugar donde se pretendía colocar la instalación está rodeado de árboles de un promedio de 13 metros de altura. Esto hizo necesario un estudio para determinar en qué ubicaciones las sombras de los árboles influían en menor medida.
Trabajos similares se han realizado, pero su utilización es complicada y no brinda toda la información necesaria[1]. La importancia del trabajo radica en haber encontrado una metodología simple que permite conocer características técnicas, económicas y ambientales de una instalación sin tener que realizar experiencias prácticas previas.

2 METODOLOGÍA

2.1 *Metodología general*

Para la realización de este trabajo se realizaron visitas y recolección de datos in situ.
Se utilizó el software SketchUp [2] para realizar un modelo 3D del edificio y los alrededores.
Combinando el modelo construido anteriormente con el software Google Earth [3] se estimaron las condiciones locales de incidencia solar en diferentes épocas del año y horas del día.
Las imágenes resultantes se procesaron para simular las condiciones de incidencia solar de un día de invierno, en donde se observa el escenario más desfavorable.
Finalmente, para completar el estudio, se utilizó el software RETScreen[4], provisto por Recursos Naturales de Canadá y la NASA, para realizar las diferentes simulaciones técnicas, económicas y ambientales. En este apartado se comparó la energía solar frente a las fuentes de energía más utilizadas en la actualidad.

3 DESARROLLO

3.1 *Datos geográficos y climáticos*

Tabla 1. Ubicación

	Ubicación de datos meteorológicos	Ubicación del Proyecto
Latitud	-32,8	-32,8
Longitud	-68,8	-68,8
Elevación	704	704

Tabla 2. Datos meteorológicos

Mes	Temperatura del aire	Radiación solar diaria - horizontal
	°C	kWh/m²/d
Enero	25,3	7,19
Febrero	23,9	6,33
Marzo	21,3	5,28
Abril	16,5	3,92
Mayo	12,4	2,81
Junio	8,8	2,25
Julio	8,1	2,45
Agosto	11,1	3,23
Setiembre	13,9	4,31
Octubre	18,7	5,82
Noviembre	22,0	6,90
Diciembre	24,9	7,34
Anual	17,2	4,81

3.2 *Posibles ubicaciones*

Dentro del predio, se han planteado dos posibles ubicaciones:

1. En el módulo 1 (izquierda de la Fig.1), en donde se ubicarán los Institutos Multidisciplinarios.
2. En el módulo 2 (módulo central en Fig.1), en donde actualmente se ubican los Institutos Multidisciplinarios, pero en el futuro cercano se ubicara el Instituto de Ciencias Básicas.

Para el diseño, se han tenido en cuenta los parámetros futuros de operación.
Para conocer la factibilidad técnica para la colocación del equipo, primero se estudiaron las condiciones de incidencia solar. Para ello se utilizó el software Sketchup para la creación del

modelo tridimensional del edificio, combinándolo con el software Google Earth, que permite simular el movimiento aparente del sol en cualquier momento del año, como se puede observar en las figuras 1, 2 y 3.

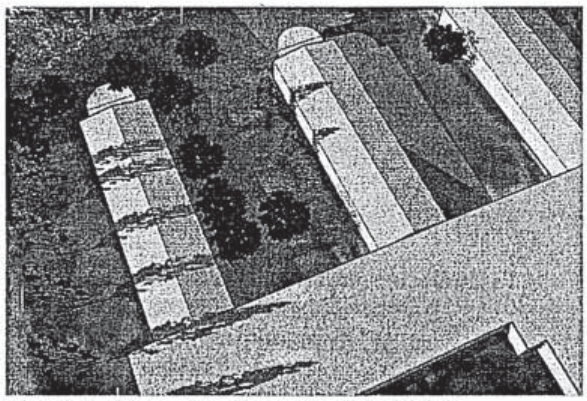


Figura 1. Vista aérea posterior del edificio.

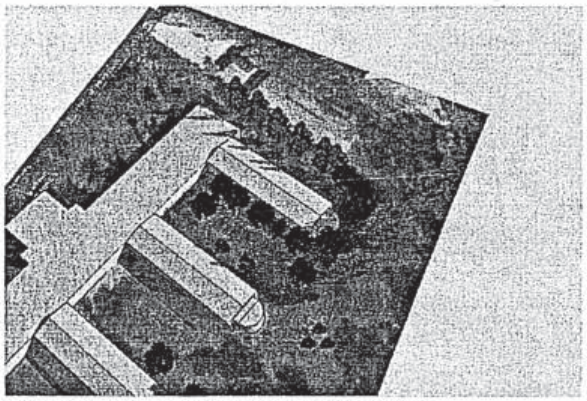


Figura 2. Vista aérea frontal del edificio.

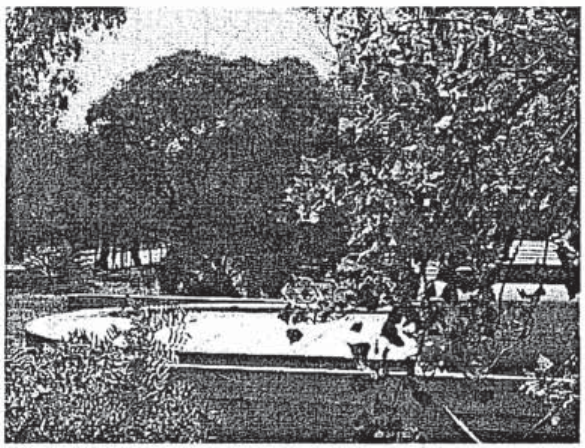


Figura 3. Fotografía del módulo 2

3.3 *Procesamiento de imágenes*

Mediante los resultados del punto anterior fue posible obtener una serie de imágenes correspondientes a distintos momentos del día más desfavorable del año. Estas imágenes fueron luego procesadas en la división de imágenes satelitales del Instituto CEDIAC. En primer lugar se les aplicó una máscara binaria para convertir las zonas iluminadas en unos y las zonas oscuras en ceros. Luego, fueron sumadas entre sí dando como resultado una matriz en la cual el valor de sus elementos indica la cantidad de horas de sol recibidas por esa posición.

4 RESULTADOS

4.1 *Incidencia solar*

Los valores obtenidos por el procesamiento de imágenes se correlacionaron con una escala de colores, dando como resultado la imagen que se puede ver en la figura 4.

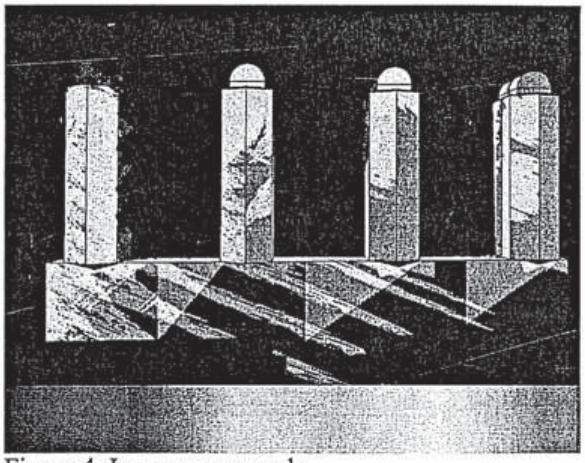


Figura 4. Imagen procesada

Se observa que tanto en el módulo 1 como en el 2, existen árboles en las cercanías que pueden producir sombra sobre el equipo, principalmente en invierno, disminuyendo en forma significativa el rendimiento del mismo. La mayoría de los árboles son de hoja perenne. Este hecho repercute negativamente, ya que las necesidades de incidencia solar son mayores en invierno que en verano, por los siguientes motivos:

- Época de mayor utilización del lugar.
- El agua ingresa a menor temperatura.
- La energía diaria que se recibe desde el sol es menor.

4.2 *Necesidad de agua caliente*

La necesidad de agua caliente puede estimarse mediante el software RETSCREEN. El mismo cuenta con una base de datos en donde es necesario describir las características del establecimiento, cantidad de personas que utilizaran el mismo, porcentaje de ocupación, temperatura del agua y cantidad de tiempo que se utilizará. En la tabla 3 pueden verse los datos utilizados.

Tabla 3.Necesidades de agua caliente

Detalle	Unidad	Caso Base
Número de unidades	Estudiante	70
Tasa de ocupación	%	80 %
Uso diario de agua caliente - estimado	L/d	129
Uso de agua caliente	L/d	129
Temperatura	°C	45
Días de operación por semana	d	5

Teniendo en cuenta que el edificio en cuestión no aloja alumnos en forma permanente debido a las vacaciones y exámenes, se han estimado los diferentes porcentajes de utilización de acuerdo con ello. Se considera a los meses de enero y febrero con una demanda baja de agua caliente. Marzo y diciembre son considerados como temporada media. Pueden verse los valores utilizados en la Tabla 4.

Tabla 4.Necesidades de agua caliente

Porcentaje del mes usado	
Enero	20 %
Febrero	30%
Marzo	60%
Abril	100%
Mayo	100%
Junio	100%
Julio	50%
Agosto	100%
Septiembre	100%
Octubre	100%
Noviembre	100%
Diciembre	80%

Para calcular la demanda de energía, ya se conoce la cantidad de agua caliente y su temperatura de salida. Es necesario ahora conocer la temperatura del agua de ingreso en función de la época del año. En caso de no contar con datos disponibles, RETSCREEN los estima. En la Tabla 5 pueden observarse los resultados.

Tabla 5. Temperatura ingreso del agua y necesidades de energía anuales.

Temperatura del agua - mínima	14°C
Temperatura del agua - máxima	20°C
Demanda de calor	0,9 MWh

4.3 *Evaluación del recurso solar*

La radiación solar que incide sobre el equipo varía en función de su orientación respecto del norte y su inclinación respecto de la horizontal. El equipo que se utilizará no contará con un sistema de seguimiento solar, debido a que el equipo fijo alcanza a satisfacer la demanda.
En la tabla 6 se puede observar la radiación solar diaria horizontal y la radiación solar inclinada un ángulo de 40° con respecto a la horizontal de un equipo orientado hacia el norte.

Tabla 6. Evaluación del recurso solar

Evaluación de recursos		
Modo de rastreo solar		Fijado
Inclinación		40,0 °
Azimut		180,0 °
Mes	Radiación solar diaria – horizontal	Radiación solar diaria – inclinado
	kWh/m²/dia	kWh/m²/dia
Enero	7,19	6,11
Febrero	6,33	5,93
Marzo	5,28	5,61
Abril	3,92	4,86
Mayo	2,81	4,01
Junio	2,25	3,41
Julio	2,45	3,60
Agosto	3,23	4,20
Septiembre	4,31	4,79
Octubre	5,82	5,67
Noviembre	6,90	6,01
Diciembre	7,34	6,08
Anual	4,81	5,02
Radiación solar anual – horizontal (MWh/m²)		1,76
Radiación solar anual – inclinado (MWh/m²)		1,83

4.4 *Captador solar seleccionado*

El equipo seleccionado para realizar el análisis es un equipo genérico que cuenta con un colector de acero inoxidable, aislado con poliuretano y montado en una caja de acero. Como la provincia de Mendoza es propensa a tormentas con granizo, se propone una cubierta de policarbonato alveolar, ya que la misma es apta para resistir los impactos del granizo.
Las características del acumulador de agua con capacidad de 120 litros se encuentran detalladas en la Tabla 8. Como el equipo funciona por termosifón, no tiene consumo eléctrico. El sistema brindaría el 90% de la energía necesaria para el calentamiento de agua.
El equipo completo tiene un costo de $3000, con impuestos e instalación incluidos. (Marzo de 2008).
En la Tabla 7 se listan los detalles técnicos del equipo.

Tabla 7. Equipo seleccionado

Calentador solar de agua		
Tipo	Vidriado	
Fabricante	Immersonne	
Área bruta por colector solar	m2	2,12
Área de captación	m2	2,00
Coeficiente Fr		0,79
Coeficiente Fr UL	(W/m2)/°C	4,35
Número de colectores		1
Capacidad	kW	1,4
Pérdidas varias	%	5,00
Balance del sistema y misceláneos		
Almacenamiento		Sí
Capacidad de Almacenamiento/área de colector solar	L/m2	60
Capacidad de almacenamiento	L	120
Pérdidas varias	%	10%
Demanda de electricidad bomba	MWh	0,0
Calentamiento solar entregado	MWh	0,8
Fracción solar	%	90%

4.5 *Ahorro de combustible*

Mediante el programa RETSCREEN se calcularon los consumos de combustible, tomando como caso base la utilización de gas natural. En el caso propuesto, se utilizará energía solar y gas natural como apoyo.
En total el sistema ahorraría el 90% del combustible utilizado actualmente.

Tabla 8: Comparativa caso base y propuesto

Sistema auxiliar – Termotanque	Caso base	Caso propuesto
Tipo de combustible	Gas natural m3	Gas natural m3
Eficiencia estacional	80%	80%
Consumo anual de combustible	115 m3	11,5 m3
Precio del combustible	0,130 $/m3	0,130 $/m3
Costo del combustible	$15	$1

4.6 *Análisis de emisiones*

En la tabla 9 pueden observarse las emisiones que se evitarían en caso de implementación del sistema de calentamiento solar, dependiendo del combustible que reemplace. Es importante destacar que debido a la pequeña envergadura del proyecto, se hace inviable el aprovechamiento de bonos de carbono. Asimismo se observa el equivalente de emisiones provenientes de gasolina no utilizada.

Tabla 9: Emisiones evitadas

Emisiones GEI [tn CO2]	Caso base	Caso propuesto
Gas Natural	0,2	0,02
Gas envasado	0,3	0,03
Electricidad	0,2	0,02
Diesel	0,3	0,03
	Reducción anual bruta de emisiones GEI [tn CO2]	Equivalente en emisiones a litros de gasolina
Gas Natural	0,18	81,3
Gas envasado	0,27	122
Electricidad	0,18	81,3
Diesel	0,27	122

4.7 *Análisis Financiero*

Si bien en la localidad donde se pretende instalar el sistema existe red de gas natural, se han

planteado diversos escenarios de suministro energético alternativo.

La finalidad de esto es poder evaluar los indicadores financieros resultantes en posibles situaciones futuras así como distintas ubicaciones geográficas.

Como tasa de inflación, se toma como referencia la evolución de la energía eléctrica en el período 2002-2008. Se ha seleccionado a la electricidad como indicador por no ser el que más aumentó (gas licuado 220%) ni el que menos aumentó (gas natural 1,5%). La electricidad aumento de precio un 20% en el mismo periodo. Ese aumento descontado año a año da un aumento anual de 4% aproximadamente. Ref. [5].

En la tabla 10 se muestran los resultados utilizando como combustible de base el gas natural. Se ha tomado como vida útil del equipo 25 años.

Los costos de mantenimiento y operación se han tomado como similares al de un equipo convencional.

Tabla 10: Análisis financiero tomando como combustible base al gas natural

Parámetros financieros	
Tasa de inflación	4%
Tiempo de vida del proyecto	25 años
Costos iniciales	
Sistema calentamiento agua	$3.000
Costo inicial total	$3.000
Costo anual	
Costo de operación y mantenimiento	$15
Costo de combustible caso propuesto	$1
Costo total anual	$16
Ahorro y renta anual	
Costo de combustible – caso base	$15
Mantenimiento	$15
Total renta y ahorro anuales	$30
Viabilidad financiera	
TIR antes de impuestos	-9,1%
Pago simple de retorno de capital	222,8 años
Repago de capital	> proyecto

Los análisis financieros partiendo de otras fuentes de energía de base, como el caso del gas proveniente de Bolivia, GLP, energía eléctrica y diesel se observan en las tablas 11 a 14. Ref. [6], [7], [8].

Tabla 11: Análisis financiero tomando como escenario base el gas proveniente de Bolivia.

Parámetros financieros	
Tasa de inflación	4%
Tiempo de vida del proyecto	25 años
Costos iniciales	
Sistema calentamiento agua	$3.000
Costo inicial total	$3.000
Costo anual	
Costo de operación y mantenimiento	$15
Costo de combustible caso propuesto	$8
Costo total anual	$23
Ahorro y renta anual	
Costo de combustible – caso base	$82
Mantenimiento	$15
Total renta y ahorro anuales	$97
Viabilidad financiera	
TIR antes de impuestos	0,4%
Pago simple de retorno de capital	40,5 años
Repago de capital	23,9 años

Tabla 12: Análisis financiero tomando como escenario base GLP en garrafas.

Parámetros financieros	
Tasa de inflación	4%
Tiempo de vida del proyecto	25 años
Costos iniciales	
Sistema calentamiento agua	$3.000
Costo inicial total	$3.000
Costo anual	
Costo de operación y mantenimiento	$15
Costo de combustible caso propuesto	$19
Costo total anual	$34
Ahorro y renta anual	
Costo de combustible – caso base	$244
Mantenimiento	$15
Total renta y ahorro anuales	$259
Viabilidad financiera	
TIR antes de impuestos	9,8%
Pago simple de retorno de capital	13,3 años
Repago de capital	10,5 años

Tabla 13: Análisis financiero tomando como escenario base la electricidad.

Parámetros financieros	
Tasa de inflación	4%
Tiempo de vida del proyecto	25 años
Costos iniciales	
Sistema calentamiento agua	$3.000
Costo inicial total	$3.000
Costo anual	
Costo de operación y mantenimiento	$15
Costo de combustible caso propuesto	$16
Costo total anual	$31
Ahorro y renta anual	
Costo de combustible – caso base	$163
Mantenimiento	$15
Total renta y ahorro anuales	$178
Viabilidad financiera	
TIR antes de impuestos	5,7%
Pago simple de retorno de capital	20,5 años
Repago de capital	14,8 años

Tabla 14: Análisis financiero tomando como escenario base diesel.

Parámetros financieros	
Tasa de inflación	4%
Tiempo de vida del proyecto	25 años
Costos iniciales	
Sistema calentamiento agua	$3.000
Costo inicial total	$3.000
Costo anual	
Costo de operación y mantenimiento	$15
Costo de combustible caso propuesto	$33
Costo total anual	$48
Ahorro y renta anual	
Costo de combustible – caso base	$330
Mantenimiento	$15
Total renta y ahorro anuales	$345
Viabilidad financiera	
TIR antes de impuestos	13%
Pago simple de retorno de capital	10,1 años
Repago de capital	8,4 años

5 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo a los resultados obtenidos, se sugiere colocar el equipo sobre el módulo 2, debido al mayor incidencia solar que se tiene a lo largo de todo el año. En el módulo 2, se sugiere la colocación en el extremo norte del mismo, por los siguientes motivos:

- Existencia de una superficie plana y libre.
- Cercanía con el termotanque actual, lo que permite que se conecte en serie con el calefón solar, permitiendo que el termotanque actúe como equipo suplementario.
- Buena visualización desde la calle, lo que permite que el equipo sea visto por el público en general. De esta manera se logra una mayor difusión de esta tecnología.

Desde el punto de vista técnico, se puede observar que debido a la baja demanda de agua caliente, el equipo seleccionado o uno similar podrá reemplazar aproximadamente el 90% del gas natural consumido. Una desventaja desde el punto de vista técnico es que durante la época en que el equipo entrega mayor cantidad de energía (verano), la demanda es muy baja.

Econonómicamente hablando, la inversión no luce atractiva debido a dos factores.

- Desfasaje temporal entre la oferta y la demanda.
- Bajo precio del gas en el mercado interno. Es conveniente destacar que para el cálculo de la tasa de inflación se han tomado datos históricos.

Se puede observar que en la Provincia existen condiciones climáticas favorables para el aprovechamiento de energía solar.

Si bien la inversión no es atractiva para un cliente individual, es interesante desde el punto de vista colectivo, ya que se liberaría parte del gas utilizado domésticamente, para ser utilizado por industrias y generadoras eléctricas. Actualmente, muchas industrias sufren restricciones debido a cortes o tienen que utilizar otros tipos de combustibles de mayor costo, como es el gas oil o el fuel oil, los cuales actualmente también sufren serias restricciones. Por otro lado se evitaría parte de los fondos que se utilizan para subsidiar combustibles fósiles.

Cabe destacar que es importante no notar sólo la parte económica de este proyecto. La parte ambiental cobra importancia debido a problemas como el calentamiento global, lluvia ácida entre otros.

6 CONCLUSIÓN

Se ha presentado en este trabajo una metodología que combina herramientas informáticas gratuitas y de fácil manejo, proporcionando un poderoso instrumento para la evaluación técnica, económica y ambiental de proyectos de energía renovable.

REFERENCIAS

[1] Gómez, S.y.Q., C, SSV 3D: Simulador de sombras vectoriales por radiación solar sobre objetos tridimensionales. Información Tecnológica, 2005.

[2] SKETCH UP http://sketchup.google.com/

[3] GOOGLE EARTH http://earth.google.com/

[4] RETSCREEN http://www.retscreen.net

[5] ANÀLISIS COMPARATIVO DE PRECIOS DE COMBUSTIBLES LÍQUIDOS, GASEOSOS Y ENERGÍA ELÉCTRICA. Metrogas. Marzo 2008.

[6] ENARGAS, Facturación propia. Marzo 2008.

[7] EDEMSA, Facturación propia. Marzo 2008.

[8] YPF SA, Facturación propia. Marzo 2008

Comparación del valor teórico y la medición del TR60 mediante el método de la detonación

C.E. Boschi & A.F. González

cboschi@frm.utn.edu.ar & adofgon@lanet.com.ar
Laboratorio de Acústica y Sonido "Mario Guillermo Camín", Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional

RESUMEN: El objetivo del presente estudio es exponer los resultados de la comparación entre el valor teórico del Tiempo de Reverberación (TR60) calculado según distintos modelos que fueron desarrollados para predecir dicho Tiempo de Reverberación en recintos cerrados y los valores obtenidos a través de la medición utilizando un método experimental adaptado en el Laboratorio de Acústica y Sonido "Mario Guillermo Camín". Se analizan tres casos, se presenta la relación entre los dos procedimientos y se obtienen conclusiones sobre los valores obtenidos.

Palabras clave: acústica - arquitectura - sonido - reverberación – materiales

ABSTRACT: The purpose of present report is to expose an experimental method adapted in Acoustics and Sound Laboratory "Mario Guillermo Camín" to measure the Reverberation Time (RT60) and corroborate its correspondence with three models that were developed to predict the Reverberation Time in enclosed rooms. Then, three cases are discussed in wich the experimental method adapted was applied. Finally utility of adapted experimental method is analyzed to use it to improve room acoustic.

*Key Words: a*coustics - architectural - sound - reverberation – materials

1 INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista de la Física el sonido, es una vibración mecánica capaz de producir una sensación auditiva; en cambio desde el punto de vista de la Fisiología, es una sensación auditiva producida por una vibración de carácter mecánico.

Cuando un objeto vibra, en su entorno inmediato se producen variaciones de presión y estas variaciones se propagan a través de un medio que puede ser sólido, líquido o gaseoso. Las partículas materiales que transmiten tales ondas oscilan en la dirección de la propagación de las mismas ondas.

El sonido llega a nuestros oídos gracias a que las partículas que componen el aire vibran y transmiten su oscilación.

La máxima amplitud que alcanzan las ondas se llama amplitud y determina el volumen o nivel sonoro.

Al número de ondas que caben en un tiempo determinado se lo llama frecuencia, y se lo mide en Hertz.

La medida del espacio que existe entre una onda y la siguiente se llama longitud de onda, entonces cuanto más alta es la frecuencia menor es la longitud entre las ondas en un mismo tiempo.

1.1 *Nivel de Presión Sonora*

La presión atmosférica, es decir la presión del aire ambiental en ausencia de sonido, se mide en Pascal, Pa. Esta presión es de alrededor de 100 KPa.

La presión sonora es la diferencia entre la presión instantánea debida a un sonido y la presión atmosférica.

La presión sonora tiene en general valores muchísimo menores que el correspondiente a la presión atmosférica.

Por ejemplo, los sonidos más intensos que pueden soportarse sin experimentar un dolor auditivo agudo corresponden a unos 20 Pa, mientras que los apenas audibles están cerca de 20 μPa.

El hecho de que la relación entre la presión sonora del sonido más intenso y la del sonido más débil sea del orden de un millón de veces ha llevado a adoptar una escala comprimida denominada escala logarítmica.

Llamando Pref, presión de referencia a la presión de un tono apenas audible (es decir 20 μPa) y P a la presión sonora, se puede definir el nivel de presión sonora (NPS) Lp como

$$Lp = 20 \log (P / Pref) \qquad (1)$$

Cuando las ondas sonoras se propagan en el interior de un recinto cerrado y se encuentran con un obstáculo una parte es absorbida por él, otra es transmitida a través del mismo y otra parte es reflejada. La proporción entre ellas depende de la naturaleza del material. En un recinto cerrado la vibración del aire contenido por aquel se debe a la acción resultante de la onda progresiva y las ondas regresivas originadas a las múltiples reflexiones en las superficies límites. Las reflexiones se van produciendo entre paredes, techo, suelo y así sucesivamente, de manera que se superponen al sonido original. Si las reflexiones son en gran número y se suceden erráticamente en el tiempo, el campo sonoro resultante se llama reverberante o difuso. A los fines de poder cuantificar este fenómeno se ha definido un parámetro que se denomina el tiempo de reverberación (TR60), y se define como el tiempo necesario para que el nivel de una señal acústica, cuya emisión se interrumpe, caiga 60 dB con respecto al nivel primitivo. Desde el punto de vista del diseño de recintos destinados a la audición, el control de la reverberación de los sonidos constituye una premisa fundamental. Si una sala tiene paredes altamente reflectantes del sonido, la inteligibilidad disminuye porque los sonidos que se van emitiendo, se confunden con los anteriores que aun no se han extinguido. Lo contrario sucede si las paredes son muy absorbentes, en cuyo caso se observa una sensación de molestia causada por el hecho de que los sonidos "mueren" inmediatamente después de ser emitidos y se percibe un estado de sofocación que dista mucho de ser agradable. Dependiendo del uso que se le dé a una determinada sala será el tiempo de reverberación que se considere como correcto para la misma. En la Figura 1 se muestran los valores de los tiempos de reverberación e función del volumen en recintos considerados con buena acústica, a frecuencias medias:

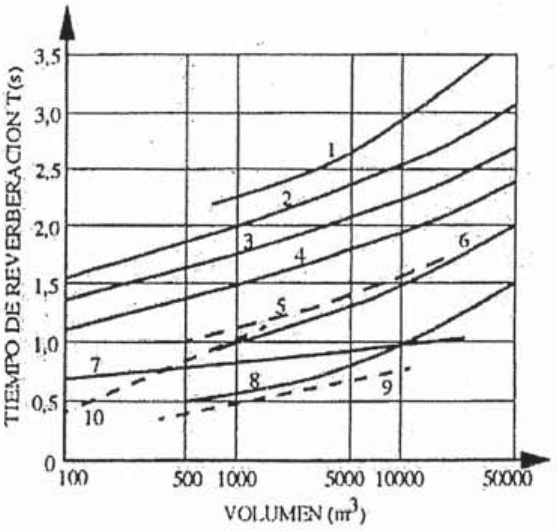


Figura 1. Variación del tiempo de reverberación con el volumen en recintos considerados con buena acústica, a frecuencias medias para: 1. Salas para música religiosa; 2. Salas de concierto para música orquestal; 3. Salas de concierto para música ligera; 4. Estudios de concierto; 5. Salas de baile; 6. Teatros de ópera; 7. Auditorios para palabra; 8. Cines y salas de conferencias; 9. Estudios de T.V. y 10. Estudios de Radio. [1].

2 CALCULO DEL TIEMPO DE REVERBERACIÓN (TR60)

En principio el tiempo de reverberación es función del volumen de la sala y del coeficiente de absorción de las superficies de ésta. Distintas fórmulas se han desarrollado para predecir dicho Tiempo de Reverberación, a saber:

2.1 *Fórmula de Sabine*

Esta fórmula fue postulada por Sabine partiendo del supuesto de que existe un reparto homogéneo de absorbentes con un coeficiente de absorción bajo [2]. Teniendo en cuenta estos supuestos el tiempo de reverberación puede calcularse mediante la fórmula:

$$T = 0{,}161\ [V/A] \qquad (2)$$

Donde: T es el tiempo de reverberación [s], V el volumen de la sala [m^3] y A la absorción total [m^2]; obtenida a partir de

$$A = \alpha\ .S \qquad (3)$$

Siendo: α el coeficiente de absorción sonora y S el area de la superficie de la sala [m^2].

2.2 *Fórmula de Norris - Eyring*

Esta fórmula sólo es aplicable cuando los coeficientes de absorción sonora son de valores numéricos parecidos para todas las superficies límite [3].

$$T = 0{,}161\ [V/(-S \ln (1 - \alpha m))] \qquad (4)$$

Donde: α_m es el coeficiente de absorción medio.

Las fórmulas de Sabine y de Norris – Eyring, son de aplicación cuando los coeficientes de absorción son parecidos y de valores inferiores a 0,2 [5].

2.3 *Fórmula de Millington - Sette*

Si los coeficientes de absorción que entran en juego diferentes grandemente unos de otros es conveniente utilizar la siguiente fórmula de Millington - Sette:

$$T = 0{,}161\ [V/(-\Sigma\ Si \ln (1 - \alpha i))] \qquad (5)$$

Donde: S_i es el área del material iésimo [m^2] y α_i el coeficiente de absorción de dicho material.

En todos los casos no se ha tenido en cuenta el factor de absorción del aire, el cuál solo resulta significativo para las cortas longitudes de onda, sobre todo en salas de gran volumen, mayor a 5000 m3.

3 MÉTODO EXPERIMENTAL PARA MEDIR EL TIEMPO DE REVERBERACIÓN

Existen diversos métodos para medir el tiempo de reverberación, las diferencias fundamentales en los distintos métodos están basadas en la información que se desee obtener, es decir, si se trata de obtener valores globales de discernimiento de una banda de frecuencias en un espectro amplio o se busca mayor resolución en determinadas frecuencias [4]. El método de medición adaptado emplea un detonador y un sonómetro con registrador. Se emplea preferentemente una detonación como fuente de sonido porque se obtienen niveles sonoros altos y con un espectro de frecuencias generalmente muy amplio.

El procedimiento es el siguiente:

- Colocar el Medidor de Nivel Sonoro en un trípode.
- Encender el Medidor de Nivel Sonoro.
- Calibrar el Medidor de Nivel Sonoro con un calibrador acústico adecuado.
- Fijar la toma de muestras en una cada 0,2 seg.

- Seleccionar el tiempo de respuesta del Medidor de Nivel Sonoro en respuesta rápida (Fast).
- Seleccionar el filtro de ponderación en "A".
- Seleccionar el mayor rango del instrumento.
- Iniciar la toma de registros.
- Accionar el detonador.
- Pasado un lapso de tiempo suficiente, detener la toma de registros.
- Descargar los datos a una P.C. y procesarlos.

Como detonador se puede emplear un revolver con munición de fogueo o en su defecto un petardo cuya explosión permita obtener niveles sonoros de aproximadamente 110 dB. En los casos bajo estudio se emplearon petardos.

4 CORRESPONDENCIA CÁLCULO TEÓRICO Y LA MEDICIÓN MEDIANTE EL MÉTODO EXPERIMENTAL - ANÁLISIS DE CASOS

En particular se analizan a continuación tres casos que fueron ensayados por este método, los cuales se han seleccionado ya que sus volúmenes difieren notablemente entre si.

4.1 *Caso Nº 1: Recinto de volumen pequeño*

El estudio se realizó en el salón auxiliar del Club "Los Tilos", cuyo volumen es de 190,58 m^3.

Al momento de realizarse el ensayo, la sala bajo estudio se encontraba con las superficies con los siguientes revestimientos:

Tabla 1. Distribución de revestimientos para el Caso Nº 1.

CERRAMIENTO/ELEMENTO - TIPO		SUP. [m^2]
Norte	Ladrillo visto pintado	21,38
Norte	Cortina 475 g/m^2, colgando recto, fruncida al 50%	3,38
Sur	Ladrillo visto pintado	21,38
Sur	Cortina 475 g/m^2, colgando recto, fruncida al 50%	3,38
Este	Ladrillo visto pintado	14,63
Este	Cortina 475 g/m^2, colgando recto, fruncida al 50%	2,31
Oeste	Ladrillo visto pintado	14,63
Oeste	Cortina 475 g/m^2, colgando recto, fruncida al 50%	2,31
Techo	Revoque de cal y arena	86,63
Piso	Calcáreo	86,63

Tal situación se puede observar en la Fig. 2:

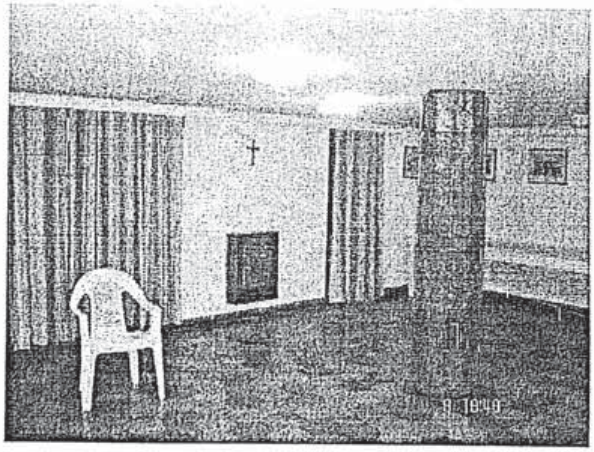


Figura 2. Aspecto de la Salón auxiliar del Club "Los Tilos".

Luego de procesar los datos en una P.C. con una planilla de cálculos, los resultados de la medición para la sala ensayada se muestran en la siguiente figura, en ella se observa una subida brusca de nivel de presión sonoro hasta casi 119 dB y a continuación un descenso hasta llegar al nivel del ruido de fondo, de 49,5 dB. El tiempo de reverberación viene dado por la escala de tiempos y se considera desde el nivel máximo hasta una atenuación de 60 dB por debajo del mismo.

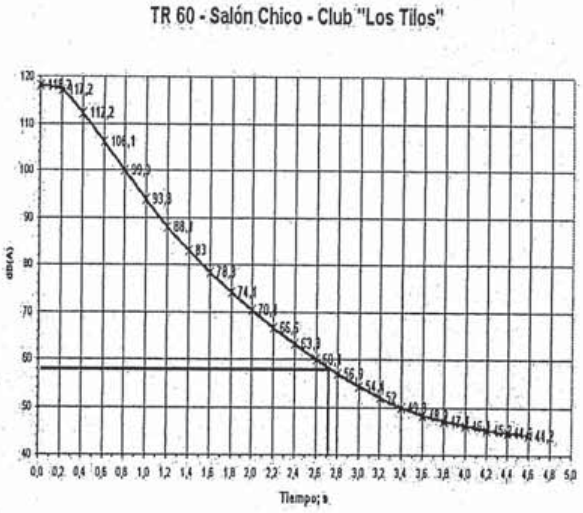


Figura 3. Tiempo de Reverberación medido para el Salón auxiliar del Club "Los Tilos"

Como se puede observar en la figura anterior el TR60 es de 2,7 seg.

A continuación se comparan los resultados de la medición con los valores calculados con las fórmulas.

Datos Iniciales

$V = 190{,}58\ m^3$

TR60 medido = 2,7 s

Tabla 2. Cálculo de los errores relativos porcentuales para cada fórmula para el Caso Nº 1.

TR60 CALCULADO SEGÚN	$TR60_{medio}$ [s]	e %
Fórmula de Sabine	2,78	3
Fórmula de Norris - Eyring	2,72	0,81
Fórmula de Millington - Sette	2,41	11

4.2 *Caso Nº 2: Recinto de volumen medio*

El estudio se realizó en el salón principal del Club "Los Tilos", cuyo volumen es de $710{,}88\ m^3$.

Al momento de realizarse el ensayo, la sala bajo estudio se encontraba con las superficies con los siguientes revestimientos:

Tabla 3. Distribución de revestimientos para el Caso Nº 2.

CERRAMIENTO/ELEMENTO - TIPO		SUP. [m^2]
Norte	Ladrillo visto pintado	40,86
Norte	Vidrio, gran cristalería de vidrio grueso	45,20
Sur	Ladrillo visto pintado	53,28
Sur	Vidrio, gran cristalería de vidrio grueso	32,78
Este	Ladrillo visto pintado	30,38
Este	Vidrio, gran cristalería de vidrio grueso	9,00
Oeste	Ladrillo visto pintado	30,38
Oeste	Vidrio, gran cristalería de vidrio grueso	9,00
Techo	Revoque de cal y arena	251,92
Piso	Calcáreo	240,98
Obj. 1	Personas de pie (0,8 m^2/persona)	6
Obj. 2	Asiento tapizado grueso (0,8 m^2/asiento)	20

Tal situación se puede observar en la Figura 4:

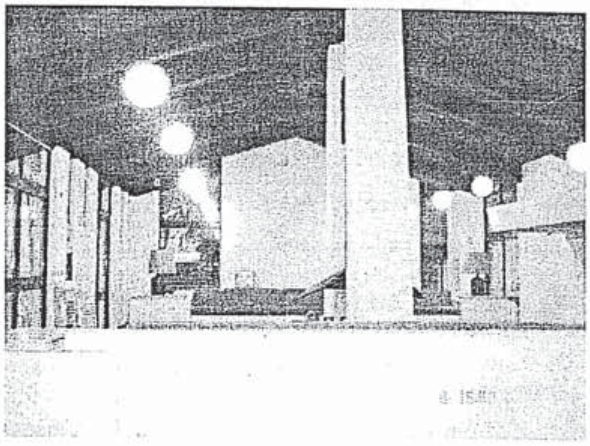


Figura 4. Aspecto de la Salón principal del Club "Los Tilos".

Siguiendo el procedimiento antes descrito, se obtuvieron los siguientes resultados:

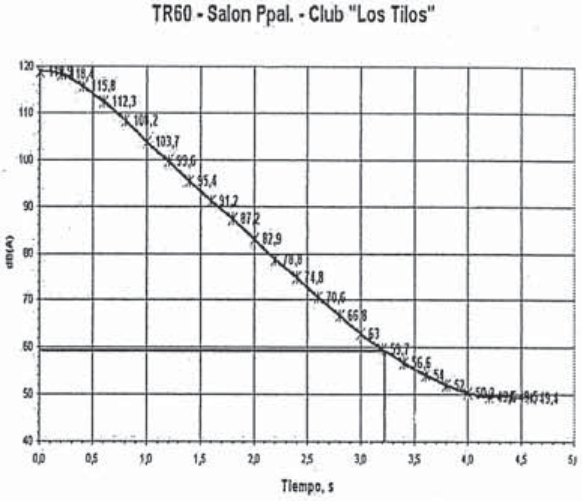


Figura 5. Tiempo de Reverberación medido para el Salón principal del Club "Los Tilos"

Como se puede observar en la figura anterior el TR60 es de 3,2 seg.

A continuación se comparan los resultados de la medición con los valores calculados con las fórmulas.

Datos Iniciales

$V = 710{,}88\ m^3$

TR60 medido = 3,2 s

Tabla 4. Cálculo de los errores relativos porcentuales para cada fórmula para el Caso Nº 2.

TR60 CALCULADO SEGÚN	$TR60_{medio}$ [s]	e %
Fórmula de Sabine	3,39	5,91
Fórmula de Norris - Eyring	3,30	3,12
Fórmula de Millington - Sette	5,73	79

4.3 *Caso Nº 3: Recinto de volumen grande*

El estudio se realizó en el salón principal del templo evangelista, cuyo volumen es de 2523,94 m^3.

Al momento de realizarse el ensayo, la sala bajo estudio se encontraba con las superficies con los siguientes revestimientos:

Tabla 5. Distribución de revestimientos para el Caso Nº 3.

CERRAMIENTO/ELEMENTO - TIPO		SUP. [m^2]
Norte	Enlucido Yeso o cal, terminación fina, barnizado	99,18
Sur	Enlucido Yeso o cal, terminación fina, barnizado	99,18
Este	Placa de yeso de 12 mm, con cámara de aire	146,16
Oeste	Enlucido Yeso o cal, terminación fina, barnizado	146,16
Techo	Placa de yeso, con cámara de aire	497,29
Piso	Cerámico	423,82
Obj. 1	Personas de pie (0,8 m^2/persona)	2
Obj. 2	Escenario revestido en moqueta	73,46

Tal situación se puede observar en la Figura 6:

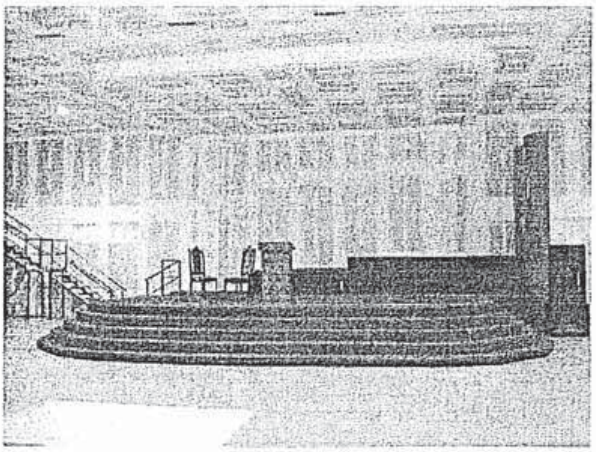
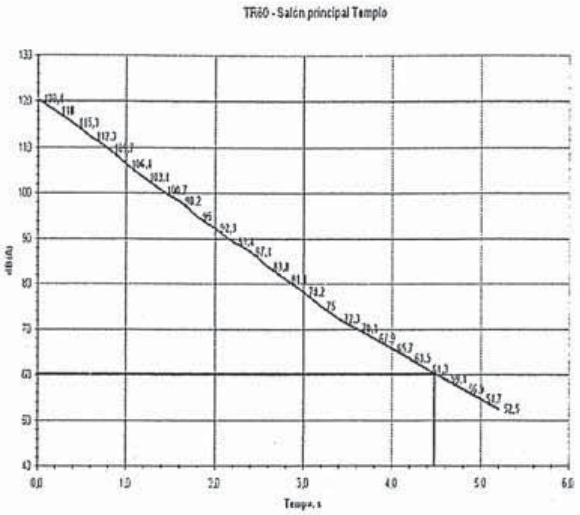


Figura 6. Aspecto del salón del Templo Evangélico.

Del mismo modo se obtuvo:



A continuación se comparan los resultados de la medición con los valores calculados con las fórmulas.

Datos Iniciales

V = 2523,94 m^3

TR60 medido = 4,5 s

Tabla 6. Cálculo de los errores relativos porcentuales para cada fórmula para el Caso Nº 3.

TR60 calculado según	$TR60_{medio}$ [s]	e %
Fórmula de Sabine	4,42	1,8
Fórmula de Norris - Eyring	4,28	4,9
Fórmula de Millington - Sette	4,04	10,3

5 CONCLUSIONES

Se cotejaron los resultados obtenidos por medio de las fórmulas teóricas con los obtenidos con el método experimental para tres salas de volúmenes distintos. Para las Fórmulas de Sabine y de Norris - Eyring el error relativo porcentual se mantuvo dentro de un dígito. En cambio para la Fórmula de Millington – Sette el error fue muy significativo para salas de volúmenes pequeños y se redujo casi al 10 % para la sala de volumen grande. Se concluye que el método de medición empleado permite obtener resultados rápidos y con un buen grado de aproximación. Tiene la ventaja de ser un método sencillo de implementar. La desventaja radica en el hecho de que no aporta información discriminada sobre las distintas bandas de octava. Por lo tanto este método es útil en una etapa inicial de acondicionamiento acústico de una sala.

REFERENCIAS

[1] M. Recuero López, Acústica Arquitectónica, Ed. Paraninfo, Madrid, 1999.

[2] M. Recuero López, Ingeniería Acústica, Ed. Paraninfo, Madrid, 2000.

[3] D. Davis y C. Davis, Sound System Engineering, Ed. Sams, Indianápolis, 1987.

[4] J. Mompín Poblet et al, Manual de Alta Fidelidad y Sonido Profesional, Ed. Marcombo Boixareu, Barcelona, 1982.

[5] M. Recuero López, Acondicionamiento Acústico, Ed. Paraninfo, Madrid, 2001.

Medición de energía radiante no ionizante en el medio ambiente y predicción de contornos de protección poblacional

J. Balacco, R. Césari, L. Dottori, J. Mikalef
jbalacco@frm.utn.edu.ar., ricardo.cesari@speedy.com.ar
Laboratorio LECER. Departamento Ingeniería Electrónica. Facultad Regional Mendoza
Universidad Tecnológica Nacional.

RESUMEN: Este trabajo se basa en la investigación que el Laboratorio LECER del Departamento de Electrónica de la Facultad Regional Mendoza de la UTN está realizando sobre mediciones de la energía radiante no ionizante en el Medio Ambiente debido a los sistemas de telecomunicaciones instalados en la Provincia y la determinación de zonas de protección poblacional. Se presenta la metodología para una zona particular y los resultados obtenidos.

Palabras clave: energía no ionizante – electromagnetismo – protección – riesgo – exposición.

ABSTRACT: This work is based on the investigation than the Laboratory LECER of Electronics' Department of the Facultad Regional Mendoza of the UTN is realizing on measurements of the radiant energy not ionizante in the middle Environment due to the systems of telecommunications installed in the provinces and the determination of protective noun poblacional. You encounter the methodology for a particular noun and the obtained results.

Key Words: Energy not ionizante – electromagnetism – protection – risk – exposition

1. INTRODUCCION

Las ondas electromagnéticas comprendidas entre las frecuencias 100KHz a 300GHz, son denominadas radiaciones no ionizantes (RNI), debido a que no poseen la energía suficiente para ionizar las células vivas. En el presente trabajo se expone el curso de la investigación que se está llevando a cabo en el Laboratorio LECER, del Departamento de Electrónica de la Facultad Regional Mendoza de la UTN, partiéndose de la hipótesis de la existencia de zonas de riesgo para la salud humana, debido a los efectos térmicos que se producen sobre los organismos cuando las potencias son excesivas. El trabajo de la investigación consiste en la medición de los niveles de densidad de potencia de las RNI en áreas urbanas, con el objetivo de verificar si los mismos se adecúan a la normativa vigente, como así también, la discriminación de los niveles existentes para las distintas fuentes, la predicción de zonas de protección como hospitales, escuelas y centros comunitarios; determinando áreas de influencia de los sistemas. Se presenta como ejemplo un caso de estudio: mediciones en los sistemas de antenas ubicadas en el predio de la Facultad Regional Mendoza de la UTN.

El aporte del trabajo para mitigar los posibles efectos de las radiaciones no ionizantes, por una parte, es obtener conocimiento del estado actual de los niveles de energía radiante, en áreas urbanas y su grado de aproximación a los estándares aprobados; y por otra, determinar para zonas de protección específicas, una revisión de las normas existentes con el objeto de reducir precautoriamente los niveles normalizados de RNI. Así también, producir recomendaciones necesarias respetando las zonas de protección a personas.

2. MÉTODOS Y EQUIPOS

La metodología del trabajo está clasificada en cuatro fases: La medición, la evaluación y predicción, la determinación zonas de protección y exclusión, y las recomendaciones.

Tabla 1. Mediciones de densidad de potencia en el sistema de antenas Telefonía Celular y emisora de FM, en el predio de la Facultad Regional Mendoza – UT N.

puntos	Latitud (Sur)	Longitud (Oeste)	(r) distancia horizontal a la base [m]	(d) distancia directa a la antena (m)	Azimut [°]	(Sef) densidad de potencia efectiva [mW/cm^2]	(Sef) densidad de potencia efectiva [W/m^2]	PIREest [W]
1	32° 53' 51,1"	68° 51' 6,6"	4	80,10	270°	0,00040	0,0040	323,16
2	32° 53' 51,2"	68° 51' 6,9"	3	80,06	307°	0,00032	0,0032	257,50
3	32° 53' 51,1"	68° 51' 7,5"	13,4	81,11	87°	0,00128	0,0128	1057,96
4	32° 53' 52,1"	68° 51' 6,9"	25	83,82	357°	0,00045	0,0045	400,22
5	32° 53' 51,1"	68° 51' 6,7"	9	80,50	216°	0,00047	0,0047	379,33
6	32° 53' 50,6"	68° 51' 6,5"	16	81,58	211°	0,00093	0,0093	777,76
7	32° 53' 51,2"	68° 51' 7,1"	5,6	80,20	45°	0,00018	0,0018	148,80
8	32° 53' 52.6"	68° 51' 6,9"	40	89,44	356°	0,00027	0,0027	269,57
9	32° 53' 51,1"	68° 51' 4,6"	61	100,60	270°	0,00040	0,0040	512,48
10	32° 53' 51,2"	68° 51' 7,6"	17	81,79	71°	0,00013	0,0013	113,05
11	32° 53' 50,1"	68° 51' 6,6"	21	82,71	197°	0,00035	0,0035	298,61
12	32° 53' 49,4"	68° 51' 7,2"	51,5	95,14	176°	0,00024	0,0024	270,68
13	32° 53' 52,1"	68° 51' 8,0"	38,3	88,70	38°	0,00020	0,0020	196,21
14	32° 53' 53,3"	68° 51' 9,8"	102	129,63	45°	0,00010	0,0010	208,95
15	32° 53' 54,1"	68° 51' 5,0"	106	132,80	330°	0,00027	0,0027	598,53
16	32° 53' 50,7"	68° 51' 3,0"	105	132,00	264°	0,00026	0,0026	566,75
17	*32° 53' 48,0"*	*68° 51' 3,2"*	*138*	*159,51*	*226°*	*0,00022*	*0,0022*	*703,43*
18	*32° 53' 47,1"*	*68° 51' 8,4"*	*124*	*147,57*	*163°*	*0,00014*	*0,0014*	*383,34*
19	*32° 53' 49,9"*	*68° 51' 9,8"*	*82,9*	*115,21*	*118°*	*0,00038*	*0,0038*	*634,58*
20	*32° 53' 45,7"*	*68° 51' 4,6"*	*156*	*175,32*	*211°*	*0,00013*	*0,0013*	*504,63*
21	*32° 53' 46,6"*	*68° 51' 7,1"*	*138*	*159,51*	*179°*	*0,00011*	*0,0011*	*346,93*

2.1. La Medición

Las mediciones fueron realizadas de acuerdo al Protocolo CNC-3690/2004 fijado por la Comisión Nacional de Comunicaciones, quien establece que los titulares de estaciones radioeléctricas y los licenciatarios de estaciones de radiodifusión, deberán demostrar que las radiaciones generadas por la antenas de sus estaciones "*no afectan a la población en el espacio circundante a las mismas*" e incorporando el procedimiento y la metodología para hacerlo Ref. [1]. Se presentan los valores de densidad de potencia S, obtenidos en el sistema de antenas de Telefonía Celular y FM dentro del predio de la Facultad Regional Mendoza de la UTN, indicados en la Tabla 1.

La densidad de potencia S está expresada por la ecuación 1:

$$S = \frac{PIRE \cdot 2.56 \cdot K}{4\pi \cdot d^2} \quad (1)$$

donde,

PIRE: *Potencia Isotrópica Radiada Equivalente [W]. Es el producto de la potencia suministrada por la ganancia de antena en una dirección dada, relativa a un radiador isotrópico.*

S: *Densidad de Potencia Radiada en [W/m2]*

K: *Coeficiente de reflexión. Es el valor del factor de reflexión, que tiene en cuenta la posibilidad de que se puedan adicionar campos reflejados en fase con el campo incidente directo.*

d: *Distancia directa desde la antena al punto de medición en [m].*

El instrumental utilizado se trata de un medidor de radiación electromagnética marca NARDA modelo EMR-300 calibrado, Sonda de medición calibrada marca NARDA tipo 9.2. y Posicionador GPS marca Garmin modelo eTrex. Ver foto 3.

Este tipo de mediciones es de banda ancha, por lo que el resultado de las mismas toma en cuenta no sólo la influencia del sistema bajo estudio, sino que además incluye el aporte de los sistemas radioeléctricos que se encuentran transmitiendo en las cercanías, como por ejemplo otros sistemas celulares, punto a punto, radiodifusión (AM, FM y TV). En el predio se midieron como mínimo 16 puntos circundantes y en cada punto, 90 mediciones cada 4 segundos, tabulándose el valor máximo y el cuadrático medio.

Se realizó *estimación* de valores de la potencia isotrópica radiada equivalente desde cada punto, mediante la ecuación 2:

$$PIRE_{est} = 4 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot S_{ef} \quad (2)$$

Donde: S_{ef} = *es la densidad de potencia radiada efectiva medida en el punto, teniendo en cuenta otros campos.*

$PIRE_{est}$ = *[PIRE. 2,56. K] Es la Potencia Isotrópica Radiada Equivalente Estimada, teniendo en cuenta otros campos reflejados en fase con el campo incidente directo e incluyendo las reflexiones existentes.*

2. 2. La Evaluación y Predicción

Se realizó la tabulación de los niveles de radiación medidos y la predicción de nuevos valores en puntos circundantes no medidos, mediante la aplicación de la técnica de Red Neuronal Artificial. Ver gráfico. 1. Para este fin se utilizó la red NNAinet, Ref. [2] que permitió predecir las densidades de potencia S_{ef} de puntos circundantes, ampliando la zona de medición con resultados de validación estadística de α=0.01, 99% certeza.

2.3. Determinación Contornos de Protección Poblacional

Para determinar las zonas de protección se calcularon la distancia de protección d_{prot} desde la antena, con la ecuación 3:

$$d_{prot} = \sqrt{\frac{PIRE_{est}^{*} \cdot F_{p\,prot}}{4 \cdot \pi \cdot S_{\lim}}} \quad (3)$$

Donde:

d_{prot} = *distancia a la antena de protección de personas [m]*

$PIRE_{est}$*= *Es el promedio, desde todos los puntos circundantes a la antena emisora, de las potencias isotrópicas radiadas equivalentes estimadas.*

Fp_{prot}= *factor de protección poblacional (1, 2, 3, 4) aplicado según el criterio siguiente: 1: zona rural, 2: zona urbana, 3: zona centros educativos y recreativos, 4: hospitales.*

S_{lim} = *densidad de potencia límite =2 [W/m2].*

Con la distancia horizontal **r** (m) y la altura de la antena H (m), se calcularon las distancias directas desde los puntos de medición a la antena, **d** (m) y ángulos de inclinación **α** correspondientes.

Si en la ecuación 3 se reemplaza la densidad de potencia con el valor límite (el mas desfavorable establecido por la norma, S_{lim}= 2 W/m2), entonces se obtiene la distancia directa a la antena de protección d_{prot} y la altura h_p en la cual existe este valor crítico, definiendo un contorno de protección a las personas.

2.4. Cartografiado de contornos de protección poblacional

Una vez obtenida la distancia de protección d_{prot}, a la antena, se establece el radio de protección r_{prot} señalándolo en la Cartografía y efectuándose el registro gráfico de la evaluación del nivel de potencia crítico con el contorno de protección. El mismo, es un concepto surgido de investigaciones realizadas para encontrar un criterio precautorio de

protección a la salud de las personas debido a las radiaciones no ionizantes producidas los sistemas de telecomunicaciones, fundamentalmente, en áreas urbanas densamente pobladas. La fig.1 esquematiza el concepto de esta área de protección.

El criterio definido, es prácticamente, encontrar un contorno restringido a la permanencia prolongada de las personas, considerando que el mismo, se trata de un área en la que el valor de la densidad de potencia es considerado el máximo permitido por las normas, S_{lim} = 2 w/m^2 o (200μW/cm^2), aunque el sistema no la produzca. Este es el contorno de riesgo con el máximo nivel permitido. Ver tabla 2.

También, el factor de protección FP_p = 1, 2, 3, 4, es un coeficiente que afecta la distancia de protección a la antena emisora, precautoriamente, disminuyendo el valor límite de densidad de potencia considerada en el contorno de protección. Así, un valor FP_p = 2, reduce el límite a S_{lim} =50μW/cm^2; otro de FP_p =3, reduce el límite a Slim =22 μW/cm2; FPp =4, a S*lim* =22 μW/cm^2. Aún no existen resultados que validen cuál es el valor que debe aplicarse concretamente y actualmente sólo se hace en forma arbitraria; pero se prevé en esta metodología la posibilidad de aplicar el criterio según otros límites que se establezcan en el futuro, en el País y en Comunidad Internacional. Ver figura 1.

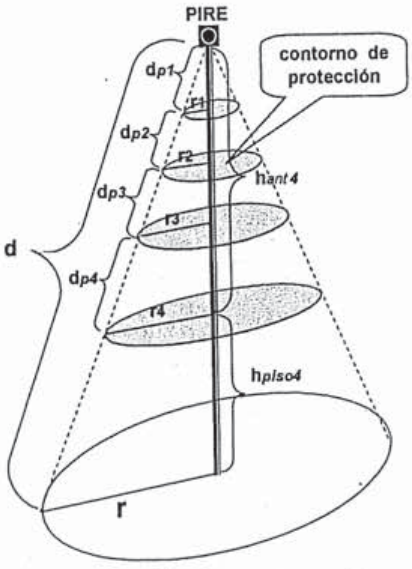


Figura 1. Representación de contornos de protección

3. CONCLUSIONES

En el Predio donde se halla la estructura el valor máximo hallado es de 0.00234mW/cm^2, lo que significa sólo un 1,17% del valor máximo admisible (2 W/m^2).

Alrededores del predio el valor máximo hallado es de 0,00142 mW/cm^2 (0.0142W/m^2), lo que significa un 0,71 % del valor máximo admisible.

Los niveles medidos tanto en el sitio como en las inmediaciones, se encuentran muy por debajo de los límites establecidos por el Ministerio de Salud de la Nación, tomando como referencia el valor más pesimista en razón de haber en el lugar sistemas diferentes de telecomunicaciones.

En ninguno de los puntos de medición se registra un valor fijo que supere el 50% del valor límite más estricto.

El contorno de protección de personas determinada, aplicando un factor de protección de FP_p = 3, tiene un contorno de radio alrededor de la estructura de r_{prot}= 7m, a una altura del suelo h_{piso}= 70m, considerando los valores límites de densidad de potencia para la banda mas desfavorable, de FM, que es de S_{lim}= 2W/m2. Ver gráfico. 1

Se presenta, en este estudio, parcialmente la investigación en curso, que ampliada a todas las zonas del Gran Mendoza, nos dará información necesaria para disminuir la incertidumbre sobre las emisiones radioeléctricas y sus intensidades de radiación y asentar en el futuro los mecanismos necesarios para llevar adelante una aplicación metodológica válida y la creación de un área específica de referencia asegurando la calidad de las mediciones y los estudios a realizar. Este punto es especialmente sensible a la opinión pública, a la Universidad y al Estado, para garantizar imparcialidad y profesionalidad en este tema.

6. NORMATIVA

Desde el punto de vista de las "emisiones no ionizantes", existen normativas para sistemas de telecomunicaciones que emitan energía radiante Ccomprendidas entre las frecuencias 100Khz a 300Ghz. El Ministerio de Salud de la Nación, mediante Resolución 202 – MS- 95 Ref. [3], aprueba el Estándar Nacional de Seguridad para la exposición a radiofrecuencias comprendidas en las frecuencias anteriores, conforme al "Manual de Estándares de Seguridad para la Exposición de Radiaciones no Ionizantes", recopilación comprendida en los trabajos teóricos y experimentales realizados por investigadores del País y en el extranjero. Ref. [4] La Secretaría de Comunicaciones de la Nación, mediante la

Resolución 530-SEC-2000, dispone que el citado Estándar Nacional de Seguridad para la exposición de radiofrecuencias comprendidas entre 100KHz y 300GHz, sea de aplicación obligatoria a todos los sistemas de telecomunicaciones que irradian radiofrecuencia, situados en el territorio Nacional Ref. [5].

5. LAS RECOMENDACIONES.

En base al conocimiento adquirido, se establecen las recomendaciones siguientes:

Respetar la zona de protección, evitando la permanencia de personas en forma prolongada dentro de la misma. En esta estructura de la Universidad no existe riesgo por cuanto la zona de protección se encuentra a partir de los 70 metros desde el suelo, en un área de radio 7 metros, alrededor de la estructura sostén de antenas (FP_p=3).

Para el caso de sistemas irradiantes instalados en azoteas o techos de edificios, realizar mediciones con el fin de determinar si la zona de protección correspondiente incluye estas áreas.

Con estas acciones, se siguen los lineamientos del programa de la Organización Mundial de la Salud (OMS), en el sentido de establecer vigilancia tecnológica en todas las Regiones del Planeta y donde se realicen investigaciones, para mitigar los posibles efectos de las radiaciones no ionizantes sobre la salud humana Ref. [6]

Considerar que las radiaciones no ionizantes (RNI) son aquellas radiaciones del espectro radioeléctrico que no tienen energía suficiente para ionizar la materia, por debajo de valores de máxima exposición permitida (MEP) a los que las personas pueden estar expuestas sin efectos perjudiciales y con un aceptable factor de seguridad.

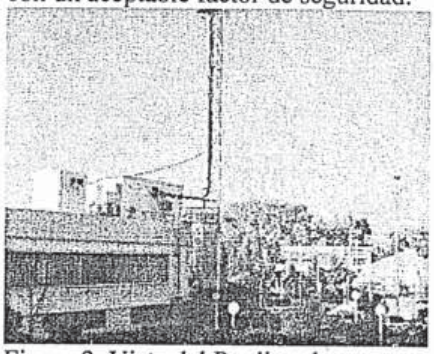


Figura 2. Vista del Predio y la estructura sostén de antenas

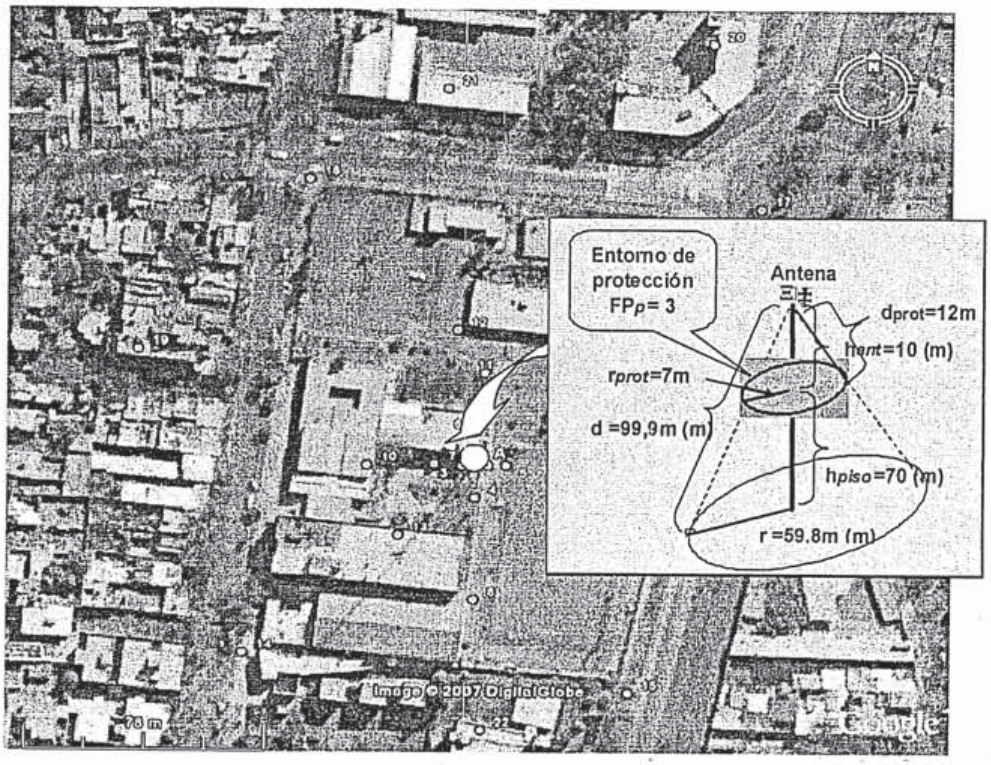


Figura 3 . Zona de protección: radio, $\mathbf{r}_{prot}$= 7 metros, altura $\mathbf{h}_{piso}$ = 70 metros, con un FP_p =3

Tabla 2. Radios y alturas de contornos para diferentes factores de protección FPp

r	d	Slim	PIRE*est	FPp	dp	rp	hant =RAIZ((d*d)-(r*r))	hpiso = H-hp
59,84	99,91	2	426,31	1	4	2	3	77
59,84	99,91	2	426,31	2	8	5	7	73
59,84	99,91	2	426,31	3	12	7	10	70
59,84	99,91	2	426,31	4	16	10	13	67

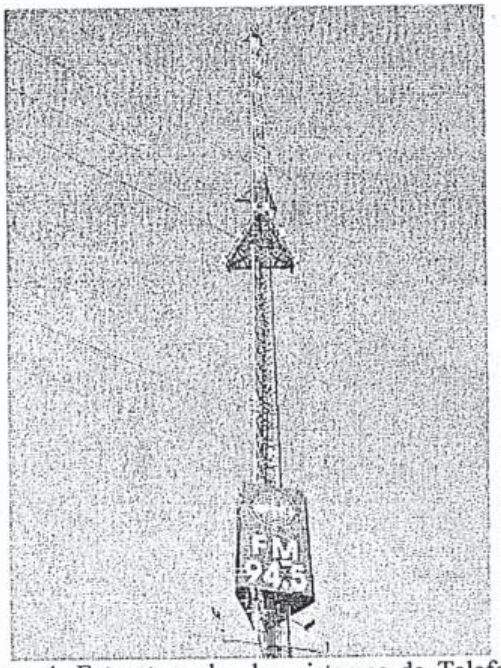


Figura 4. Estructura de los sistemas de Telefonía Celular y Radio FM instalada en el predio.

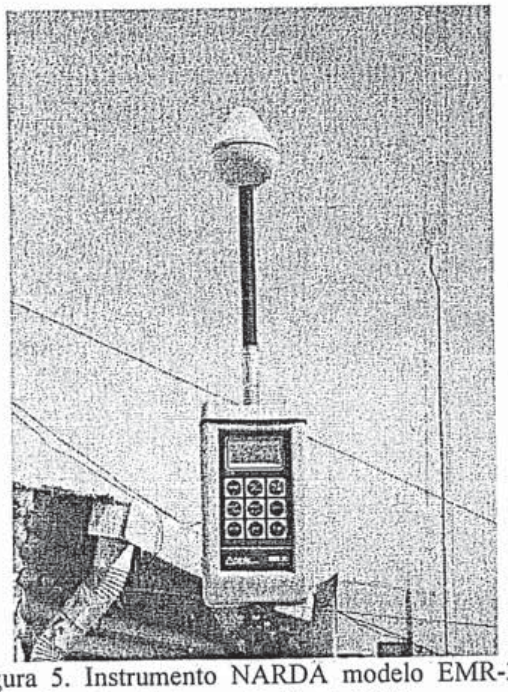


Figura 5. Instrumento NARDA modelo EMR-300 calibrado y Sonda de medición de RNI.

5. REFERENCIAS

[1] Comisión Nacional de Comunicaciones. Seminario Normas y principios de Seguridad RNI]. Centro Argentino de Ingenieros. 2001 y Resol 3690-1994.

[2] J. Hilera, V. Martinez, "Redes Neuronales Artificiales [RNA]", Fundamentos, modelos y aplicaciones; RA-MA 1995.

[3] Ministerio de Salud y Acción Social. Publicación Resolución 202/95.

[4] A. Portela, J. Skvarca., E. Matute Bravo, L. Oureiro. "Manual de estándares de seguridad para la exposición a radiofrecuencias comprendidas entre 100KHz y 300GHz". Volumen I y II. Dirección Nacional de Calidad Ambiental 2000.

[5] Secretaría de Comunicaciones de la Nación, Publicación Resolución 530-SEC-2000

[6] Organización Mundial de la Salud - Oficina Panamericana de la Salud [OMS/OPS], Proyecto Internacional Sobre campos Electromagnéticos - efectos en la Salud y el medio Ambiente de la exposición a CE. Pag. Internet www.who.int/emf.

Indicadores de desarrollo y su influencia en el nivel de carbono atmosférico

S. E. Puliafito & H. Cremades

epuliafito@frm.utn.edu.ar & hebe.cremades@frm.utn.edu.ar
Grupo Estudios Atmosféricos y Ambientales, FRM-UTN / CONICET

RESUMEN: El mundo está experimentando una importante transición demográfica, que impactará en el crecimiento económico y en consecuencia en la demanda de energía mundial y en las emisiones de carbono a la atmósfera, conllevando a su vez un significante cambio climático. Este trabajo presenta los resultados de un modelo conceptual dinámico que vincula las principales variables de estado de población y economía a los procesos atmosféricos, terrestres y oceánicos que equilibran los flujos y niveles naturales de carbono. El modelo calcula por primera vez, desde el año 1850 hasta el año 2200, población mundial, PBI, PBI per capita, consumo de energía, emisiones de carbono y su impacto en el nivel global carbono distribuido en atmósfera, océano, suelo y vegetación. Como estudio de aplicación, éste artículo propone tres escenarios con diversos mecanismos de realimentación, para evaluar las consecuencias en varios indicadores de desarrollo y su implicancia en la concentración de dióxido de carbono y la temperatura media global superficial atmosféricos. Las temperaturas de estabilización se calculan respectivamente para cada escenario, de igual modo que los niveles de dióxido de carbono en los principales reservorios: vegetación, océanos y atmósfera así como sus posibles efectos de realimentación en población y producto económico.

Palabras clave: dinámica poblacional – crecimiento económico – carbono atmosférico – realimentación clima-carbono – modelo integrado

ABSTRACT: The world is experiencing an important demographic transition, which will impact on economic growth and therefore on world primary energy demand and on the carbon emission to the atmosphere, which may lead to an important climatic change. We are reporting on the results of a dynamic conceptual model which links the main population and economics state variables to the natural atmospheric, terrestrial and oceanic processes that balance the natural carbon levels and fluxes. This model first computes from the year 1850 through to the year 2200, world population, GDP, GDP per capita, energy consumption and carbon emissions and their impact on the global carbon budget through the atmosphere, ocean, soil and vegetation. As an application study, this article proposes three case scenarios, with diverse feedback mechanisms to evaluate the consequences on several economic pathways of development and their implication on carbon dioxide and global mean surface temperature increase in the atmosphere. The stabilization temperatures are accordingly calculated for each scenario, as well as the levels of carbon dioxide in the major reservoirs, i.e. vegetation, oceans and atmosphere, together with their possible feedback effects on human population and economic output.

Key Words: Population dynamics – economic growth – carbon budget – carbon-climate feedback – integrated model

1 INTRODUCCIÓN

En los dos últimos siglos, los parámetros demográficos principales han cambiado de manera drástica, llevando a una persistente proliferación de la población mundial. Lógicamente, el crecimiento poblacional juega un papel muy importante en el crecimiento económico. A su vez, los parámetros asociados al cambio climático, tales como demanda de energía y emisiones de gases de efecto invernadero cambian correspondientemente. En el mundo actual, gobiernos y entidades intergubernamentales se beneficiarían enormemente de la habilidad de poder vaticinar niveles futuros de parámetros relacionados con el cambio climático, con el fin de establecer políticas de mejora. Por ende, el desarrollo de modelos integrales que permitan dichos pronósticos se ha vuelto de gran relevancia.

Las relaciones entre estos indicadores pueden ser más complicadas de lo que parecen, por ej. aunque el crecimiento poblacional sea visto como retardador del progreso económico [1], también incrementaría la cantidad de consumidores y de trabajadores asignados a la investigación y a la actividad productiva. La correcta interpretación de la relación entre población y PBI, contribuiría a su vez a predecir otros factores importantes relacionados con el cambio climático: consumo de energía primaria y emisiones de carbono. Las relaciones causales entre PBI y estos indicadores han sido analizadas intensivamente (ver por ej. [2] y [3]), y entregado resultados contradictorios, sugiriendo una relación más compleja entre estas variables. Una discusión más amplia de las implicancias del modelo ha sido mencionada en [4].

El presente trabajo trata a la dinámica poblacional mundial y al crecimiento económico como un sistema dinámico de especies en competencia, descripto por un grupo de ecuaciones diferenciales ordinarias. El consumo de energía y las emisiones de carbono se deducen de sus interrelaciones con la dinámica poblacional y el crecimiento del PBI. Las cuatro ecuaciones diferenciales, acopladas entre sí, son capaces de representar el comportamiento de los cuatro indicadores de desarrollo tratados en este estudio de forma realista. Los valores modelados se ajustan a los datos disponibles de los últimos ~150 años, mientras que los valores simulados a futuro se corresponden con proyecciones de agencias ambientales internacionales (ver [4]). De esta manera, se intenta comprender mejor los procesos que marcan el comportamiento de los parámetros involucrados, así como también sus constantes de tiempo y sus niveles de estabilización.

Por otra parte, se determina el impacto de las emisiones globales de carbono en la concentración atmosférica de CO_2, y su realimentación en el desarrollo económico mismo. Este aspecto se ha resuelto introduciendo un modelo conceptual de flujos de carbono, para calcular niveles de CO_2 atmosférico a partir de emisiones provenientes de actividad natural y antropogénica. Los modelos de este tipo apuntan a equilibrar las emisiones de carbono antropogénica con los incrementos anuales de carbono en la atmósfera, océanos, y tierra. Varias versiones del ciclo de carbono han sido propuestas por la comunidad científica (ver por ej. aquellas compiladas por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático, IPCC; [5],[6]). Por ende, el objetivo de este estudio no es balancear el ciclo de carbono, sino comprender cómo las tasas de cambio en población, PBI, demanda de energía y emisiones de carbono impactan en la concentración de CO_2 atmosférico en un contexto global.

2 DATOS EMPLEADOS

Varias fuentes de datos fueron consultadas para confrontar los resultados de las simulaciones. Cuando fue posible, se compilaron datos hacia atrás hasta el año 1850. Los intervalos vacíos fueron llenados manualmente y a través de promedios corridos o series exponenciales dependiendo de la naturaleza de la curva. Estadísticas históricas de población mundial y PBI fueron obtenidas de http://www.ggdc.net/maddison/ en el Centro Groningen de Crecimiento y Desarrollo (GGDC). El PBI es medido en dólares Geary-Khamis Internacionales de 1990. Los datos de consumo de energía fueron obtenidos de la Reseña Estadística de Energía Mundial compilada por la British Petroleum en 2007, cubriendo los años 1965-2006 (http://www.bp.com/statisticalreview). Otros compendios de datos (por ej. [7]) también fueron consultados. Las emisiones de carbono debidas a la quema de combustible fósil fueron obtenidas del Centro de Análisis de Información de Dióxido de Carbono (CDIAC, [8]).

La unidad empleada por el modelo para medir consumo de energía es el Exa Joule (1 EJ $=10^{18}$ J = 0.9478 QBtu), mientras que las emisiones de carbono son expresadas en PgC (1Pg $=1$ Gt $=10^{15}$g ó un millón de toneladas de carbono equivalente).

El segundo bloque del modelo, responsable del cálculo de la concentración de CO_2 atmosférico, requiere el conocimiento de flujos de carbono y niveles de los distintos reservorios. Los niveles presentes y pasados de los mayores reservorios de carbono, como también los flujos entre ellos, fueron obtenidos del último Reporte de Evaluación del IPCC [9]. Los reservorios fueron organizados principalmente de acuerdo con la estructura sugerida por [10], donde vegetación, suelo y restos son tomados como entidades separadas. Los niveles resultantes de CO2 atmosférico fueron contrastadas con datos derivados de núcleos de hielo de Law Dome hasta 1957 [11], y para el período 1958-2004 con datos del Observatorio de Mauna Loa [12].
Los flujos de carbono que surgen del modelo de circulación de carbono también fueron comparados con datos provenientes de otros estudios. Dichos parámetros incluyen: flujo de carbono a la atmósfera debido a cambios en el uso del suelo [13], absorción oceánica [14], y acumulación en la atmósfera [13]. Datos de anomalía de temperatura atmosférica global inicialmente empleados por el modelo fueron obtenidos de [15].

3 DESCRIPCIÓN DEL MODELO

3.1 *Indicadores de desarrollo*

El modelo desarrollado parte de las relaciones de Lotka-Volterra (ver [16] y referencias dentro). Las ecuaciones fundamentales empleadas por el modelo, describen la dinámica de dos o más especies en interacción a través de dos o más ecuaciones diferenciales ordinarias acopladas. El modelo básico está expresado por:

$$\begin{cases} \frac{1}{p}\frac{dp}{dt} = \alpha_1 + \alpha_2 f + \alpha_3 x \\ \frac{1}{x}\frac{dx}{dt} = \beta_1 + \beta_2 f + \beta_3 p \end{cases} \quad (1)$$

Donde p es la población de una especie (en este caso población mundial), x la población de la segunda especie (PBI mundial per capita) y dp/dt y dx/dt sus respectivos cambios anuales. Los coeficientes α_1 y β_1 representan tasas de cambio de población y PBI per capita, mientras que α_3 y β_3 son los mecanismos de control principales en este set de ecuaciones. La respuesta funcional f representa la influencia de la capacidad de carga y la variación del sustrato en la tasa de crecimiento de las especies consideradas. En este análisis, f está caracterizada por el PBI mundial g, ya que los cambios más positivos en cultura y tecnología surgen en escenarios con una tasa creciente de PBI. Los coeficientes α_2 y β_2 funcionan como impulsores de los indicadores que afectan en el largo plazo. Esta combinación de coeficientes permite una gran flexibilidad en la dinámica de las variables simuladas.
Para comprender los efectos posibles de las emisiones de carbono, el consumo de energía, o los niveles atmosféricos de CO_2 en la población, se incorporan realimentaciones explícitas como términos adicionales en las ecuaciones (1), por ej.:

$$\frac{1}{p}\frac{dp}{dt} = \alpha_1 + \alpha_2 f + \alpha_3 x + \alpha_4 e + \alpha_5 c + \alpha_6 q \quad (2)$$

Donde el consumo de energía está simbolizado por e, las emisiones de carbono por c, y la concentración de carbono atmosférico por q. Los coeficientes que los acompañan y su signo una vez más determinan el tipo de efecto atribuido a cada término. Los niveles de carbono atmosférico q surgen de la interacción con el modelo de circulación de carbono descripto en la sección 3.2.
Las variaciones en energía e y las emisiones de carbono c también muestran un comportamiento vinculado con el PBI per capita y/o el crecimiento poblacional. Del análisis de las series de datos para el período 1850-2000, surge que las tasas de cambio anuales de e y c también siguen los cambios anuales de p y x (ó g). Por ende, sus cambios anuales pueden ser expresados como:

$$\begin{aligned} \frac{de}{dt} &= \varepsilon_1 \frac{dp}{dt} + \varepsilon_2 \frac{dx}{dt} \\ \frac{de}{dt} &= \sigma_1 \frac{dp}{dt} + \sigma_2 \frac{dx}{dt} \end{aligned} \quad (3)$$

Un decrecimiento de la población provocará una reducción en el consumo de energía, pero una producción económica mayor conllevará una mayor demanda energética. Países menos desarrollados poseen mayor demanda de energía propulsada por su demanda poblacional, pero países desarrollados con población estabilizada tienen mayor demanda de energía regida por un creciente producto per capita. Igualmente que en la ecuación (2), pueden agregarse más términos (por ej. dg/dt) para estudiar los efectos de reducción del consumo de energía por inversión en tecnología o por cambios en las tasas de PBI.

3.2 *Concentración de carbono atmosférico*

El modelo de indicadores de desarrollo está inherentemente vinculado a los niveles de carbono en la atmósfera, como fue mencionado anteriormente. Las emisiones estimadas por dicho modelo evidentemente impactarán en los niveles de carbono atmosféricos, los cuales a su vez pueden afectar la sociedad, por ejemplo a través de una disminución en población o una reducción en consumo de energía per capita debido a concientización de la población. Por ello, las realimentaciones sugeridas son indispensables para comprender nuestra atmósfera cambiante. Un modelo simple que emula el ciclo global de carbono sirve de punto de partida para averiguar la cantidad de carbono acumulada en la atmósfera debido a actividad antropogénica. Considerando que el ciclo de carbono "natural" está balanceado, en las simulaciones de este enfoque sólo se tiene en cuenta la contribución antropogénica.

El ciclo global de carbono es simulado por un conjunto de reservorios de carbono con niveles y flujos antropogénicos particulares para un instante específico en el tiempo. La porción terrestre consta de cuatro reservorios: vegetación, materia orgánica, suelo, y aguas continentales. La porción oceánica puede ser dividida en dos: el motor físico y el motor biológico. El motor físico precisa olas (océano superior) y corrientes oceánicas (océano profundo) para lograr el intercambio de carbono, mientras que el motor biológico transfiere el carbono en su forma reducida a través de la conversión llevada a cabo por el fitoplancton (biología marina). Eventualmente, una fracción del carbono circulante será almacenado en forma de sedimentos por millones de años. Las reservas de combustible fósil actúan como la mayor fuente de emisiones antropogénicas.

Mencionados los reservorios principales, pueden enumerarse los flujos antropogénicos asociados a ellos. La mayor contribución de carbono está dada por el flujo de carbono correspondiente a combustibles fósiles. Otros flujos de carbono antropogénico incluyen las emisiones debidas al cambio en el uso de suelo, intercambios bidireccionales entre atmósfera y océano, y un sumidero terrestre. Dichos flujos entre ecosistemas terrestres, océanos y atmósfera quedan descriptos por un grupo de ecuaciones diferenciales de primer orden de la forma:

$$\frac{dN_i}{dt} = \lambda_{ji} \cdot N_j - \lambda_{ik} \cdot N_i \qquad (4)$$

Donde N indica el nivel de carbono medido en PgC para un reservorio i, y λ representa tasas anuales de intercambio entre reservorios (año^{-1}), por ej. λ_{ji} es la tasa de intercambio del reservorio j al i y λ_{ik} la tasa del reservorio i al k. Ejemplos específicos pueden encontrarse en [4].

El modelo además permite compensar algunas tasas anuales por fluctuaciones de temperatura, a través de datos de anomalía de temperatura para el período 1850-2000. De la misma manera, puede emplearse el índice de oscilación austral (SOI) para corregir cambios atmosféricos. La anomalía de temperatura global superficial atmosférica está relacionada con el nivel de carbono atmosférico a través de:

$$\delta T = T_S + T_C \frac{dN_a}{dt} + T_A N_a \qquad (5)$$

Donde T_S, T_C y T_A representan el cambio de temperatura, la amplitud de los cambios de carbono atmosférico y la amplitud de carbono atmosférico. N_a es el nivel de carbono en atmósfera.

4 RESULTADOS Y ANÁLISIS DEL MODELO PARA TRES ESCENARIOS

El modelo propuesto tiene como objetivo comprender las relaciones no lineales entre cambios poblacionales, de PBI y PBI per capita en conexión con el consumo de energía primaria y las emisiones de carbono. Asimismo, se pretenden modelar los flujos entre las principales fuentes y sumideros del planeta, para obtener una aproximación de las cantidades de dióxido de carbono que maneja cada uno.

Con los dos principales módulos del modelo calibrados y produciendo buenas aproximaciones a los datos, se ensayaron tres casos diferentes. Para cada corrida del modelo se fijaron los coeficientes del año 1850 al 2015, y a partir de allí unos pocos parámetros fueron cambiados para representar tres casos posibles: demanda alta de energía no controlada (Caso 0), demanda media de energía con bajo nivel de control (Caso 1) y bajo nivel de emisiones de carbono con un mecanismo de control de alta realimentación (Caso 2).

El balance de carbono global claramente cambiará para cada escenario, dependiendo fundamentalmente del flujo de carbono a la atmósfera debido a la quema de combustibles fósiles. La Fig. 1 representa la cantidad de carbono emitido (absorbido) por las fuentes (sumideros) de carbono, para cada uno de los casos estudiados, para el período 1850-2100. Ya que

el Caso 0 representa una trayectoria de desarrollo con altos consumos de energía y emisiones de carbono sin mecanismo de control alguno, las emisiones debidas a combustibles fósiles crecen indiscriminadamente, superando los 25 PgC en el año 2100. En el Caso 1 se aplica un mecanismo de control gradual de emisiones de carbono, que rige desde 2015 y es completamente alcanzado 50 años después. Para este caso, las emisiones por combustibles fósiles apenas sobrepasan los 20 PgC hacia el 2100. El logro de esta disminución puede ser interpretado como resultado de inversión en mitigación o adaptación, o bien en eficiencia tecnológica para reducir el consumo de combustibles fósiles o las emisiones a la atmósfera. En el Caso 2, se implementa una reducción drástica de los parámetros en cuestión. Los coeficientes de control, que implican una inversión extra per capita por cada 100 ppm de CO_2, se aplican en el año 2015 y entran totalmente en vigor 75 años después. Con esta configuración se logran bajar las emisiones por combustibles fósiles a 15.3 PgC en el año 2100.

En los tres casos puede observarse que las emisiones por cambios en el uso de suelo tienden a disminuir gradualmente a partir del ~2020, debido a la estabilización de la población prevista por el modelo (ver [4]). El balance neto de los océanos resulta ser de absorción, de allí que aparece en Fig. 1 con signo negativo. En la actualidad la absorción oceánica está en aumento, pero tiende a saturarse hacia el 2050 y así permanece hasta el 2100, independientemente del mecanismo de control empleado. Esto resulta en un incremento de la acumulación de carbono en la atmósfera, evidente en los tres casos: aumentando sin pausa en el Caso 0, estabilizado en el Caso 1, y disminuyendo en el Caso 2 debido a la política implementada. El sumidero restante se atribuye a un flujo de carbono residual, que debe su existencia a la diferencia neta entre fuentes y sumideros, y representa además el flujo neto resultante del intercambio de carbono con el reservorio terrestre.

Al contrastar las estimaciones del modelo con los balances calculados por otros autores [10],[17],[18], se observan flujos similares para iguales períodos.

El resultado de las fuentes y sumideros de carbono conlleva un aumento en la concentración de dióxido de carbono atmosférico. Este último se ha representado en la Fig. 2 en función de la emisión anual de carbono per capita, expresada en toneladas por cada habitante. En el Caso 0, la emisión anual de carbono per capita llega a las 6,5 toneladas, implicando una concentración de CO_2 atmosférico de 1700 ppm. Aplicando el mecanismo de control propuesto por el Caso 1, si bien se logran reducir las emisiones a partir del año 2130, no se llega a una reducción de la concentración de dióxido de carbono atmosférico hasta al 2200, con un valor de 970 ppm. Por otro lado, bajo las condiciones impuestas al Caso 2, el nivel de CO_2 en atmósfera disminuye progresivamente a partir del año 2120, relacionado con una drástica reducción de las emisiones de carbono per cápita, y llegando a 560 ppm en 2200.

En la Fig. 3 se ha representado la anomalía global de temperatura media superficial atmosférica, calculada a partir de los niveles de carbono atmosférico a partir de la ecuación (5). Los valores simulados hasta el 2000 no sólo se corresponden bien con los valores estimados por [16], sino también con su fase. En el Caso 0, la temperatura crece hasta la fecha de finalización de las simulaciones. Para los Casos 1 y 2 la anomalía de temperatura se estabiliza en valores aproximados de 2.5 y 1.5°C respectivamente, para luego disminuir gradualmente.

5 CONCLUSIONES

Los avances en tecnología y conocimiento han iniciado una importante transición, caracterizada por un aumento de la expectativa de vida, conllevando posteriormente un estancamiento de la población y disminución de la tasa de natalidad. Por otro lado, este efecto fue propulsado por el uso masivo de combustibles fósiles, que llevó a niveles crecientes de emisiones de carbono a la atmósfera. La cantidad de emisiones antropogénicas ciertamente está perturbando los sumideros naturales de carbono e incrementando los niveles atmosféricos, con consecuencias climáticas todavía inciertas.

En este trabajo se reportan resultados de un modelo conceptual dinámico que vincula las principales variables poblacionales y económicas a los procesos naturales atmosféricos, terrestres y oceánicos que equilibran los niveles y flujos de carbono. El modelo está organizado en dos módulos: el primero calcula población, PBI, PBI per capita, consumo de energía y emisiones de carbono; el segundo calcula el balance de carbono en atmósfera, océano, suelo y vegetación. Se ha cuantificado la porción de carbono de origen antropogénico absorbida por océanos, por sumideros terrestres y finalmente acumulada en la atmósfera. A partir de esta última se estimaron la concentración de dióxido de carbono atmosférico y los cambios de temperatura. Estos resultados fueron realimentados en el módulo económico, para estudiar sus efectos en los principales indicadores.

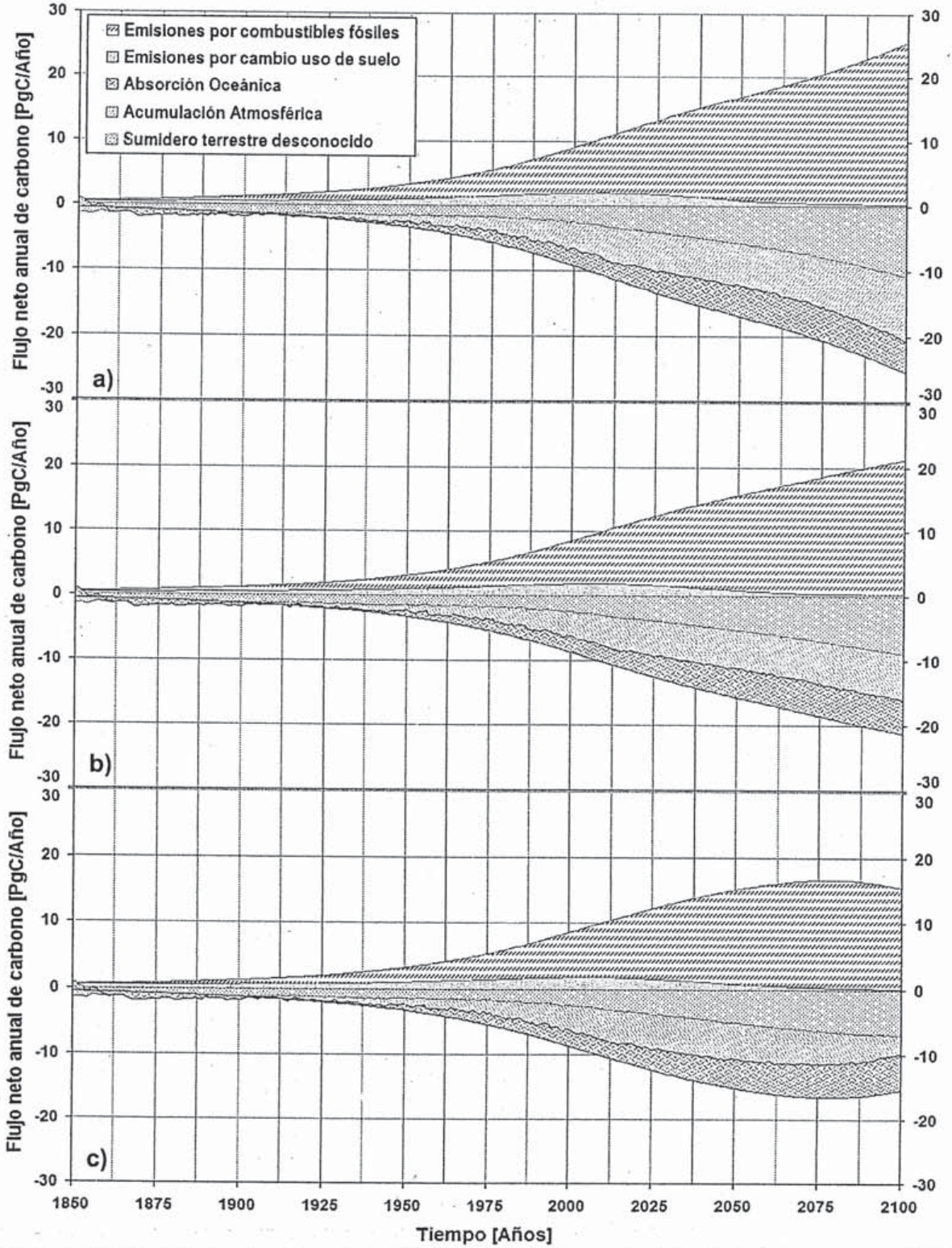


Figura 1. Flujos netos anuales de carbono [PgC/año] de cada uno de los principales reservorios. Flujos positivos denotan fuentes de carbono (emisiones por combustibles fósiles y por cambio de uso de suelo), mientras que los flujos negativos constituyen sumideros (absorción oceánica, atmosférica y terrestre). Las figuras a), b) y c) corresponden a los casos analizados 0, 1, y 2 respectivamente.

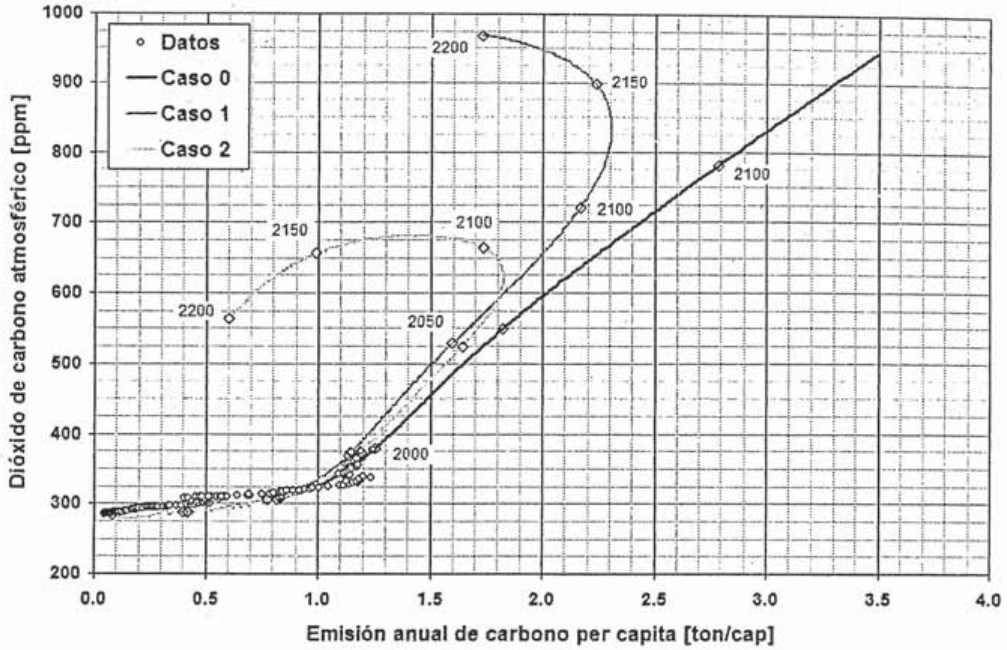


Figura 2. Concentración de dióxido de carbono atmosférico [ppm] en función de la cantidad anual de carbono [ton] emitido per capita. Los puntos corresponden a datos tomados de [8],[11] y [12], mientras que las líneas continuas representan los distintos casos modelados: línea negra, caso 0; línea gris oscuro, caso 1; línea gris claro, caso 2. Las etiquetas indican años.

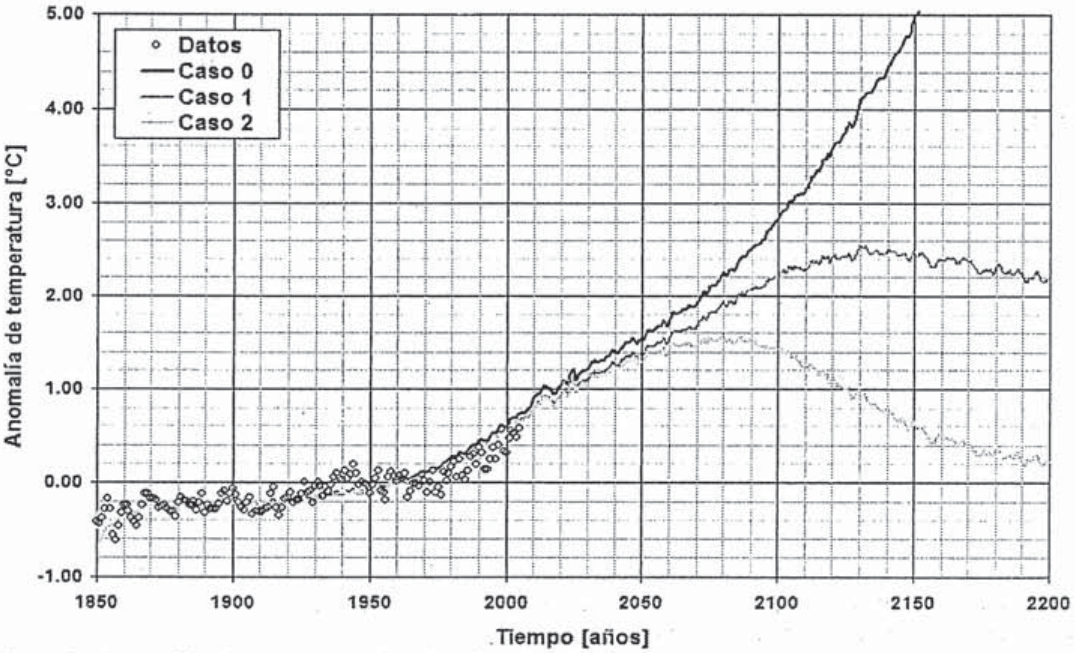


Figura 3. Anomalía de temperatura [°C] en función del tiempo. Los puntos corresponden a datos tomados de [15], mientras que las líneas continuas representan los distintos casos modelados: línea negra, caso 0; línea gris oscuro, caso 1; línea gris claro, caso 2.

El modelo ofrece flexibilidad para estudiar distintas opciones de reducción de carbono, aplicables a diferentes épocas e intervalos de tiempo. Se presentan tres casos para evaluar sus implicancias en

indicadores de desarrollo y en los aumentos de dióxido de carbono y temperatura atmosféricos. El Caso 0 contempla el peor escenario de emisiones, sin mecanismo de control, demostrando la ausencia de estabilización de CO_2 hasta el año 2200 y llegando a un aumento de temperatura de 5°C. El Caso 1 representa un escenario más probable, con un lazo de realimentación. Así se lograría estabilizar el CO_2 atmosférico a partir de ~900 ppm, asociado a emisiones de carbono de ~20 PgC en el 2100. La máxima anomalía de temperatura alcanzada por este caso es de 1,5°C, alcanzada en 2130. Finalmente, el último caso analizado produjo drásticos descensos en población, PBI, energía y emisiones de carbono (máximo de 16 PgC en 2080), llevando a una concentración atmosférica de CO_2 de 560 ppm y una anomalía máxima de temperatura de 1,5°C.

6 REFERENCIAS

[1] R. Solow, A Contribution to the Theory of Economic Growth, Quarterly Journal of Economics, 70;65–94, 1956.

[2] B.-N. Huang et al., Causal relationship between energy consumption and GDP growth revisited: A dynamic panel data approach, Ecological Economics, in press, 2007.

[3] A. Richmond, R. Kaufmann, Is there a turning point in the relationship between income and energy use and/or carbon emissions? Ecological Economics 56:176-189, 2006.

[4] Puliafito, S. E., Cremades, H., Trayectorias de consumo energético y de emisiones de carbono, in: Proceedings EnIDI 2007, Mendoza, Argentina, 2007.

[5] I.C. Prentice et al., The carbon cycle and atmospheric carbon dioxide, in: Houghton et al. (eds) Climatic change 2001: Scientific Basis: Contribution to the 3rd Assessment Report of IPCC, Geneva, 241-290, 2001.

[6] K. Denman et al., Couplings Between Changes in the Climate System and Biogeochemistry, in: Solomon, Qin, Manning, et al. (eds) Climate Change 2007: Physical Science Basis. Contribution to the 4th Assessment Report of IPCC, Cambridge Univ. Press, 501-568, 2007.

[7] Grübler, Energy transitions, in: C.J. Cleveland (ed.) Encyclopedia of Earth, Environmental Information Coalition, National Council for Science and the Environment, D.C., 2008.

[8] G. Marland, T. Boden, R. Andres, Global, Regional, and National CO_2 Emissions, in Trends: A Compendium of Data on Global Change. CDIAC, ORNL, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., 2007.

[9] IPCC, Climate Change 2007. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, in: R.K. Pachauri, A. Reisinger (eds.) IPCC, Geneva, Switzerland, 2007.

[10] R. Houghton, Balancing the global carbon budget, Annu Rev Earth and Planet Sci 35: 313-347, 2007.

[11] D. Etheridge, L. Steele, R. Langenfelds et al., Historical CO_2 records from the Law Dome DE08, DE08-2, and DSS ice cores, in Trends: A Compendium of Data on Global Change. CDIAC, 1998.

[12] C. Keeling, T. Whorf, Atmospheric CO_2 records from sites in the SIO air sampling network, in Trends: A Compendium of Data on Global Change, CDIAC, ORNL, 2005.

[13] R.A. Houghton, Carbon Flux to the Atmosphere from Land-Use Changes: 1850-2005, in Trends: A Compendium of Data on Global Change. CDIAC, ORNL, Department of Energy, Oak Ridge, U.S.A., 2008.

[14] B. McNeil, M. Matear, R. Key, J. Bullister, J. Sarmiento, Anthropogenic CO2 uptake by the ocean based on the global chlorofluorocarbon data set, Science 299:235-239, 2003.

[15] P.D. Jones, D.E. Parker, T.J. Osborn, K.R. Briffa, Global and hemispheric temperature anomalies-land and marine instrumental records, in Trends: A Compendium of Data on Global Change, CDIAC, ORNL, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, U.S.A., 2005.

[16] S. Puliafito, J. Puliafito, M. Conte-Grand, Modeling population dynamics and economic growth as competing species: An application to CO_2 global emissions, Ecological Economics 65:602-615, 2007.

[17] C. Sabine, R. Feely, N. Gruber, R. Key, K. Lee et al., The oceanic sink for anthropogenic CO_2, Science 305:367-71, 2004.

[18] J. Canadell, C. Le Quéréc, M. Raupach, et al., Contributions to accelerating atmospheric CO2 growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks. PNAS 104:18866-18870, 2007.

Plan estratégico para el desarrollo social, tecnológico y económico sustentable en la provincia del Neuquén mediante la reconversión productiva basada en recursos renovables

Luis F. Sapag & Carlos V.M. Labriola
lfsapag@gmail.com & carloslabriola54@yahoo.com.ar
Regional Académica Confluencia, Universidad Tecnológica Nacional.

RESUMEN: La Región Patagónica posee gran cantidad de Recursos Renovables (RR) y No Renovables (RNR) para obtener beneficio y desarrollo. En 1986 la Provincia del Neuquén fue pionera en Energía Solar Fotovoltaica para regiones aisladas y en Geotermia con una central prototipo en Caviahue. El petróleo y gas (30% y 40% de la producción Argentina respectivamente) son los principales RNR en Neuquén. La comunidad posee un alto desequilibrio social; los altos salarios de los trabajadores del petróleo contrastan con los bajos ingresos de los chacareros y crianceros. La dependencia de la economía provincial de regalías producidas por RNR preocupa al Estado provincial, que procura cambiar la Matriz de Producción desde lo extractivo no renovable a lo agropecuario-industrial y desarrollo de RR. Se estima que existen reseras de RNR sólo para una década. Este trabajo focaliza los procesos de transferencia de tecnologías desde instituciones académicas a las privadas, financiadas por los Estados Provincial/Nacional. La interacción academia-estado-comunidad-privados es pensada para obtener procedimientos sustentables amigables con el ambiente. Se promueven oficinas gubernamentales de control del desarrollo social-tecnológico-económico y transferencia con seguridad y justicia. La implementación del programa ha comenzado en febrero del 2008 con expectativas positivas de los actores.

Palabras clave: Desarrollo, sustentable, estrategias, consenso, Neuquén.

ABSTRACT: Patagonia Region is a place which has a lot of Renewable (RS) and Non Renewable Sources (NRS) to obtain profit and development. In 1986 Neuquén province was pioneer in PV Solar applications for isolated rural areas and Geothermal power station prototype application in Caviahue. Oil and gas (30% and 40% of the Argentinean production respectively) are the principal NRS in Neuquén. The community has high social disequilibrium; high oil workers salaries facing low farmers' incomes. The dependence of provincial economies on taxes on NRS production concerns to Governments because it is known there will be oil reserves for about 10 years. Neuquén Government is trying to change the Production Matrix from Extractive NRS Industries to agricultural-cattle industries and RE developments. This tries to focus on transferring Technology from Academic to Private Institutions, financed at the initial stages by Provincial/National Government. That interaction academic-private-community-government is meant to be obtained as result of consensual and sustainable procedures friendly with environment. Governmental control offices are needed to supervise the sustainable social-technological-economical development and transference in a frame of security and justice. The implementation of this procedure has begun February 2008 with great expectation and participation of all actors.

Key words: Development, sustainable, strategies, consensus, Neuquén

1 INTRODUCCIÓN

La región patagónica Argentina es un lugar de importantes recursos Renovables y No Renovables. La región Comahue, compuesta por Neuquén y Río Negro, en especial posee muchos de ellos. En ese territorio, entre los recursos renovables (RS), se dispone de buen viento, intensa radiación solar, fuentes geotérmicas y grandes instalaciones hidráulicas (4.640MW de potencia instalada). Por otro lado, la zona ha desarrollado sus Recursos No Renovables (NRS), produciendo el 30% del petróleo y el 40% del gas consumido en la Argentina, respectivamente. Además, la generación térmica en ciclos combinados alcanza una potencia instalada de 1.250MW [1]. De esta manera es la tercera productora de petróleo y la primera productora de gas del país, gracias a la existencia de 17.000 pozos petrolíferos y gasíferos.

Existe la disponibilidad de un tercio del sistema de Ultra Alta Tensión de 500kV (4000km), lo que permite abastecer con electricidad abundante y barata a Neuquén, Río Negro, La Pampa y el 75 % de Buenos Aires, con un excedente nocturno para el Litoral y Centro del país. Se aclara que sólo 200 MW de los 4640 MW instalados son destinados para alimentar la provincia de Neuquén.

Paradójicamente, la provincia del Neuquén, es pletórica de Recursos Naturales Renovables [2], pero se ha desarrollado casi exclusivamente a partir del aprovechamiento de la renta petrolera, por lo que necesita imperiosamente cambiar su matriz productiva para darle sustentabilidad a sus ingresos. El actual gobierno ha comenzado un serio esfuerzo estratégico y político -en el sentido institucional del término- en esa dirección, apelando a la creación y captación de conocimientos adecuados para un programa de innovaciones productivas de vasto alcances, que más abajo se explicita.

Se han detectado y computado amplios recursos y reservorios de RS:

- Desde 1980 se han explorado y evaluado dos cuencas geotermales importantes (Copahue - Caviahue y Domuyo) y en la primera se instaló en 1986 una usina prototipo de 760kW, para experimentación, con muy buenos resultados.
- Existen muchas repetidoras de comunicaciones e instalaciones en el interior provincial funcionando con energía solar fotovoltaica y se han instalado varios cientos de equipos solares en viviendas rurales sin acceso a las líneas de distribución eléctrica.
- Las potencialidades en energía eólica son destacables. A través e la iniciativa del Centro Regional de Energía Eólica, Rawson Chubut, se ha realizado el mapa eólico de la Provincia del Neuquén, presentado en junio del 2007 [3], destacándose Trabajos Finales de alumnos de Ingeniería de la Universidad del Comahue. De esta manera el Estado provincial posee un mapeo de los recursos eólicos a disposición de los inversores. Existe una turbina de 100/400KW en producción, en las cercanías de Cutral Co, que fue pionera en la región en el sector de propiedad no estatal.
- Respecto de recursos para biocombustibles, prospera un emprendimiento privado para la adaptación de soja transgénica a la región, con un experimento exitoso de 20 hectáreas ya en producción.
- Existen algunas mini y micro centrales hidráulicas para poblaciones rurales dispersas en la cordillera y en canales de riego.
- Los mencionados emprendimientos hidráulicos no agotan las posibilidades regionales, que esperan para ser explotadas racionalmente.

En este panorama se evidencia una contradicción: disponiendo de amplios recursos naturales, en Neuquén sólo se han desarrollado extensamente las NRS y la energía hidráulica en grandes potencias para abastecimiento del mercado nacional, dejando abierto el desafío de desarrollar los recursos sustentables y amigables con el medio ambiente.

También en esos grandes desarrollos hidráulicos queda la asignatura pendiente del incremento de irrigaciones de grandes áreas cultivables aprovechando los reservorios de las presas.

2 SITUACIÓN SOCIO-ECONÓMICA

Como resultado de la larga historia Argentina como restringido exportador de bienes primarios con poca industrialización [4], la Patagonia, subdesarrollada y sólo proveedora de insumos energéticos y alimenticios, posee un alto desequilibrio social y territorial. La estructura básicamente de enclave de las explotaciones NRS, con propietarios y gestores ausentes en la región que exportan la mayoría de los excedentes, es el fundamento de tales desequilibrios [5]. En esas condiciones ni la Argentina ni la Patagonia pueden imponer precios y condiciones de comercialización. Por similares motivos, en el mercado laboral las empresas extractoras de petróleo y gas pagan sueldos altos, que contratan con los bajos ingresos que detentan chacareros y crianceros (aparentemente independientes, pero que dependen

de mercados externos), lo que también acontece con los trabajadores de otros rubros. Hay además gran cantidad de trabajadores en la franja informal que quedan excluidos del mercado laboral. El conjunto de procesos de desigualdad cristaliza en una dinámica de fuerte concentración urbana y de inversiones en zonas muy restringidas.

La renta petrolera que pudo captar el Estado provincial desde 1963 (12 % del valor del producto extraído en boca de pozo) le permitió hacer crecer su presencia, interviniendo y liderando la economía y la sociedad a través de la prestación de numerosos servicios, desde la salud y la educación, hasta la distribución de energía a nivel domiciliario, en el marco de un estilo de gestión que se puede asimilar al "estado de bienestar", similar al estilo de los países desarrollados, al que se agrega una amplia participación en las distintas franjas de la producción. Con el paso de los años pudo formar un grupo de profesionales e investigadores capaces de diseñar y poner en marcha estrategias de desarrollo, las que se apresta a cristalizar.

Paralelamente a ese aporte gubernamental, se verifica la ausencia de un sector privado inversor e innovador con capacidad de liderar los procesos de acumulación económica y cultural. La debilidad de los mercados locales y las dificultades que históricamente tuvo, en tanto región periférica, para insertarse en los mercados internacionales, inhibió el crecimiento de ese sector, lo que impide la creación de un mercado de capitales locales y un proceso de inversiones para aprovechar otros recursos naturales, en particular el crecimiento de las RS [6].

Asimismo, los mercados laborales y la cultura productiva en general han cultivado un estilo clientelar, es decir, de dependencia de productores y personas de contratos, créditos, subsidios y empleos creados por el gobierno provincial.

En resumen, el único sector dinámico de la economía local es el Estado provincial, la mayor parte de la renta se traslada al exterior y la inversión innovativa y productiva en rubros generadores de ingresos y empleos no consigue niveles destacables en el Producto Bruto Interno Provincial.

La actual dependencia de las regalías petroleras y gasíferas, no sólo en Neuquén sino también en todas las provincias patagónicas, implica una situación crítica para la sustentabilidad económica porque es bien sabido que las reservas de petróleo y gas comenzaron a transitar el tramo del agotamiento. Algunas fuentes opinan que solo hay reservas para 8 años, aunque el Instituto Argentino del Gas y el Petróleo es más optimista (1 a 12 años) [7]. En pocas palabras, el cambio de la matriz productiva en la región, privilegiando las industrias sustentables y las RS, es imperativo y urgente para alcanzar no solo sustentabilidad económica sino también ambiental.

3 ACTORES DEL DESARROLLO PROVINCIAL

Según lo anterior, los principales actores del desarrollo de Neuquén son:

- Los Estados Nacional y Provincial, que poseen la propiedad de agencias y empresas productoras estratégicas y participación en importantes firmas mixtas.
- Las corporaciones tecnológicas internacionales, entre las que se destacan por su papel clave las empresas energéticas y petroleras.
- Los inversores y productores nacionales y provinciales.
- Las universidades, institutos terciarios y laboratorios, tanto privados como estatales, que aportan RRHH capacitados y nuevas perspectivas para el desarrollo del conocimiento y la innovación.
- Franjas destacadas de la sociedad civil, como pueblos originarios, comunidades rurales, grupos barriales, organizaciones sindicales, grupos defensores del medio ambiente, agrupaciones de género, jóvenes, asociaciones sin fines de lucro, comunidades virtuales y similares, con vocación y espontaneidad para la innovación y la búsqueda de nuevas perspectivas culturales y productivas.

Si se considera la identidad, los intereses corporativos y la capacidad de intervención y de gestión de cada uno de esos actores, se deduce que el Estado provincial es el actor con mayor capacidad y voluntad, por lejos, para transformar la realidad no sustentable de Neuquén. Dispone de un liderazgo político más fuerte que el Estado nacional, por historia y por presencia; ha madurado recursos humanos en cantidad y calidad; y ha diversificado sus agencias y empresas productoras y de servicios [8]. Ha desarrollado en el pasado un eficiente sistema educativo y un sistema de salud que otorga medicina gratis a todos los pobladores; ha construido viviendas para más de un tercio de la población; y produce y distribuye la energía que consumen sus habitantes. Todo ello le ha permitido acumular un importante capital material y simbólico que lo legitima para encarar un nuevo nivel en su política de participación en la economía y la cultura locales, así como generar las condiciones para un proceso de fortalecimiento de los actores privados y, como

consecuencia, un crecimiento en las inversiones en producciones sustentables y RS.
Tradicionalmente los Estados provinciales de un país federal como Argentina, similar por su extensión y su sistema político a EEUU, Canadá y Brasil, no han creado políticas propias en este sentido, siguiendo la tradición de no considerarlas incumbencias del Estado nacional. Sólo una provincia densamente industrializada, Córdoba, ha realizado políticas coherentes y sostenidas en el largo plazo, siguiendo tal paradigma. Neuquén, una jurisdicción comparativamente pequeña, ha decidido innovar en el mismo sentido.

4 ESTRATEGIA Y METODOLOGIA

4.1 *Situación*

Ante ese panorama el Estado provincial, cuya composición se ha renovado con el cambio democrático de gobierno en diciembre del año pasado, ha puesto en marcha un programa de crecimiento económico, desarrollo social y fortalecimiento cultural, donde la creación y transferencia de conocimientos es el eje central de la estrategia, apuntando a crear capacidades inversoras e innovativas en el sector privado y en instituciones de la sociedad civil con identidad propia y "aptitud" para generar proyectos, como pueblos originarios, organizaciones barriales y rurales y ONGs [9].
El Estado provincial no posee las herramientas clásicas utilizadas en la promoción económica, ya que las políticas fiscales están casi exclusivamente en manos del Estado Nacional y las políticas crediticias se limitan a las escasas capacidades del banco y la agencia de créditos provinciales. En cambio, es mucho lo que se puede hacer en la producción y transferencia de conocimientos e innovaciones productivas.
El ente encargado de la discusión, el diseño y la guía de los planes estratégicos y las políticas de desarrollo es el Consejo Provincial de Planificación para el Desarrollo (COPADE) [10]. El mismo posee, desde su creación en 1963, una larga tradición en heurísticas prospectivas, de planeamiento, de formulación, evaluación y seguimiento de proyecto y de innovaciones sociales. La universidad local, el plan de salud y el plan educativo, entre otros, fueron exitosos programas puestos en valor desde el COPADE.
En este momento se encuentra fuertemente comprometido con la instalación de una política de estado en Ciencia, Tecnología e Innovaciones Productivas. Para ello ha puesto en funciones a la Unidad de Gestión de CyT del Gobierno Provincial (UG-CyT), conformada por un equipo de profesionales idóneos comprometidos con el desarrollo local, con la específica misión de diseñar y poner en marcha el programa.
Dicha política también es oportuna en tanto en el ámbito del Estado nacional se acaba de crear el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (MINCYT). Esta importante decisión, de fuerte trascendencia política y económica, ha generado un gran impacto en la opinión pública, demostrando el interés social sobre la I+D. Ello ratifica que en la República Argentina la creación y difusión de conocimiento se está consolidado como política de estado y Neuquén ha asumido el compromiso de afrontar el desafío, apoyando y actuando coordinadamente con las estrategias nacionales.

4.2 *Estrategia*

La concepción que guía la teoría y la práctica del proyecto se apoya en el concepto de "modo 2" de creación de conocimientos [11], por el que se concibe los procesos innovativos como interacciones complejas de las prácticas productivas e investigativas, antes que como procesos lineales que idealmente comenzarían con las ciencias básicas, para seguir con las ciencias aplicadas, las tecnologías y, por fin, las innovaciones. La compleja realidad de regiones como la Patagonia, periférica y desigualmente desarrollada, impone la utilización de las heurísticas de los sistemas complejos para poder aprehenderla y transformarla. Esa concepción de las dinámicas de la innovación está bien representada en el modelo de la "Triple Hélice" [12], que resalta la construcción de relaciones entre la Academia, la Empresa y el Estado. Dicho modelo no resulta extraño para los latinoamericanos, puesto que los pensadores argentinos Sábato y Mackenzie [13] tempranamente postularon el denominado "Triángulo de Sábato" como estilización de las estructuras sociales de la innovación.

4.3 *Metodología*

Más allá de discusiones sobre la originalidad de los conceptos, en Neuquén se busca la conformación de sistemas o redes de innovadores [14], los que conformarían una red comunitaria con iniciativas para la producción y la innovación.
Así, se apunta a la creación de un sistema o Red

Social de Innovación Productiva, de la que participarán todos los actores potenciales de I+D, con un ente mixto que articulará dicha participación. Así el Estado, la academia, las empresas privadas y la sociedad civil conformarán una agencia autárquica con participación equitativa de cada parte, con capacidad de alentar, promover, guiar y financiar las políticas de investigación [15].

5 PLAN DE ACCIÓN

5.1 *El Plan y su concreción*

La UG-CyT está aunando voluntades de los actores citados para poder materializar el proceso descripto en figura 1 sobe el flujo de acciones en el Plan de Acción.

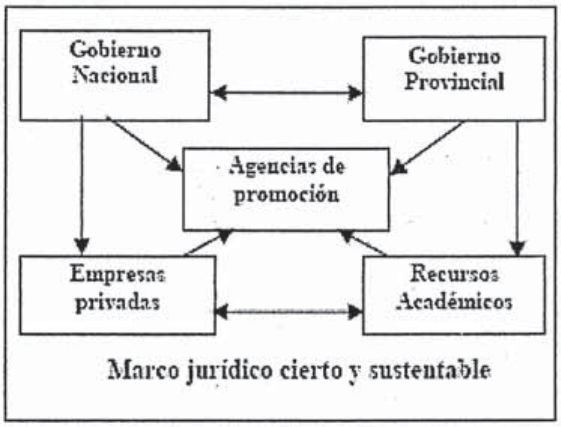


Figura 1. Flujo de acciones en el Plan de Acción [16].

Este Plan de Acción se materializará mediante la constitución de la Agencia de Ciencia, Técnica e Innovación Productiva de la Provincia del Neuquén como elemento articulador, gestor y promotor de la red de innovadores. Para ello la UG-CyT ha puesto en marcha un mecanismo de consultas, debates y formación de consensos a través de reuniones, seminarios y talleres de participación, el cual está en su etapa conclusiva.

Esta primera etapa ha permitido captar y convocar a personalidades pertenecientes a los grupos de actores descriptos los cuales generan ideas y someten ajuicio la mismas en función de su potencial materialización en la región Neuquina.

El Plan de Acción se ha iniciado a partir con las siguientes acciones concretas para:

1. Dar un marco legal y de seguridad jurídica a las acciones de promoción e innovación.
2. Establecer vínculos entre las Universidades locales (del Comahue y Tecnológica Nacional) con el gobierno Provincial y empresas privadas.
3. Articular herramientas económicas para la promoción, generación y adquisición de productos innovadores.
4. Desarrollar canales académico-industriales para la capacitación y generación de RRHH.

Para la concreción de este plan se han definido las siguientes áreas prioritarias del desarrollo económico y cultural:

- Fuentes de Energía no polutivas y sustentables (eólica, hidráulica, solar, geotérmica y biomasa)
- Desarrollo para mitigar y reducir los efectos sobre Cambio Climático,
- Tecnologías de la información y comunicación (TICs), procurando la disminución de la brecha digital y para construir el gobierno conectado y participativo.
- Desarrollo de biotecnología para aplicaciones medicinales y agropecuarias.
- Innovaciones sociales: no todas las novedades son esencialmente tecnológicas; la mayoría de las mejoras que pueden impactar en el crecimiento son resignificaciones sociales de conocimientos existentes.

Estas actividades se proponen dentro de un marco jurídico sustentable, buscando el desarrollo con equidad social y territorial.

Respecto del primer punto del Plan de Acción podemos citar las siguientes leyes aprobadas o en vías de aprobarse al corto plazo, cuya sola enunciación demuestran la seriedad y decisión puestas en juego:

- Ley de creación del Parque Científico Tecnológico de Cutral Co-Plaza Huincul, ya aprobada, Ley Nº 2.590 de junio del 2008.
- Ley de creación del Fondo Fiduciario para el Parque Tecnológico de Cutral Co-Plaza Huincul, con estado parlamentario.
- Ley de creación del Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de Neuquén, con estado parlamentario.
- Ley de creación de la Agencia Provincial de CTeIP, en elaboración en el COPADE.

Respecto del segundo punto del Plan de Acción, se está trabajando para consolidar los vínculos con las Universidad del Comahue y la RAC-UTN. Se han citando a los grupos de investigación de ciencias básicas y aplicadas para contribuir al Polo Tecnológico y a apoyar las industrias incubadas en los Parques Tecnológicos. En particular, para la promoción del Polo Tecnológico de Plaza Huincul-Cutral Có se establecieron las siguientes

áreas de desarrollo innovativo:

- Tecnologías de Información y Comunicación, promoviendo el desarrollo de comunicaciones y centros de información informatizada.
- Desarrollo de procesos para aplicaciones de minerales de alto valor agregado y de uso agroindustrial.
- Desarrollo de dispositivos conversores de Energía Renovable.

Además se está diagramando la creación de otros parques tecnológicos en Neuquén capital y Zapala, para industrias de tecnologías duras, mientras que para las zonas rurales de Junín-San Martín de los Andes y Chos Malal se están planificando centros de I+D e incubadoras rurales.

Paralelamente, el Centro PyME, otra agencia provincial, está articulando nuevas herramientas financieras con los banco es mediante convenios específicos. Se busca financiar y premiar con subsidios proyectos innovadores y otorgar préstamos a tasa conveniente para la adquisición y desarrollo de tecnología y productos del Polo y los parques tecnológicos en formación.

Respecto del cuarto punto del Plan de Acción, la capacitación es no solo la base de la generación de los RRHH para cualquier proyecto, aquí se lo concibe como pilar del cambio cultural, en este caso de la pasividad clientelista a la de motivación creadora e innovadora del emprendedor. El desarrollo de conocimiento para la promoción industrial y productiva involucra no solo acciones a futuro sino que articula otras que ya se vienen realizando, como carreras intermedias de corto plazo. Es el caso de la Tecnicatura Superior en Energía Renovable y Medio Ambiente [17] creada en el 2003 en el ámbito de la RAC para toda la Universidad Tecnológica Nacional.

5.2 *Acciones a futuro*

Como abanico de actividades detectadas a partir de las necesidades manifestadas en las reuniones y debates organizados por la UG-CyT, para ser consideradas de ahora en más, se pueden citar:

- Investigar otras experiencias en materia de construcción de organismos y redes sociales y regionales para la innovación, tanto en el país como fuera de él.
- Convocar a los actores potenciales de la I+D a los efectos de compatibilizar opiniones sobre el diseño institucional;
- Promover nuevas formas de asociatividad y colaboración mutua (clusters y eslabonamientos productivos);
- Captación y creación de nuevos mercados para productos existentes;
- Revalorización de las culturas tradicionales y originarias en función del desarrollo equitativo y sostenible;
- Apoyo al crecimiento de la responsabilidad social empresaria, buscando no sólo la rentabilidad inmediata sino también la inclusión, la igualdad de oportunidades y la educación para una era de incertidumbres;
- Apoyo a la educación motivando según el paradigma de la innovación y del "aprender haciendo" [18].
- Financiamiento de museos de la ciencia y la tecnología, en particular, de parques interactivos y paleontológicos.

En síntesis, el Estado provincial, hoy a través de la UG-CyT y de la Agencia de CTeIP en el futuro cercano, gestiona concreciones para el desarrollo con equidad y sustentabilidad a través de innovaciones productivas y sociales.

5.3 *Consecuencias sobre el Cambio Climático*

La cuestión del Cambio Climático requiere párrafos específicos para dilucidar su importancia y diseñar acciones en concordancia. Aunque Argentina no es considerada nación responsable del cambio climático tiene índices de emisión de CO_2 per cápita superiores a China, India y Brasil (4 a 5 tn de CO_2 anuales por habitante). En el territorio de Neuquén se emiten gases de venteo por las actividades hidrocarburíferas, siendo una de las provincias con mayor pasivo ambiental. Dichas actividades, llevadas a cabo por empresas que son responsables globales del Cambio Climático, está produciendo importantes deterioros en la ecología en toda la Patagonia, un problema que aún no se ha encarado con la atención prioritaria que merece [19]. Por esa situación, los recursos naturales provinciales están en peligro y corresponde actuar con energía, pues se trata de un capital natural en riesgo que está aún desaprovechado, que puede ser el factor básico para generar oportunidades de crecimiento social, tecnológico y económico, y que puede deteriorarse irremediablemente. Se plantea actuar en el marco del creciente consenso mundial sobre la necesidad de actuar sobre el calentamiento global, aprovechando las oportunidades que abre el Comercio Internacional de Emisiones (CIE), con estructuras financieras y comerciales nacionales e internacionales que regulan la negociación y

transferencia de reducciones y eliminaciones logradas de Gases de Efecto Invernadero (GEI).
Bajo el Protocolo de Kyoto se organizaron mecanismos para complementar las medidas nacionales para lograr reducciones concretas de GEI, a largo plazo, mensurables, efectivas y viables en relación a los costos, entre ellos:

- Proyectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), de reducción de emisiones en los que un país industrializado invierte en un proyecto de reducción de emisiones en un país en vías de desarrollo.
- Comercio Internacional de Emisiones (CIE) mediante estructuras financieras y comerciales nacionales e internacionales que permiten la venta o transferencia de reducciones y eliminaciones logradas de GEI.

Obviamente, la provincia del Neuquén es miembro de un país No Anexo I. Con un territorio en su mayoría todavía ecológicamente sano y con abundante agua y tierras aptas para la agricultura, puede posicionarse muy bien en este escenario [20]. Tiene amplios antecedentes forestales para encarar programas de desarrollo que califiquen como MDL y suficiente capacidad de gestión y prestigio internacional como para acceder a programas CIE de financiación por parte de países Anexo I.
Dentro de las actividades de la Red Social de Innovaciones, estos aspectos tendrán relevancia especial. Se ha establecido que el área hidrocarburífera de Cutral Co y Plaza Huincul, donde está instalado el campus de la RAC-UTN, se convertirá en el Polo Tecnológico de Energías Alternativas, a través de un convenio que se ha firmado entre el Estado Provincial, los municipios mencionados y la empresa INVAP, con amplios antecedentes en tecnologías de punta, que está incursionando en energías alternativas.

5.4 *Peligros y debilidades*

Los peligros que Neuquén enfrenta en el mediano y largo plazo surgen de la falta de sustentabilidad y fuerte impacto ambiental de su modelo económico, basado en la actividad petrolera manejada por empresas internacionales, mal controladas por el Estado nacional, que además son las principales generadores de impactos ambientales. Esa estructura desigual es la que ha motivado que se desarrollen las NRS y no las RS.
En el aspecto social el uso reiterado del clientelismo en actitudes gubernamentales duerme, inhibe o extirpa la motivación hacia la innovación y la capacitación para el logro de nuevas oportunidades. Esto agrava la polarización social descripta al inicio de este trabajo pues cercena las voluntades de las personas para su desarrollo, alienándolas como instrumentos electorales.

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 *Conclusiones*

Como se ha descripto, el Estado provincial de Neuquén ha tomado la iniciativa de crear una Red de Innovaciones con la institución de una oficina gubernamental a tal efecto. No son políticas y acciones "top-down", sino que se las plantea interactivamente desde la articulación "bottom-up" [21] de las franjas de la comunidad con común-unidad de objetivos, en especial con los actores potenciales de la creación y difusión del conocimiento.
Se ha comenzado a actuar mediante la UG-CyT con decisión, buscando nuevas vinculaciones e interacciones entre los grupos académicos, privados, comunitarios y gubernamentales para desarrollar actividades innovativas en instancias sociales, técnico-económicas y ambientales, en un marco de sustentabilidad.
Se espera que estas políticas de desarrollo con bajo impacto en el Cambio Climático permitan crear nuevas oportunidades de inversión, dejando progresivamente de lado la cultura del clientelismo y construyendo en el largo plazo una economía basada en la oferta de productos valorables en el marco del Protocolo de Kyoto y los convenios multilaterales posteriores.

6.2 *Recomendaciones*

El marco legal, la promoción y financiación de las actividades de innovación en las áreas citadas en el punto 5, deberán contener normas y procedimientos que las pongan por encima de las disputas sociales de corto plazo. Es decir, debería ser políticas de estado con proyección en el largo plazo.
En la medida que las estrategias son construcciones sociales los resultados no serán automáticos, por lo que la recomendación básica es la continuidad de las políticas de instalación, desarrollo, mantenimiento y difusión del proyecto, tomándolas como prioridad del Estado y la sociedad, en el mismo nivel que las tradicionales políticas de educación, salud y viviendas que han caracterizado a Neuquén.
La convergencia de la capacidad académica y

profesional de las entidades de CyT creadas y a crear con la voluntad política de la sociedad permitirá la consolidación de esta estrategia.

La convocatoria es un esfuerzo consensuado para que Neuquén deje de ser una sociedad demandante de subsidios y servicios estatales para emerger como comunidad oferente de productos valiosos en las economías nacional y global.

REFERENCIAS

[1] Consejo Provincial de Planificación Para el Desarrollo (COPADE), Crisis y desafío. Propuesta para el desarrollo estratégico de Neuquén, Neuquén, 1996.

[2] COPADE, Visión e historia, Neuquén. www3.neuquen.gov.ar/copade, 2008a.

[3] Centro regional de Energía Eólica y EPEN, Presentación del Mapa Eólico del Neuquén, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Comahue, Neuquén, 2007.

[4] Arceo, E., Argentina en la periferia próspera. Renta internacional, dominación oligárquica y modo de acumulación, Universidad de Quilmes-FLACSO-IDEP, Buenos Aires, 2003.

[5] Rofman, A. & Romero, L. A., Sistema socioeconómico y estructura regional en la Argentina, Editorial Amorrortu, Buenos Aires, 1996.

[6] Sapag, L. F., Políticas de innovación en la periferia de la periferia. El caso de Neuquén. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Quilmes, Maestría en Ciencia, Tecnología y Sociedad, Buenos Aires, www.sapag.com.ar, 2005.

[7] Instituto Argentino del Petróleo y del Gas (IAPG), Informe Años 2005 y 2006, Buenos Aires, 2007.

[8] Sapag, L. F., Sapag: del Líbano a Neuquén. Genealogía familiar y raíces culturales del desarrollo de Neuquén, Editorial Sudamericana, Buenos Aires, 2008.

[9] Gobierno de la Provincia del Neuquén (GPN), Plan Director del Desarrollo Neuquino, www.neuquen.gov.ar, 2008.

[10] COPADE, www3.neuquen.gov.ar/copade/, 2008.

[11] Gibbons, M., La nueva producción del conocimiento, Pomares Corredor, Barcelona, 1997.

[12] Etzkowitz, H. & Leydesdorff, L., Innovation Inspired: The Triple Helix of University-Industry-Government Relations, Technology Access Report 14, 2001.

[13] Sábato, J. & Mackenzie, M., La producción de tecnología, Editorial Nueva Imagen, México, 1988.

[14] Freeman, C., The National System of Innovation in historical perspective, Cambridge Journal of Economics, Vol. 19, N° 1, 1995.

[15] COPADE: Una red de innovaciones productivas basada en el consenso social, Neuquén, www3.neuquen.gov.ar/copade/, 2008c.

[16] Sapag, L. F. & Labriola, C. V. M., Sustainable Social-Technological-Economical Development in Neuquén, Argentina, focused on Matrix Production Conversion from Non Renewable to Renewable and Agricultural Sources, Anales en CD del X World renewable Energy Congress, Glasgow, Escocia, 2008.

[17] Labriola, C. V. M., Technicature on Renewable Energy and Environment, Plaza Huincul and Chos Malal, Intermediate College Career for Technicians, RAC-UTN, 2003/2005.

[18] Labriola, C. V. M. & Sierra E.: Energía Renovable, tema de Motivación para la Educación Formal, Anales de ASADES 1996, FRBA Buenos Aires, 2006.

[19] Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Emergencia ambiental e hidrocarburos. Compensación y desarrollo sustentable de la Provincia del Neuquén. Proyecto ARG/97/024, Buenos Aires, 1997.

[20] COPADE, Potencial Productivo de la Provincia del Neuquén, 1998.

[21] Bunge, M., Ciencia, técnica y desarrollo, Editorial Sudamericana, Buenos Aires, 1997.

Estudio del CO2 evitado por MW instalado con el uso de Energía Eólica, a través del análisis y adaptación del Ciclo de Vida y Balance de Energía

C. Aguilera
carlos.aguilera@ensi.com.ar
Escuela Superior de Salud y Ambiente Universidad Nacional del Comahue.

C.V.M. Labriola
carloslabriola54@yahoo.com.ar
Regional Académica Confluencia – Universidad Tecnológica Nacional.

RESUMEN: Dadas las consecuencias del Cambio Climático producido por el sobrecalentamiento terrestre a partir de la actividad humana (industrial, transporte, agropecuaria, energética, etc.) considerar las emisiones de CO2, emitido o evitado, es un factor de benchmarking en las decisiones de diseño e instalación de equipamiento industrial y generación eléctrica. Por ello y por la necesidades energéticas de nuestro país el trabajo se refiere a la comparación de emisiones una turbina eólica de primera generación posible de instalar en nuestro país en un de los mejores lugares de viento, Comodoro Rivadavia, con una central de ciclo combinado de avanzada tecnología instalada en Neuquén, Agua del Cajón, cuyo combustible es gas de venteo. Las emisiones de CO_2 se comparan por MW instalado y para la turbina eólica se calcula la energía necesaria para devolver su generación utilizada en el ciclo de vida. Se utilizan datos actualizados de la empresa Vestas que domina el mercado de turbinas eólicas a nivel mundial como así también el criterio de balance de energía del panel Internacional de Cambio Climático (IPCC).

Palabras clave: CO2 – emitido – evitado- turbina eólica – ciclo combinado

ABSTRACT: Given the consequences of climate change caused by overheating land from human activity (industrial, transportation, agriculture, energy, etc.), to take into account of CO2 emissions either delivered or avoided, is a benchmarking factor in decisions on design and installation of industrial equipment and power generation. Under this and the energy needs of our country this work refers a comparison of emissions a wind turbine of first-generation technology that could be installed in our country in one of the best wind places such as Comodoro Rivadavia, with a combined-cycle power of last technology installed in Neuquén such as Agua del Cajón Power Station whose fuel is venting gas. In both cases CO2 emissions are compared per MW installed and in the case of the wind turbine is estimated the energy required to repay his generation used in the life cycle. Updated data is used from Vestas Company that dominates the market for wind turbines worldwide as well as the criterion of energy balance International Panel on Climate Change (IPCC).

Key Words: CO2 – emission – avoided – wind turbine – combined cycle

1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es, sin duda, uno de los problemas ambientales globales más importantes del siglo XXI, y se ve reflejado en el aumento de las temperaturas medias del planeta. Una de las principales causas de este calentamiento son las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero (sobre todo de CO_2 que es el que más se entrega a la atmósfera), que se debe al consumo en la generación de energía y transporte terrestre de los países industrializados, quienes emiten el 80% de todos los gases de invernadero. Las consecuencias del calentamiento se manifiestan en deshielo polar y desaparición de nieves eternas, variación de las corrientes marinas por variación de temperatura de los océanos, modificaciones en los regímenes de lluvias y sequías, en la intensidad y frecuencia de tormentas tropicales, y en la capacidad de recuperación o la productividad de los ecosistemas naturales [1].

Una de las opciones energéticas más económicas entre las nuevas fuentes de energía renovable para reducir la emisión de CO_2 durante la generación de electricidad la ofrece la Energía Eólica, ya que el viento es un combustible gratuito y sin emisión de gases contaminantes durante el proceso de generación. La Energía Eólica es una de las fuentes de generación de energía renovable de mayor avance tecnológico y costos competitivos con las fuentes tradicionales de energía experimentado, en los últimos 20 años, un significativo desarrollo, mejorando rendimientos, aumentando la confiabilidad y reduciendo costos [2]. Para su implementación hay algunas limitaciones de inserción en los sistemas eléctricos, tales como la limitación a un 20% de la Potencia Instalada disponible de un Sistema Eléctrico, o la generación de electricidad asincrónica lo que hace que necesite de compensación del factor de potencia para llevarlo a 0,95 lo cual se logra mediante capacitores.

Argentina cuenta con una de las mejores regiones de vientos del mundo que es la Patagonia, donde la velocidad promedio del viento en esta región varía entre los 5 a 10 m/s a una altura de 10 m del suelo, aproximadamente [3]. La capacidad estimada del potencial eólico del país a la altura de la tecnología disponible y aplicable en la Argentina (70 m sobre el suelo) es de aproximadamente 600.000MW. Si se distribuyeran idealmente turbinas de 2MW en un área llana desde Viedma hasta Río Gallegos, como indican las normas a 8 diámetros una de otra, sería posible extraer unos 20.000MW solo en energía eólica. Pero la restricción del 20% con una potencia instalada de 24.000MW hace que el máximo a inyectar de Energía Eólica en el Sistema Eléctrico Argentino sea de 4.800MW [4].

2 DESARROLLO

El presente trabajo está basado en la Evaluación del Ciclo de Vida (LCA) y Balance de Energía del modelo de Turbina Eólica V80 2MW de la empresa de generadores eólicos VESTAS WIND SYSTEM A/S, realizado en forma conjunta con la consultora ELSAAM ENGINEERING A/S [5].

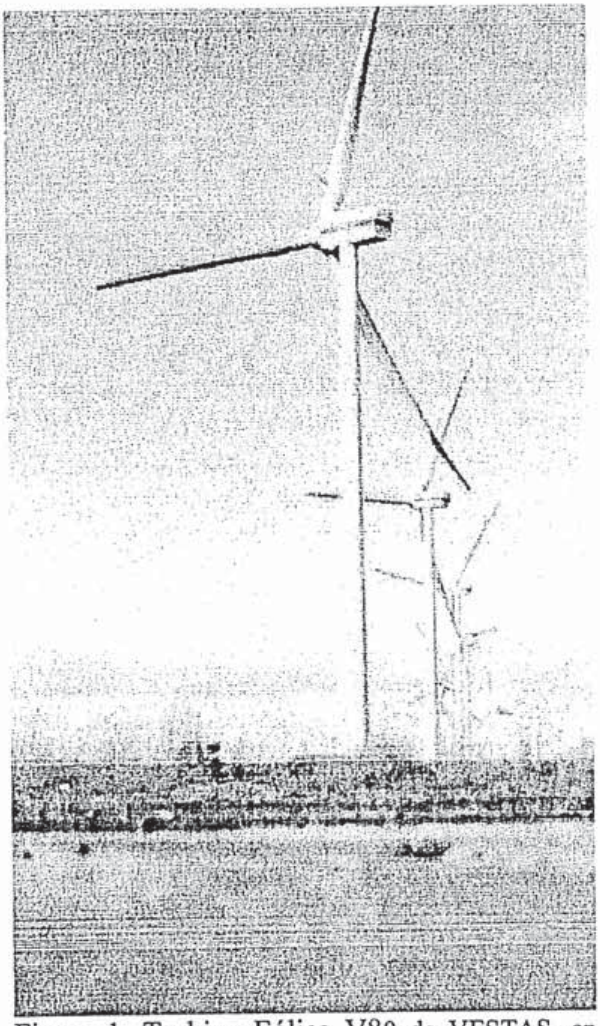


Figura 1. Turbina Eólica V80 de VESTAS, en granja eólica de Dinamarca.

Los objetivos del mismo son:

- Seleccionar la tecnología disponible y aplicable de Turbina Eólica en la Argentina para la Patagonia.
- Adaptar el Análisis del Ciclo de Vida y el Balance de Energía de una Turbina V80 de 2 MW de la empresa VESTAS a la región Patagónica, tomando como referencia el Parque Eólico Antonio Morán de la ciudad de Comodoro Rivadavia, Chubut.
- Analizar el funcionamiento de la Central de Ciclo Combinado Agua del Cajón, tomada como referencia como la más eficiente de las fuentes de generación de energía convencional no renovable de la Región, a través de los datos publicados por el CAMMESA.
- Calcular la generación de CO_2 en ambos casos tomando en cuenta todo el ciclo de vida, en el caso

de la Turbina Eólica; y la etapa operativa, en el caso de la Central Térmica.

• Realizar la comparación de los valores obtenidos de CO_2 en ambos casos para un horizonte de proyecto de 20 años del Parque Eólico.

Hipótesis planteada: La cantidad de CO_2 emitido durante todo el Ciclo de Vida de generación eólica por MW instalado es apreciablemente menor que la cantidad de CO_2 emitida por MW de una fuente de generación de energía convencional no renovable en su etapa operativa en la región Patagónica.

Tabla 1: datos de la Turbina Vestas V80

Características aerogeneradores Vestas V 80 2 MW	
Potencia nominal	2000 Kw
Producción anual (1x2000 Kw.)	8.347.690 Kwh.
Diámetro rotor	80 m
Peso total	99,000 Kg
Peso por cada pala	Kg
Longitud de cada pala	40 m
Peso de la torre	168,000 Kg
Longitud de la torre	78 m
Velocidad de rotación	Variable 9 - 19 rpm
Viento de arranque	14,4 Km/h
Viento de parada	90 Km/h

2.1 *Ejes Metodológicos para el análisis del Ciclo de Vida de una Turbina Eólica de 2 MW y Balance de Energía:*

2.1.1 *Evaluación del Ciclo de Vida*

(LCA) es un método para evaluar los aspectos ambientales y los impactos potenciales de un producto. Las etapas que se incluyeron en este caso son:

- fabricación de partes
- transporte
- ensamble e izaje
- operación
- desmantelamiento y reciclado
- renovación de turbinas, bases y red transmisión.

La adaptación de la LCA se centró en determinar los volúmenes de combustibles consumidos para el caso en que la Turbina Eólica fuera importada desde el país de origen (Dinamarca) y sea operada en la Patagonia. El consumo de combustibles fósiles es el dato más relevante en cuanto a las emisiones de CO_2, y está directamente relacionado con la generación de las mismas, ya que permitirán determinar los valores que se emitirán en forma directa durante este proceso. Por otro lado, también se calcularon las emisiones a partir de los datos originales de consumo de combustibles fósiles publicados por el fabricante para luego adicionarlos, y, de esta forma, obtener el Valor Total de de CO_2 emitido.

Para la adaptación de la LCA fueron tenidas en cuenta las siguientes suposiciones:

• Se asumirá que la Turbina será importada desde el lugar de origen, por lo cual todas las partes del generador serán fabricadas en las fábricas de VESTAS en Dinamarca manteniendo el proceso de Fabricación sin modificaciones respecto del original publicado por VESTAS.

• Se supondrá que el barco de carga para el transporte marítimo sólo se utilizará para el transporte de la Turbina.

• Se asumirá que todos los repuestos que se utilizarán para realizar el mantenimiento del generador se fabricarán en la ciudad de Comodoro Rivadavia, por lo que no se llevará a cabo un cálculo del transporte de los mismos vía marítima, sino vía terrestre.

• Se establecerá una vida útil para las aeroturbinas y cables internos de 20 años, por más que ese período pueda extenderse aumentando la frecuencia de mantenimiento.

• Debido a la dificultad para acceder a datos más precisos y locales durante la etapa de Desmantelamiento y Reciclado, se tomarán para el cálculo los procesos y los valores originales de dicha etapa publicados por VESTAS.

2.1.2 *Análisis de la etapa Operativa de la Central Térmica de Ciclo Combinado "Agua del Cajón"*

La Central de Agua del Cajón es una central térmica que, a partir de la incorporación de un grupo vapor de 285 MW en Noviembre de 1999, se convirtió en una Central de Ciclo Combinado con una potencia bruta total de 643 MW y una eficiencia del 45,7%. [6]. Esta Central funciona utilizando gas natural como combustible para su funcionamiento, por lo tanto, para poder realizar el cálculo de emisiones se debe calcular la cantidad promedio de gas natural consumida por la misma. Dicho dato se tomará de los valores oficiales de consumo de gas natural publicados por el CAMMESA en los informes de los años 2001 al 2007. Una vez obtenido el valor promedio, se estimó la cantidad de gas natural que consumiría para un tiempo estimado de 20 años (horizonte de proyecto del Parque Eólico).

2.1.3 *Cálculo del CO_2 emitido en ambos casos*

Una vez estimado el volumen de combustible consumido, se llevó adelante el cálculo de las

emisiones de CO_2 utilizando como referencia la metodología establecida por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático [7] y en la que se establecen algunos pasos a seguir para llevar adelante el cálculo de emisión de CO_2.

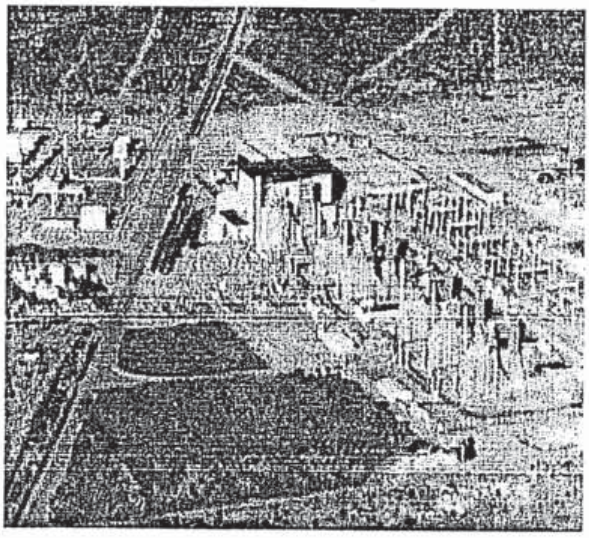


Figura 1. Central Ciclo Combinado "Agua del Cajón", zona de China Muerta, Neuquén.

2.1.4 *Comparación de los valores de CO_2 obtenidos*

A través de la comparación de resultados, se llegó a obtener la cantidad de CO_2 que se evita enviar a la atmósfera utilizando los Generadores Eólicos en tCO_2 /MW instalado como los descriptos para la región Patagónica, respecto de una Central Térmica de Ciclo Combinado.

2.2 *Balance de Energía*

El fabricante realizó un Balance de Energía, que es la evaluación de la relación entre la energía consumida por un producto y la energía producida por el mismo a lo largo de su vida útil, el cual fue adaptado para la generación en la Región Patagónica.

3 METODOLOGIA DEL CÁLCULO DE CO_2

El cálculo de las emisiones de CO_2 se realizó utilizando de referencia el Módulo I de Energía del Método de Referencia del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) descrito en las Directrices del IPCC, Vol. II [7]. Los pasos que se siguieron para el cálculo de CO_2 son:

- Paso 1: Estimación de los volúmenes de combustibles fósiles consumidos, teniendo en cuenta la adaptación de la LCA y los datos originales publicados por VESTAS para el caso de la Turbina Eólica; y los valores publicados por el CAMMESA para el caso de la Central Térmica.
- Paso 2: Conversión de los valores de los consumos de combustibles a una unidad común de energía antes de realizar el cálculo de emisiones de Carbono, ya que el contenido de Carbono varía con el contenido calorífico del combustible (Paso 2 de la Metodología del IPCC).
- Paso 3: Multiplicación por los factores de emisión del carbono según el tipo de combustible utilizado, y estimación del total de Carbono potencialmente emitido por el uso de dichos combustibles (Paso 3 de la Metodología del IPCC).
- Paso 4: Corrección de los valores calculando la fracción de carbono no oxidado durante la combustión. Puesto que los procesos de combustión no son 100% eficientes, no todo el Carbono se oxida durante la combustión de energías fósiles, aunque por lo general se trata de fracciones pequeñas. El porcentaje de Carbono no oxidado es del 0.5% para los combustibles gaseosos, 1% para combustibles líquidos, y del 2 % para combustibles sólidos (Paso 5 de la Metodología del IPCC).
- Paso 5: Conversión del carbono oxidado a emisiones de CO_2. Para ello, se multiplican las emisiones de Carbono emitido por la relación de los pesos moleculares del CO_2 y del Carbono (44/12) (Paso 6 de la Metodología del IPCC).
- Paso 6: Los valores obtenidos se expresarán en tCO_2 /MW de potencia instalada para poder realizar la comparación de emisiones.

4 RESULTADOS

4.1 *Resultados de emisiones de la Turbina Eólica por MW instalado:*

Tabla 2: Resultado de Emisiones

Emisiones CO_2 adaptación LCA	1232,95 tCO_2/MW
Emisiones CO_2 consumos publicados por VESTAS	544,43 tCO_2/MW
TOTAL emisiones CO_2	1777,38 tCO_2/MW

4.2 *Resultados de emisiones de la Central Térmica "Agua del Cajón":*

Tabla 3: Total de Emisiones

TOTAL emisiones CO_2 en etapa operativa	30680,24 tCO_2/MW

4.3 *Resultado Balance de Energía*

Tabla 4: Balance de Energía

Balance de Energía	22 Meses

5 CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente trabajo, se llegó a las siguientes conclusiones:

5.1 La cantidad de emisiones de CO_2 producidas por la utilización de Energía Eólica en Argentina es significativamente menor que la emitida por la Central Agua del Cajón de Ciclo combinado durante su vida útil. Dado que dicha central térmica es de tecnología avanzada en nuestro país se puede extender dicha conclusión a cualquier otra fuente térmica de generación de energía no renovable en nuestro país. Comparando valores sería:

$$(30680{,}24 - 1777{,}38)\ tCO_2/MW\ inst = 28902{,}86\ tCO_2/MW\ inst$$

O sea que según lo asumido para este cálculo la Central de Ciclo Combinado emite 17,26 veces más CO_2 que la Turbina Eólica por MW instalado. En realidad este valor es mayor, ya que no se ha considerado el período de fabricación e instalación ni reciclado del Ciclo combinado.

5.2 De acuerdo a los resultados obtenidos en el balance de energía se puede concluir que, comparando el valor obtenido con el valor original calculado por el fabricante establecido para las condiciones originales, la misma turbina de 2 MW instalada en el Cerro Arenales tardará aproximadamente 3 veces más el tiempo en generar toda la energía que consumió a lo largo de todo su ciclo de vida de lo que tardaría en Dinamarca. Si bien podría esperarse que el valor fuera menor al publicado por el fabricante, teniendo en cuenta el mayor Factor de Capacidad de nuestra zona, pero se debe tener en cuenta que durante el análisis han sido incluidos muchos valores que no se encontraban en el informe original, como por ejemplo el consumo del barco de carga que representa el mayor aporte en cuanto a volumen de combustible utilizada y a energía consumida.

5.3 Más allá de este resultado detallado en el párrafo anterior, cabe resaltar el potencial eólico de nuestro país, ya que la estimación de la energía generada por año es superior a la publicada por el fabricante en condiciones europeas.

5.4 Se debe tener en cuenta que, dadas la restricciones de obtención de datos del ciclo de vida de la Central de Ciclo combinado, se han comparado las emisiones del ciclo de vida de una turbina Eólica frene a las emisiones durante la vida útil (o LCA completa) del ciclo combinado. De disponer de todos los datos de LCA de éste último los resultados de las emisiones de la central térmica serían superiores a los obtenidos y detallados mas arriba, abundando así las ventajas de instalaciones de Energía Eólica sobre las centrales térmicas convencionales.

6 RECOMENDACIONES

Para reducir el tiempo del Balance de Energía se pueden destacar las siguientes opciones:

6.1 Comprar las turbinas eólicas en otro país mas cercano a la Argentina, como ser Brasil o EEUU. Pero estos fabricantes no disponen en forma libre de los datos que enuncia Vestas respecto de sus máquinas [8].

6.2 Directamente disponer de la fabricación local de máquinas eólicas de 2MW y en su diseño ya prever el cálculo y estimación d emisiones y consume energético sobretodo del reciclado de sus partes [8].

6.3 Crear la conciencia en las empresas productoras de Argentina el calculo de emisiones y balance energético como parte de su mejora de calidad y marketing al público.

REFERENCIAS

[1]Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT): El Cambio Climático en América Latina y Caribe- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), 2004.

[2] Moragues J., Rapallini A.: Energía Eólica- Instituto Argentino de la Energía "General Mosconi", 2003.

[3]Barros V.: Atlas Potencial Eólico de la Patagonia -Subsecretaría de Estado de Ciencia y Técnicas – Centro Nacional Patagónico. Tomo I y II, 1985.

[4]MSc. Labriola C.: Potencial Eólico en la Argentina, situación y perspectivas- ICREPQ, International Conference on Renewable Energy and Power Quality, 2007.

[5]Elsam Engineering A/S: Life Cycle Assessment of offshore and onshore sited wind farms- Report 2004.

[6]Skerk C., Schaller A.: Central Térmica Agua del Cajón, Evaluación de su resultado operativo futuro- Reporte 1998.

[7]Houghton J.T., Meira Filho L.G., Lim. B., Tréanton K., Mamaty I., Bonduki Y., Griggs D.J. and Callander B.A.; Libro de Trabajo: Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero- Vol. II, IPCC, 1996.

[8]Aguilera, C ; Labriola, C.: Estimated CO_2 avoided /MW by Wind Energy Installation on Patagonia Argentina, using LCC análisis and Energy Balance- preguntas durante exposición oral, X WREC Glasgow, R. U. Julio 2008.

Resultados del proceso de transferencia en el trabajo con residuos sólidos urbanos

O.N. Zóttola, M.M.Stanziola & A.P.Arena

nzottola@frm.utn.edu.ar, mmstanziola@frm.ut.edu.ar & aparena@frm.utn.edu.ar
Grupo CLIOPE, Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional

L. Sevilla, A. Reales & M. Ocaña

lilianasz@infovia.com.ar & mariano.lt@hotmail.com
Fundación CoLoBa & CentroEducativo Arco Iris

RESUMEN: con el objetivo de favorecer la integración social, económica y ambiental de la comunidad de Campo Pappa y procurando mejorar la calidad de vida de los beneficiarios directos; se implementan en el Centro Educativo Arco Iris con la Fundación CoLoBa, la Gestión Integral con Residuos Sólidos Urbanos. Se trabaja en la recuperación y transformación de residuos sólidos reciclables, aprovechando la principal capacidad instalada en la comunidad. La intervención del Grupo CLIOPE de la UTN-FRM, se manifiesta con aplicación de tecnologías, programas de investigación-transferencia, talleres de capacitación potenciando el reciclado y generación de emprendimientos productivos. La metodología de trabajo consiste en implementar talleres de capacitación, campañas de concientización, educación y difusión en: escuelas, empresas y casas de familia para separar residuos en origen. Además, sistematizar la experiencia de la campaña barrial, análisis e incidencia de las variables externas al proyecto y cambios cuali- cuantitativos generados en el período 2004 – 2007. Como conclusiones se destaca que la transferencia fue exitosa, ya que la propuesta fue apropiada por los beneficiarios y la Fundación, creció en escala, generó interés, respuesta política y adhesión sostenida de vecinos para separar en origen, con posibilidades de réplica en otros barrios.

Palabras clave: transferencia - capacitación – herramientas tecnológicas – gestión RSU – sustentabilidad.

ABSTRACT: with the aim of fostering social integration, economic and environmental community's Field Pappa and efforts to improve quality of life of the direct beneficiaries; are implemented in the school with the Foundation Coloba, activities through the Management Integral with Urban Solid Waste. The work is the recovery and processing of solid waste recyclables, building on the capacity installed in the community. The intervention of CLIOPE of UTN-FRM, manifests itself with application of technologies, research programmes-transfer, training workshops boosting recycling and generation of productive enterprises. The working methodology is implementing training workshops, awareness campaigns, education and outreach at schools, businesses and private residences to separate waste at source. As conclusions stressed that the transfer was successful, since the proposal was appropriated by the beneficiaries and the Foundation, grew in scale, generated interest in the politics and sustained commitment of neighbors to separate at source.

Keywords: transfer - training –technological tools – management RSU – sustainability.

1 INTRODUCCIÓN

La propuesta involucra a la comunidad de Campo Pappa, al Centro Educativo y Comunitario Arco Iris (importante polo de desarrollo social) y la Fundación Co.Lo.Ba. El grupo CLIOPE de la UTN-Mendoza, articula acciones de recuperación de residuos con actores sociales, políticos, educativos y jóvenes de la comunidad de Campo Pappa. Involucra y concientiza a los generadores primarios (vecinos) en la temática ambiental respecto a los residuos domésticos, mediante la separación en origen. La intervención de la unidad académica consiste en la aplicación de tecnologías, puesta en marcha de programas de investigación-transferencia, talleres de capacitación, potenciando el reciclado y propiciando la generación de emprendimientos productivos.

Las actividades de transferencia tecnológicas que desarrolla este proyecto -en una comunidad de bajos recursos- pretende favorecer la integración social, económica y ambiental, procurando mejorar la calidad de vida de los beneficiarios. Además los trabajos que se están implementando en el Centro Educativo, pueden ser tomados como base para elaborar propuestas de gestión integral y sustentable de los residuos domésticos, de este modo dar respuestas a la problemàtica ambiental y social, actualmente sin resolución, que tiene el Gran Mendoza.

La implementación y afianzamiento del trabajo adecuado en la recuperación, acondicionamiento y venta de residuos para reciclar, desde el punto de vista de higiene y seguridad; procura la dignificación del laboreo informal que realiza históricamente un vasto sector de la población de Mendoza, a la vez que sienta las bases para replicarlo en otras comunidades de características similares.

La experiencia de separación en origen de residuos que se implementa a modo piloto y sostenido desde 2004, muestra la factibilidad de un cambio cultural y brinda elementos y herramientas para replicar el proyecto a mayor escala. Esta experiencia es una base que permitirá comparar la implementación y medición de otros emprendimientos con residuos. Es una alternativa eficiente, no contaminante, ambientalmente positiva.

1.1 Antecedentes

El Grupo CLIOPE trabaja en esta temática y en la misma comunidad desde 2001, desde el 2003 estrecha vínculos y se asocia a la Fundación CoLoBa y específicamente con su Centro "Arco Iris" y se realizan los siguientes proyectos:

- Octubre 2003/Julio 2004, "Recuperadores Urbanos", emprendimiento productivo con residuos, con jóvenes excluidos.
- Abril/Diciembre 2004, "Promotores Educativos Comunitarios", Grupo de jóvenes escolarizados, fueron capacitados como agentes ambientales para informar y mediar la separación de residuos en origen, en los barrios. En este proyecto además se inicia la separación en origen y recolección diferenciada de residuos en barrios Vandor y Glaciares.
- Marzo/Noviembre 2005, la fundación Co.Lo.Ba, implementó con financiamiento de la embajada de Canadá el Proyecto "Capacitación acerca de acopio, tratamiento y reciclaje de residuos sólidos urbanos - Difusión de selección de residuos en origen" y Talleres de Reciclado: papel, artesanías, orgánicos. Con asesoramiento técnico de la UTN-FRM
- Marzo 2006/Diciembre 2007, el Grupo CLIOPE de la UTN-FRM, implementó el Proyecto "Transferencia de tecnologías tendiente a la sutentabilidad económica y ambiental en una comunidad de escasos recursos" (financiado por la Secretaría de Ciencia de Nación (PFIP). Su objetivo fue afianzar el trabajo del emprendimiento productivo con residuos reciclables a cargo de jóvenes de Arco Iris a través de las siguientes tareas: mejorar la modalidad y ámbito de trabajo; ampliar el grupo de vecinos que participan desde 2004 en la separación de residuos y realizar esta experiencia en negocios, empresas y/o instituciones. Por otro lado también permitió sistematizar datos de procesos.

A continuación se detallan los objetivos, método y resultados obtenidos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos generales

Transferir tecnologías limpias a jóvenes de alto riesgo social, insertos en una comunidad educativa

Trabajar en forma coordinada (Universidad, OSC y Municipalidad), integrando aspectos tecnológicos y sociales.
Brindar herramientas sustentables: económicas, técnicas y ambientales mediante la gestión integral con residuos sólidos urbanos
Proporcionar resultados del trabajo con residuos, a la dirigencia política, con el fin de replicar la experiencia en otras comunidades.

2.2 Objetivos específicos

Promocionar y difundir en distintos ámbitos: educativos, empresas y hogares la separación de residuos en origen.
Analizar y evaluar la sustentabilidad social, económica y ambiental del proyecto Los Triunfadores.
Re-Capacitar y actualizar en la temática RSU e higiene y seguridad a los Promotores y Recuperadores Urbanos (históricos y nuevos).
Reformular y ampliar la promoción en domicilios y empresas de la preselección de residuos en origen
Efectuar el seguimiento del proceso, adecuación de metodología y reformulación del proyecto
Sistematizar la experiencia productiva con residuos, de los jóvenes de Arco Iris.
Formular otros proyectos que tengan continuidad para el fortalecimiento y crecimiento de este proyecto

3 MATERIALES Y MÉTODOS

La gestión integral de residuos sólidos urbanos a través de Los Triunfadores, en Arco Iris y la Fundación COLOBA, representa un especial proyecto. Involucra a jóvenes de la comunidad que concurren al Centro Educativo. Su singularidad radica en que los chicos, provienen de familias que utilizan el laboreo informal como fuente de ingresos económicos. Se trabaja desde una gestión compartida entre "Arco Iris" y la Universidad. El grupo CLIOPE pretende un proceso de trabajo con inicio y final. Partiendo del acompañamiento intensivo inicial (2003-2006), para luego ir fortaleciendo y acompañando desde una posición más alejada, con el objetivo de empoderar localmente el proceso.

El método de investigación e intervención es afín a los lineamientos de la investigación-acción-participativa. Las principales líneas de trabajo son:
Capacitación a: jóvenes del Centro Educativo, "Promotores Educativos", "Recuperadores Urbanos" y docentes del Centro; promoción y ampliación del proyecto (casas de familia, escuelas, empresas, OSC, gobierno); afianzamiento y optimización de la rentabilidad del emprendimiento productivo con residuos; ampliación de puntos verdes (lugares de acopio temporario de residuos reciclables) y casas de familia en la preselección de residuos en origen; sistematización de la experiencia (emprendimiento y proyecto de separación de residuos en origen).

3.1 Capacitación

La implementación de Talleres de capacitación y mejora continua en el "Plan Piloto de Gestión de Residuos Sólidos Urbanos", representa una formación sostenida e ininterrumpida, que se imparte a los jóvenes que concurren a clases de apoyo educativo del Centro Educativo. Los jóvenes que aprueban el mencionado curso conforman el grupo de "Promotores Educativos Comunitarios" (responsables de la promoción para separar residuos en el Jardín Arco Iris), en una segunda etapa se preparan para efectuar la promoción de "separación en origen" y luego de esto, recién se encuentran en condiciones de integrar el grupo de Recuperadores Urbanos y participar del emprendimiento productivo con residuos.
Arco Iris (centro de la Fundación CoLoBa), efectúa un trabajo importante de acompañamiento a niños, adolescentes y jóvenes, ya que las posibilidades que le ofrece a los mismos el estado, decrecen o cesan al terminar la edad escolar. La franja de adolescentes en condiciones de efectuar la capacitación en la Gestión de Residuos Sólidos pertenece al grupo de escolarizados entre 4° y 9° ciclo de educación formal, el curso les presenta herramientas para mejorar el trabajo de laboreo, que realizaban antes y probablemente constituirá una alternativa laboral futura en muchos casos. El proceso de formación en la temática de los RSU, involucra el aprendizaje mediante técnicas de educación popular de:

- Conceptos básicos generales, específicos y glosario en relación a los Residuos Sólidos en general, domiciliarios en particular
- Discusión sobre la realidad de la basura y residuos, en el barrio y en la provincia.

- Modalidad de trabajo y generación de emprendimientos cooperativos de inclusión social.

Además los Promotores Educativos Comunitarios (PEC) en sus distintos niveles y los Recuperadores Urbanos (RU) recibieron capacitación teórico práctica en:

- Higiene y Seguridad Laboral, implementada por un profesional especialista en el tema.
- Dinámicas grupales, a cargo de profesionales capacitadas: psicóloga y asistente social, para afianzar la conformación de equipos de trabajo con objetivos comunes destinados a instrumentar posibilidades económicas a corto y mediano plazo.

La capacitación anterior, está encuadrada en el proceso de mejoramiento educativo, para aprovechar la capacidad instalada en los jóvenes (por transferencia de sus mayores o por experiencia propia), para recrear el conocimiento y poder entender los problemas que enfrentan en sus vidas, buscar alternativas de solución, animarlos a ser activos y formar parte de emprendimientos productivos cooperativos de inclusión social.

3.2 Promoción, Difusión y Ampliación

Otra tarea fundamental de este proyecto, es la de promoción y difusión y ampliación del proceso de separar residuos en origen, con metodología personalizada, efectuando el seguimiento y evaluación continua. A continuación se mencionan los principales participantes y la modalidad implementada:

a) Ampliación de la campaña de separación de residuos en origen en Barrios Vandor y Los Glaciares de Godoy Cruz:

Para efectuar esta tarea se tomó como base los resultados del rendimiento del primer Circuito de recolección de residuos preseleccionados. Se identificaron por calles todas la viviendas y se dividieron las encuestas según 3 variables: "separa residuos", "no separa residuos", "no atiende".El grupo 1 y el grupo 2, por lógica respondía diferentes preguntas. El diagnóstico resultante constituyó el principal elemento para ampliar la cantidad de adherentes a la propuesta de separar residuos en origen.

Se trabajó en forma coordinada con personal de la Subdirección de Gestión Ambiental de la Municipalidad de Godoy Cruz, Recuperadores Urbanos y Promotores Educativos "Los Triunfadores", alumnos pasantes de la Escuela Ecovida y voluntarios de una OSC, coordinada por una psicóloga social del grupo CLIOPE. A continuación se detalla el cronograma de acciones desarrolladas para la campaña barrial:

Elaboración de la estrategia general, instructivos (minuta, encuestas, planillas, etc.) y planificación del trabajo de campo.

Capacitación de los encuestadores en temas del proyecto y administración de encuesta.

Coordinación de trabajo de campo (participaron aproximadamente 12 encuestadores que rastrillaron 153 casas)

Evaluación grupal del proceso y sistematización de los datos.

b) Difusión en Ámbitos Educativos y Empresas:

El equipo interdisciplinario de la Fundación CoLoBa y la UTN-FRM, elaboró un plan de difusión del proyecto "Los Triunfadores" en dos ámbitos específicos: escuelas y empresas. Para la difusión en escuelas, se tomó como base el conocimiento, interés o decisión del Proyecto, por parte de un docente, directivos o alumnos que quieran implementar la experiencia en la unidad educativa. Se trabajó con dos Colegios de Educación privada, con la siguiente metodología:

- reuniones con personal directivo para establecer pautas generales y específicas en la implementación de la experiencia.
- difusión y charlas internas,
- disposición de bolsones contenedores estratégicamente ubicados en los establecimientos, para almacenar en forma temporaria los residuos de la institución y de procedencia externa (de domicilios particulares)
- retiro de bolsones con residuos reciclables, con fechas pre-estipuladas.

La visita a las empresas para generar asociados y nuevos puntos verdes se efectuó mediante conexiones previas o el interés puesto de manifiesto para implementar un sistema de gestión interna con los residuos. Se planteó la propuesta según dos posibles motivaciones: "Responsabilidad Social Empresaria (RSE)" o "Certificación Ambiental ISO 14000". Se efectuaron citas con gerentes o responsables de higiene seguridad o recursos humanos. Entre las empresas visitadas, se llegó a implementar la experiencia con dos empresas:

- Un restaurante, ubicado en la cuidad de Mendoza Capital. El antecedente con que cuenta este punto verde es el compromiso social del empresario, manifestando interés en trabajar desde la responsabilidad social y adecuada con residuos. Se

efectuó el contacto con el responsable principal, se evaluaron las fracciones y lugares de generación de residuos; se identificaron sitios de almacenamiento temporarios y se entregaron contenedores adecuados a cada tipo de residuos. Las principales fracciones generadas son botellas de vidrio y cartón.

- Empresa de Servicios: se efectuó un primer contacto con el gerente de la empresa para establecer pautas y compromiso entre las partes, mediante la firma de un Acta Acuerdo (Grupo CLIOPE-CoLoBa-Empresa). La implementación se hizo bajo la modalidad de ordenamiento y control para certificación ISO 14000.

En todos los casos, escuelas y empresas, el retiro de los residuos fue efectuado con vehículo de la municipalidad de Godoy Cruz y el personal afectado fueron los Recuperadores Urbanos acompañados por un coordinador técnico.

3.3 Sistematización de la experiencia

La sistematización del proceso de trabajo del proyecto Los Triunfadores, desarrollado durante los años 2004, 2005 y 2006, sirvió de base para la formulación de un proyecto de mejoras y ampliación de los talleres de reciclado y el trabajo que están llevando a cabo los Recuperadores Urbanos y Promotores Educativos. El análisis del trabajo y rendimiento de los residuos reciclables, análisis de fracciones, volumen, peso, sirvió de parámetro para la elaboración del proyecto: "Por la inclusión Social de Jóvenes Recuperadores Urbanos ", presentado ante el Ministerio de Desarrollo Social de Nación, aprobado.

Dentro de la modalidad organizativa del Centro Educativo y como parte de la planificación anual de trabajo, cada inicio de año lectivo, se hace una convocatoria para organizar grupos de trabajos acorde a las tareas a desarrollar durante el año y determinar los responsables en cada una de ellas. Se implementan talleres de jornadas completa al que asisten: jóvenes y adolescentes, padres de la comunidad, maestros, directora del Jardín Maternal, alumnos y profesional del Grupo CLIOPE UTN-FRM. Especialmente considerando al Grupo Los Triunfadores y su relación con los circuitos y la campaña barrial, es que se definieron roles y responsabilidades. En este punto la sistematización de los datos, rendimiento y mejoras de la campaña barrial, conforma uno de los principales elementos de evaluación.

4 RESULTADOS

4.1 Capacitación jóvenes

La capacitación de los jóvenes del proyecto Los Triunfadores, se estableció por niveles: I, II y III. El nivel inicial (I), integrado por adolescentes del 2° y 3° ciclo de la educación formal, se capacitan con clases teórico-prácticas en la temática RSU (glosario, reciclado, tecnologías, etc.) y comienzan como "Promotores Educativos". Los niveles II y III, una vez aprobado el anterior está conformado por jóvenes mayores de edad, que se incorporan a los "Recuperadores Urbanos", tienen la responsabilidad del manejo del emprendimiento productivo, además del trato directo con las empresas, vecinos y escuelas.

Los "Recuperadores Urbanos", tienen capacitación y evaluación técnica y pedagógica permanente, a cargo de especialistas de las dos instituciones intervinientes en el Proyecto: Fundación COLOBA y la UTN-FRM Grupo CLIOPE. El fortalecimiento del trabajo en grupo se implementó mediante la asistencia de psicólogas contratadas por la Fundación Coloba, para acompañar y asistir en la resolución de conflictos acaecidos durante el trabajo del grupo de Recuperadores Urbanos. El acompañamiento del proceso de trabajo mediante asistencia técnica y sostén social propiciando la mejora continua, se trabajó en forma permanente por parte del equipo integrado por la directora y docentes de Arco Iris y la geóloga Neli Zóttola, del grupo CLIOPE UTN-FRM. Se logró afianzar los hábitos de laboreos seguros e higiénicos, el abordaje exitoso de conflictos cotidianos del grupo y la optimización del proceso de trabajo.

4.2 Campaña Barrial

La sistematización de los datos del proceso de recolección de residuos en origen en Barrios Vandor y los Glaciares, arrojó que si bien en el 2004 el número de casas era de 100, este número fue disminuyendo por diversas razones; a principios del 2006 sólo se retiraban residuos a 83 y luego de la campaña el número de puntos subió a 153. Luego al final del 2007 y cierre de la presente sistematización se mantenía el proceso exitosamente en 126 casas.

La campaña barrial realizada en octubre del 2006 mostró los siguientes puntos:

- La gente que "colabora", se siente conforme y comprende el complejo funcionamiento y sus problemas en un 100%.
- El proceso de diálogo entre vecinos y Promotores Educativos Comunitarios, es muy importante para mantener la motivación de la preselección.
- Al compartir una charla con vecinos, se logró disminuir malentendidos generados por problemas de organización.
- Los puntos de recolección aumentaron

La Fig. 1, muestra el porcentaje exitoso de recolecciones por domicilio antes y después de la 2° campaña barrial.

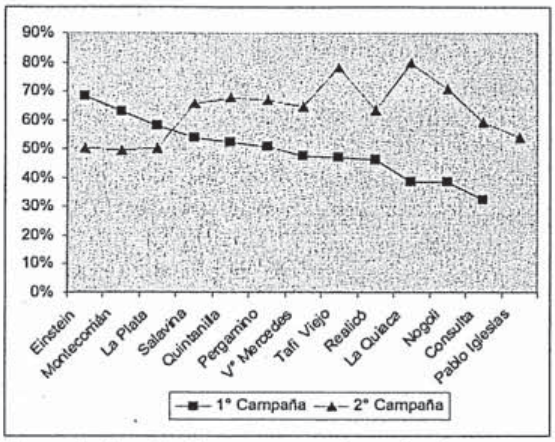


Figura 1. Rendimiento antes y después de campaña

Se compara los porcentajes de eficiencia antes y después de la campaña barrial. Promediando el porcentaje de recolecciones positivas de las viviendas antes, versus las viviendas después de la campaña, se presenta un aumento de un 10% en el segundo caso. Lo cual apoya la importancia de la campaña barrial cara a cara, para el mejoramiento del proceso. La motivación de los vecinos es reforzada por la presencia y contacto con los gestores del proyecto. Esto condice con los comentarios informales que vertían los vecinos encuestados, los que propusieron "publicitar" "comunicar" y "publicar" el proceso, para que "la comunidad y las autoridades conocieran y avalen este tipo de proyectos".

La Fig. 2, muestra un aumento de los porcentajes de "ausencia de vecinos" al momento de la recolección y una disminución en las recolecciones negativas. Esto permitiría deducir que el hábito de preclasificación domiciliaria se estaría empoderando. Por otro lado se observa que las recolecciones negativas están más relacionadas a la ausencia de vecinos, que a la falta de reciclables.

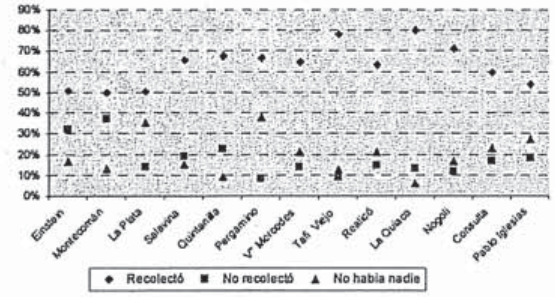


Figura 2. Porcentajes generales de recolección

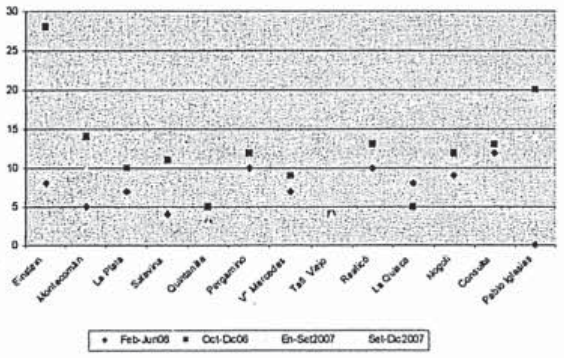


Figura 3. Cantidad de Viviendas Período 2006-2007

En la Fig. 3, se observa la cantidad de viviendas que participan en el proyecto en estos dos años. El período Oct-Dic 2006, es la etapa con mayores viviendas en proceso, esta situación se relaciona claramente con la realización de la campaña barrial. Se aprecia que la visita personalizada permitió captar nuevos domicilios y mejorar los engranajes del proceso. Las dos líneas del año 2007, muestra un comportamiento similar, lo que avala la hipótesis que sostiene un proceso de empoderamiento en marcha.

4.3 Ampliación de Puntos verdes

Se destaca que en la provincia de Mendoza no existen Plantas de Reciclaje, los residuos recuperados son receptados por Acopiadoras las que trasladan los productos a Buenos Aires o Córdoba, por lo tanto la búsqueda de mejoras en el precio de los productos por rubro se centraliza en empresas locales que reciben rezagos de residuos en pequeña escala. En este punto se mencionan las mejoras incorporadas en las alianzas con empresas, organismos nacionales e internacionales para mejorar la adquisición de rezagos en el marco de

responsabilidad social empresaria (RSE) y las ventas efectuadas en el mercado interno.

Para la ampliación de puntos verdes por parte de "Los Triunfadores", se centralizó en empresas, fundamentalmente aquellas que estuvieran enmarcadas o quisieran adoptar la RSE. La modalidad implementada a nivel internacional de Responsabilidad Social Empresaria (RSE), es un compromiso en el que están incursionando algunas empresas de Mendoza, lideradas por Valos: "es una asociación de empresas de diferentes tamaños y sectores comprometidas en desarrollar sus actividades bajo una gestión socialmente responsable, para esto apoyamos a las empresas que operan en Mendoza para que transiten el camino de la RE, movilizándolas hacia el bien común y promoviendo la Responsabilidad Social Empresaria como el modelo de gestión para lograrlo". Las mejoras que se implementaron en la ampliación de puntos verdes focalizados en empresas son importantes ya que la lista de nuevos puntos de recepción que entregan sus residuos en forma continua a Los Triunfadores son los siguientes:

- Restaurant La Marchigiana: botellas de vidrio y cartón
- Retesar: cajas de cartón
- Jockey Club: plásticos, cartón y diario
- Concesionaria de Automotores Yacopini: papeles de oficina, cubiertas
- Taller automotriz La Prolijidad: cartón

El retiro de los materiales se efectúa en forma semanal o a pedido del socio, estos puntos se incluyeron al circuito anterior donde el retiro de residuos se efectúa en forma semanal con vehículo de la Municipalidad de Godoy Cruz. Otros lugares que se incorporarían a la red que ya está establecida y consolidada, son los locales comerciales del Centro Comercial Palmares Open Mall, se efectuaron las tratativas correspondientes a través de la intermediación del presidente de Valos, Sr. Fernando Barbera.

4.4 Producción de Reciclados

La preparación o producción de materiales reciclados se efectúa en relación a materiales orgánicos e inertes secos.

a) Materiales Orgánicos, en este punto se trabajaron los siguientes productos con sus correspondientes procesos:

Tierra preparada, elaborada en base a residuos orgánicos aportados por la Municipalidad de Godoy Cruz: orujo de bodegas ($3m^3$), guano de caballo ($6m^3$) y aserrín ($6m^3$). Los Jóvenes del Apoyo Educativo se encargan de la mezcla, riego y embolsado del producto final.

Lombricompuesto, la materia prima del proceso de compostaje procede de la cocina de Arco Iris y restos de hojas. Los Promotores Educativos de Los Triunfadores, se encargan de: separación, traslado, mantenimiento, cosecha y envasado del lombricompuesto como producto final.

Árboles, en el vivero se acondicionaron con tierra preparada y lombricompuesto almácigos de árboles, con semilla y plantines de las siguientes especies: roble, algarrobo, aguaribay, acer, paraíso. Los jóvenes que se encargan de la siembra, riego y mantenimiento de los árboles son del Apoyo Educativo.

b) Materiales Inertes, los materiales recuperados que se comercializaron aparte de los rezagos a la acopiadora local son:

Cajas de cartón, de la empresa RETESAR S.A., provee cada 15 días cajas de cartón de descarte en muy buen estado de conservación. Los Recuperadores Urbanos arman y venden a particulares, para ser recicladas.

Cubiertas usadas, la concesionaria de Chevrolet de la ciudad de Mendoza, Yacopini provee, en función de la disponibilidad.

Papel recuperado en tamaño A4, la empresa Artrans que trabaja con bobinas de máquinas industriales provee cada 15 días papel y cartón de descarte. Los jóvenes del Apoyo Educativo son los encargados de cortar y armar los paquetes en tamaño A4.

La venta de los productos anteriores se efectúa en forma local, basados en principios de economía social y solidaria, como parte del proceso de educación y para brindar herramientas de trabajo y posibilidades económicas a los jóvenes que asisten el Centro Educativo Arco Iris.

4.5 Venta de Reciclados

Los Recuperadores Urbanos, durante el período Oct 2003 a Dic. 2007, en que se efectuó la sistematización del producido, manifiesta un crecimiento cuantitativo significativo representado gráficamente en la Fig. 4. La respuesta en la mejora tiene relación directa con las campañas de promoción y difusión de la experiencia, situación que alienta para la continuidad del proyecto.



Figura 4. Comparativa Ventas Reciclables: 03-07

5 CONCLUSIONES

Las líneas de tecnologías limpias implementadas en el Centro Educativo Arco Iris a modo de transferencia desde la UTN-FRM con el Grupo CLIOPE, no sería factible de implementar sin la integración con el sostén social y educativo de la Fundación CoLoBa. Los Talleres si bien siguen una lógica de desarrollo, los cambios y mejoras continuas tienen una dinámica propia que la misma comunidad impone que debe ser respetada para lograr el éxito en el proceso de transferencia. La incorporación de tecnologías, se sustenta ambientalmente al ser aceptada socialmente y en este caso la garantía de seguimiento del emprendimiento la brinda una organización consolidada, cuyo fundamento y filosofía es la educación y dignidad social como compromiso con la comunidad.

En relación a la socialización de separar residuos en origen por parte de vecinos, en general, los mismos están muy conformes con la modalidad implementada por los jóvenes, reconociendo las mejoras ambientales del entorno del barrio.

En general se observa un aumento en la eficiencia del proceso de recolección de residuos por parte de los jóvenes, que están mucho más organizados.

El apoyo logístico de la municipalidad de Godoy Cruz, mediante la movilidad para efectuar el retiro de los residuos, incorpora un elemento vital en esta mejora.

En relación a los jóvenes "Recuperadores Urbanos", a través del emprendimiento productivo con residuos, manifestaron un considerable crecimiento cualitativo en la modalidad y dignificación en el trabajo. En cuanto a los producidos económicos por la venta de reciclables, el incremento es tan significativo que permite la ampliación de los integrantes de Recuperadores Urbanos, de modo que sea sustentable económicamente, en el marco de la economía solidaria. La cantidad de jóvenes intervinientes al inicio del proyecto (Oct. 2003) era de 3, mientras que en Dic 2007 lo integran de 8 a 10 personas. En cuanto a la variación económica en el mismo período fue notablemente importante, de un promedio mensual de $ 200 a $ 1300 de base.

Considerando que este Plan Piloto es el único que se aplica en la provincia de Mendoza, involucrando a un barrio completo y contando con datos sistematizados como parte de un proceso, se consideran herramientas en la gestión de residuos urbanos factibles de replicar.

REFERENCIAS

[1] Agenda 21. Cumbre para la Tierra. Sección I Capítulo 7 y Sección II Capítulo 21. Brasil 1992

[2] Compromisso Empresarial para Reciclagem. Instituto de Pesquisas Tecnológicas de Brasil, IPT, "Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado", CEMPRE - IPT, Publicación IPT 2163, Brasil 1995.

[3] Desafíos e innovaciones en la Gestión Ambiental. Actas del Seminario Internacional "Experiencia latinoamericana en manejo ambiental" CEPAL. Chile 2000

[4] Plan Nacional de Valorización de Residuos Sólidos Urbanos. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Argentina. 2001

[5] Boada Ortiz El Reciclaje, una herramienta no un concepto. Reflexiones hacia la Sostenibilidad. Universidad Externado de Colombia. 2003

Estimación de la energía contenida en los residuos de edificación. Estudio de caso

A. P. Arena
aparena@frm.utn.edu.ar
Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional

I. T. Mercante
imercante@fing.uncu.edu.ar
Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo

RESUMEN: La industria de la construcción genera residuos, que se denominan RCD, "Residuos de la Construcción y Demolición". La generación de los mismos ocasiona pérdidas económicas, desperdicios energéticos y problemas ambientales. Las dificultades en la gestión de los RCD están dadas por su gran peso y volumen, y su cantidad y composición son variables, fundamentalmente, según el tipo de obra y actividad. Se realiza en este trabajo una evaluación del contenido energético de los residuos de la construcción de un caso particular, que permite obtener una estimación de la cantidad de energía que, consumida durante la producción de los materiales, es desperdiciada al convertirse los materiales en residuos, sin haber llegado a brindar algún efecto útil.

Palabras clave: contenido energético- residuos- edificación

ABSTRACT: The construction industry generates wastes, which are known as "Construction and Demolition debris"- C&D. C&D causes economic losses, waste energy and produces environmental problems. The great amount of C&D generates both in weigth and volume terms, together with their variable composition, mainly depending determines difficulties in the management of this materials. In this paper an evaluation of the energy content of construction wastes generated in a particular case, with the aim of getting an estimation of the portion of the energy content of building materials which is wasted by becoming debris, without having come to provide any useful effect.

Key Words: energy content– debris– building

1 INTRODUCCION

La industria de la construcción genera impactos ambientales a lo largo del ciclo de vida de las obras de edificación: ejecución, funcionamiento y demolición. Estos impactos están asociados a la extracción, procesamiento y transporte de materia prima, al gran consumo energético durante la fase de funcionamiento, y a la generación, transporte y tratamiento de residuos.

Frente al concepto de sostenibilidad, es necesario establecer y aplicar criterios en el sector de la construcción que tomen en cuenta aspectos relativos a la integración de las obras al entorno, a la implantación de la eficiencia energética, al empleo óptimo de los recursos naturales, a la gestión de los residuos de construcción y demolición (RCD) y al uso de materiales de bajo impacto ambiental.

Durante la etapa de ejecución y renovación de las obras se generan los residuos de construcción, ResCon. Las condiciones de su generación, recogida, transporte, tratamiento y disposición final requieren ser estudiadas a fin de prevenir y mitigar los impactos ambientales generados tanto en lo que concierne a gestión interna como externa.

Entre estos impactos se pueden mencionar: la ocupación del suelo, afectación del paisaje, la contaminación del agua y del aire, la degradación de suelos productivos con la consecuente generación de pasivos ambientales. Por otra parte, cada fracción de material residual representa un desaprovechamiento de recursos, en gran medida no renovables, constituidos por los materiales y la energía empleados para fabricar aquellos productos que van a ser parte del flujo de los ResCon.

Finalmente, desde el punto de vista económico estos residuos tienen un significado importante, por lo que una reducción en cantidad y calidad representan ahorros que optimizan la eficiencia global de las obras.

1.1 *Producción limpia y minimización de residuos*

La producción limpia (PL) es una estrategia de gestión productiva y ambiental que permite lograr beneficios económicos y al mismo tiempo mejorar el desempeño ambiental. Esto la convierte en una herramienta al alcance de toda empresa, productiva o de servicios, independiente de su tamaño.

La producción limpia implica tomar todas las medidas para minimizar emisiones y residuos en forma progresiva y permanente en los procesos productivos; para reducir el uso de insumos, especialmente agua y energía; utilizando buenas prácticas en cuanto a higiene y seguridad laboral; y buscando que los residuos se transformen en insumos para otros procesos, incluyendo el reuso, el reciclaje y la recuperación energética en un orden jerárquico de acciones.

Conceptualmente la minimización de residuos incluye reducción en origen, reuso y reciclaje. Las prácticas de minimización de residuos más comúnmente propuestas son el cambio de producto, ya sea por sustitución directa o por cambios en la composición del mismo, cambios por consumo energético del producto, cambios en el proceso de producción y en las condiciones operativas.

Cualquiera de las alternativas indicadas reduce la cantidad de materia prima y energía utilizada, con la ventaja adicional de enviar menos residuos a vertedero, consiguiéndose beneficios ambientales y económicos.

En las obras de edificación es corriente oír hablar de pérdidas; este concepto es aplicado ya en el momento de presupuestar con cierto determinismo, lo cual significa asumir en alguna medida un grado de ineficiencia durante la producción como un hecho irreversible.

1.2 *Caracterización de ResCon*

La caracterización de residuos implica la determinación de cantidad y composición de los mismos. En el caso de los ResCon ambas cualidades son muy importantes a fin de planificar la gestión tanto interna (intraedificacional) como externa, evaluar pérdidas de materiales, analizar oportunidades de minimización y calcular el contenido energético.

En cuanto a la cantidad, diversos estudios de caracterización en construcción residencial recopilados por la EPA (Environmental Protection Agency) [1] en Estados Unidos han mostrado variaciones entre 18,7 kg/m^2 y 40,3 kg/m^2. El promedio ponderado fue calculado en 22 kg/m^2 .

Las unidades básicas para las cantidades de RCD en general son: kg/m^2, m^3/m^2, tn/día, kg/percápita/año, ton/año, ton/trabajo (en el caso de renovaciones). Cada una tendrá una aplicación diferente según el objetivo de la caracterización. Frecuentemente se utiliza kg/m^2, al referirse a la generación de residuos en función de los metros cuadrados construidos, y ton/día, para las cantidades de residuos entregadas a una instalación de tratamiento o disposición final.

La composición de los ResCon, refleja el tipo y distribución porcentual de las materias primas que

utiliza el sector de la construcción, y hay que tener en cuenta que éstas pueden variar de un país a otro en función de la disponibilidad de los mismos y los hábitos constructivos, de allí que existe una amplia heterogeneidad de datos disponibles.

En cuanto a los RCD en general, estos varían además según la actividad generadora, sea construcción, demolición o renovación de construcciones. La composición obtenida de diferentes centros de investigación en Estados Unidos [1] para distintas construcciones muestran una alta variabilidad en los porcentajes correspondientes a los distintos tipos de residuos, y ello es esperable por la gran cantidad que existe de distintas prácticas y tipos de construcción. La recolección de datos fue hecha además, bajo diferentes condiciones y nivel de detalle. La Tabla 1 resume algunos datos de composición.

Tabla 1. Composición de ResCon según la actividad generadora

	Const. Nueva Residencial % (1)	Const. Nueva Residencial % (2)	Renovación Residencial % (3)
Madera	42	67	45
Hormigón		5	
Ladrillos	6		
Tejados	6		28
Plásticos	2		
Metales	2		
Muro seco	27	20	21
Mezclas Escombro	15	8	6

En la columna (1) el mayor componente es la madera, seguido del muro seco. La columna (2) muestra el más alto componente en madera y esto es lógico pues las viviendas muestreadas poseían techo de madera. La columna (3) muestra una composición donde aumenta el porcentaje de residuos de techados y desaparece el concreto. Esto demuestra que muchos muestreos son necesarios antes de establecer un promedio representativo.

2 ESTRATEGIAS DE ECODISEÑO EN EL SECTOR EDILICIO

A diferencia de lo que ocurre en el sector industrial, que procesa grandes cantidades de recursos y libera ingentes emisiones en una superficie muy limitada, el sector edilicio presenta una distribución espacial extendida, lo que disimula en cierto modo la magnitud del impacto ambiental producido. Por este motivo no es habitual relacionar la imagen de un edificio con impacto ambiental.

La energía, es un insumo esencial para la supervivencia de la sociedad actual. Algunas cifras orientativas muestran que el sector es responsable del 40 % de la piedra, el ripio y la arena, del 25 % de la madera virgen, del 40 % de la energía y del 16 % del agua, sobre el total consumido por año en el mundo. Además, genera una cantidad de desperdicios comparable a la de los Residuos Sólidos Urbanos.

Desde una óptica ambiental abarcativa, un conjunto de estrategias proyectuales y tecnológicas, aplicables a la producción industrial, incluyendo la producción del hábitat, apunta a minimizar los impactos de los procesos involucrados en la misma, sobre los ecosistemas naturales. Generalmente conocido como "ecodiseño", su objetivo fundamental es alcanzar máximas reducciones en la intensidad material y los contenidos energéticos de materiales, componentes y operaciones tecnológicas comprendidas. Esta suma de operaciones se inicia en los procesos extractivos desde una cantera, incluye los flujos de materia y energía que requiere un determinado sistema urbano o edilicio durante su ciclo operativo y concluye con la incorporación de los residuos al ecosistema, al término de dicho ciclo. Propone, en una escala progresiva de intervención, una serie de posibilidades técnicas: reparación, reuso y reciclado.

En función de las características de los productos, son las estrategias de Ecodiseño que se aplican. En el caso de bienes durables, como son los edificios, donde los impactos más importantes se concentran sobre la etapa de uso, estas estrategias consideran particularmente los aspectos relacionados con la conservación de la energía y el uso de fuentes renovables, la eliminación de constituyentes tóxicos y otros que dificulten el mantenimiento y la facilidad de actualización. Para los bienes de un único uso, como los envases y el embalaje, las estrategias apuntan principalmente a la biodegradabilidad de los materiales y a la eliminación de materiales problemáticos al final del ciclo de vida.

Se deduce que en el sector edilicio las estrategias estén dirigidas a obtener óptimas condiciones de habitabilidad en los edificios con consumos mínimos de energía convencional, lo que en conjunto se conoce como "bioclimatología edilicia" o "diseño bioclimático". Podría considerarse incluida en el

"ecodiseño" ya que apunta solamente a minimizar la demanda de energía durante el ciclo operativo de los edificios, es decir, se limita a un solo tramo dentro del ciclo de vida total considerado por aquel. Sin embargo, razones de precedencia histórica y la vastedad de la problemática que aborda, le confieren identidad y relevancia propias.
Distintas estimaciones justifican la validez de estas estrategias, ya que muestran que con un diseño sensible al clima, y utilizando tecnologías ya disponibles se pueden reducir los consumos de climatización en un 60 % y para iluminación en un 50 % en edificios nuevos.

3 CONTENIDO ENERGÉTICO DE LOS MATERIALES

En los últimos años se ha comenzado a considerar que para aplicar las medidas mencionadas en el punto 2, es necesario fabricar materiales idóneos que generan a su vez un consumo de recursos y nuevas emisiones en otra región y sector: la industria que los fabrica. Algunos cálculos indican que la energía incorporada en los edificios equivale entre 7 a 20 años de la energía de operación según el clima, uso, tradición, condición social, entre otros aspectos. La cantidad de energía incorporada en el edificio es tan importante, que puede ser tan eficaz diseñar para reducir los consumos energéticos durante el uso, por ejemplo a través de un diseño bioclimático, como hacerlo teniendo en cuenta el contenido energético de los materiales.
Según un estudio realizado por Kohler [2], comparando las fases de construcción y remodelación y la de operación se encuentra que la mayoría de los factores de impacto ambiental muestran una relación de aproximadamente 1:6 para edificios de baja eficiencia energética y de 1:1 para edificios de alta eficiencia energética, para una vida útil de entre 80 y 100 años.
El contenido energético (o energía incorporada) de un producto es la cantidad de energía requerida para crearlo. Varias publicaciones muestran que la estructura es la principal responsable de la energía incorporada en un edificio [3]. Los valores publicados presentan el inconveniente de no especificar claramente cuáles ítems (directos, indirectos, transporte) han sido incorporados en ellos, pero permiten observar que existe una tendencia a aumentar la energía incorporada, para lograr una disminución en la energía consumida durante el uso de los edificios. Esta tendencia se prevé que continuará, debido a las mayores exigencias ambientales y energéticas de las reglamentaciones impuestas en varios países. En líneas generales, se puede decir que esta tendencia arroja resultados beneficiosos, pero cada caso particular requiere un análisis detallado para poder establecer si el balance entre estos dos consumos es positivo. Una de las aplicaciones del Análisis del Ciclo de Vida, es precisamente el de establecer el signo y el valor de este balance. La energía incorporada en un edificio es un indicador tosco del impacto que produce, ya que depende mucho de la tipología del edificio y del clima del sitio donde se encuentra.
En el ámbito local y regional, en cambio, es muy poca la información que se puede encontrar sobre los aspectos energéticos y ambientales de materiales edilicios, y es necesario dedicar mucho tiempo y esfuerzo para recopilar la información requerida. Un precedente lo constituye el trabajo realizado en Salta en la década de los 80, donde se calculan los consumos energéticos asociados con algunos materiales para el caso de esa provincia [4].

4 CALCULO DEL CONTENIDO ENERGÉTICO DE LOS RESCON PARA UN CASO PARTICULAR

A partir de datos de generación obtenidos en un estudio de caso particular se realiza una estimación del contenido energético de ResCon. se toma como base los datos de cantidad y composición de ResCon en una obra de edificación de una sola planta [5]. Para este caso se construyeron ocho unidades residenciales con el mismo proyecto arquitectónico de 65 m² cada una, tratándose de viviendas de construcción tradicional financiadas por el Instituto Provincial de la Vivienda en Mendoza.
Para la caracterización se utilizó el método directo, esto es la selección manual de residuos por tipo o categoría en la obra. A partir de allí se determina el peso y volumen, y con estos datos la tasa de generación para la obra bajo análisis. Se consideraron las siguientes categorías de residuos: escombros de hormigón, mezclas (suelo y mortero), ladrillos, losetas, yeso, hierro y metales, madera, papel y plásticos.
Las determinaciones efectuadas permiten obtener distintos Índices de generación de residuos referidos a la superficie construida, que serán utilizados para el cálculo del contenido energético.

La Tabla 2 expresa los Índices de generación en unidades de peso y los porcentajes de generación.

Tabla 2. Índices de generación por categoría de residuo en peso

Clasific.	Categoría	Cantidad (kg)	Ic (kg/m^2)	%
Inertes	Ladrillos	10628	20,50	31,8
	Mezclas	18445	35,58	55,35
	Escombro de h°	1035	2,00	3,11
	Losetas	389	0,75	1,17
Total inertes		30496	58,83	91,51
No especiales	Hierro	95	0,18	0,28
	Plásticos	69	0,13	0,21
	Papel	220	0,42	0,66
	Madera	680	1,31	2,04
	Yeso	1765	3,40	5,30
Total no especiales		2828	5,46	8,49
Total generado		33324	64,28	100,00

Puede observarse en la Tabla 2 que los residuos clasificados como inertes representan la gran mayoría, alcanzando un valor del 90 % respecto del total en peso.

Se debe señalar que los valores obtenidos para esta obra son una primera medida que necesita ser corroborada y contrastada por datos de otras obras similares.

En la obra bajo análisis se generaron muy pocos residuos peligrosos. Esto es porque las construcciones se entregaban al propietario en condiciones de "obra gruesa" terminada, lo que significa que no incluía pinturas, revestimientos. Sólo se generó un par de envases de aditivos de hormigón, los cuales no fueron segregados, como ocurre en la mayoría de las edificaciones donde no se gestiona los residuos peligrosos como tales. Este hecho aumenta los riesgos de contaminación al medio, pues prácticamente el 100% de los ResCon generados se destina a eliminación por vertido.

Para calcular el contenido energético de los residuos de la edificación en estudio, se utiliza información sobre el contenido energético de los materiales disponible en bases de datos internacionales [6], [7], [8] y [9], o bien han sido elaboradas por los autores [10], [11] y calculadas considerando las condiciones locales [12].

Estos datos presentan una variabilidad alta en algunos casos, ya que están determinados por las condiciones tecnológicas asociadas a los procesos productivos, al origen de la materia prima y a las distancias involucradas en los transportes, por lo que se tomarán valores medios para los cálculos. Dado el carácter exploratorio de este estudio, se considera que estas fuentes son adecuadas. En función de la relevancia de los resultados, se evaluará la necesidad de realizar cálculos específicos de los procesos productivos locales.

5 RESULTADOS OBTENIDOS

En la Tabla N° 2 y en la Figura N° 1 se muestra la distribución porcentual en peso de los ResCon producidos por m^2 de vivienda. Se observa que más de la mitad corresponde a mezclas seguido en importancia por los ladrillos (32 %), mientras que el resto de los materiales no muestran relevancias superiores a unos pocos puntos porcentuales.

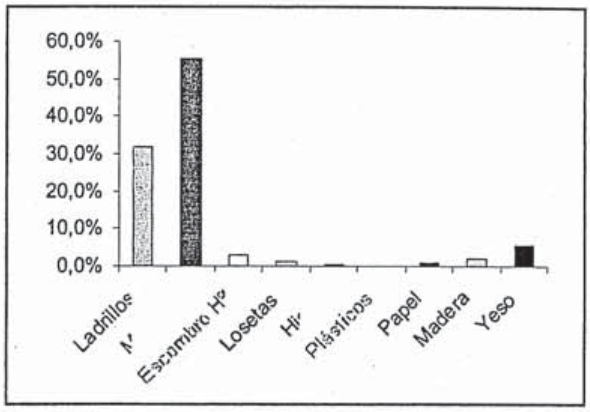


Figura 1. Distribución porcentual de la generación de ResCon por categoría en peso.

La Figura N° 2 muestra el contenido energético de los ResCon generados por m^2 de superficie de la vivienda analizada en relación al total. Se observa que los ladrillos son responsables de casi el 60 % del contenido energético de los residuos de la construcción, seguido por las mezclas (17 %), la madera (7 %) y los plásticos (6%).

El contenido energético de los ResCon por metro cuadrado de superficie alcanza los 375 MJ de energía, equivalente a 9,6 m^3 de gas natural, para un poder calorífico de 9300 kcal/m^3.

Para la vivienda considerada, esto representa casi 24341 MJ de energía, equivalentes a casi 695 m3 de gas natural. No se ha realizado una simulación térmica del edificio analizado, para poder establecer

una comparación de estos valores con los consumos de gas natural debido al uso.

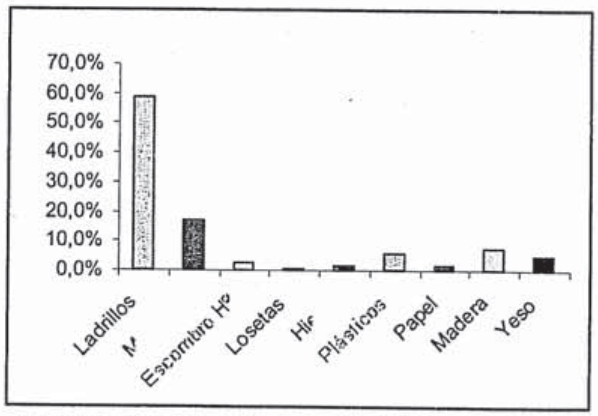


Figura 2. Distribución porcentual del contenido energético de los ResCon

Sin embargo, comparando con viviendas de superficie similar ubicadas en la provincia de Mendoza, este consumo equivale al de tres a cuatro meses de funcionamiento de la vivienda, incluyendo servicio de calefacción, cocción y producción de agua caliente sanitaria, si es construida en modo tradicional, o a más del doble de tiempo si tiene incorporadas estrategias de diseño bioclimático.

6 CONCLUSIONES

La gestión de los ResCon en obras de edificación es ineficiente en la región, causa efectos ambientales negativos y pérdidas económicas. La reducción del consumo de energía y la reducción de materiales de desecho son condiciones fundamentales para la protección del medio ambiente.

La minimización en el origen es una acción de prevención eficaz en el manejo de residuos, más aún cuando las posibilidades técnicas y económicas de reciclaje son muy limitadas por la misma realidad regional. Esto se traducirá en beneficios de tipo ambiental y económico tales como el ahorro de materias primas, ahorro de energías (electricidad, combustible), ahorro en el consumo de agua, reducción de pérdidas de materiales. Adicionalmente se conseguirá la reducción de accidentes y emergencias ambientales, reducción de riesgos laborales, mejor operatividad en la obra, mejor gestión de procesos, retorno adicional debido a la recuperación y venta de subproductos, disminución del costo de tratamiento y/o disposición final de los residuos, disminución de costos asociados a problemas ambientales y de seguridad, mejor imagen del desempeño ambiental y aseguramiento del acceso a mercados y créditos.

Las cifras encontradas en este trabajo reflejan lo que es conocido respecto de la relevancia de los consumos energéticos de los edificios en sus distintas etapas de ciclo de vida, siendo la etapa de uso la de mayor importancia. Sin embargo, el contenido energético de los materiales que se transforman en residuos durante el proceso constructivo constituye un desperdicio sin provisión de un servicio útil. Por otra parte, si se considera el déficit habitacional existente en el país, y la producción anual de viviendas requerida para satisfacerlo, el significado de estos resultados adquiere su real dimensión, considerando la problemática energética actual a nivel nacional y mundial. Esto tiene sus repercusiones no sólo en lo que se refiere a la disponibilidad actual y futura de recursos no renovables, sino además sobre la contribución al calentamiento global, la acidificación, la formación de smog, y otros impactos ambientales, que no han sido abordados en el presente trabajo, pero constituyen su línea de continuación.

Los resultados muestran además que, desde el punto de vista energético, los mayores beneficios se pueden obtener actuando con estrategias tendientes a disminuir los desperdicios de ladrillos, que representan el segundo componente en peso, pero el principal al considerar su contenido energético.

REFERENCIAS

[1] Environmental Protection Agency, (1998). Characterization of Building Related Construction and Demolition Debris in the United States. EPA 530-R-98-010. www.epa.gov.ar

[2] Kohler, N. (1998). Sustainability of new work practises and building concepts. Internet site of IFIB (Karlsruhe University).

[3] Cole, R., Kernan, P. (1996). Life-Cycle energy use in office buildings. Building and Environment, Vol 31, N. 4 (307-317).

[4] Lesino, G., Saravia, L. (1985). Energy Aspects of building materials in Argentina. INENCO.

[5] Mercante, I. (2005) Impacto ambiental de los residuos de construcción y demolición. Alternativas de gestión. Tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Cuyo.

[6] Goulding, J., Owen Lewis, J., Steemers, T. (1992). Energy in Architecture. The European Passive Solar Handbook. CEE

[7] Gugliermetti, F. (1986). L'analisi di processo nella determinazione del contenuto energetico dei materiali termoisolanti. Energie Alternative HTE, año 8, numero 40 mayo. (121-124)

[8] Gulisano, G., Marletta, L., Sapienza, V. (1998). Energy cost of building materials and Life-cycle Assessment. Proc. Of the PLEA'98, Lisbon, (521-524)

[9] Howard, N., Sutcliffe, H. (1994). Precious Joules. Building, 18, (48-50). March.

[10] Arena, A.P., Correa, E.N., de Rosa, C. (2002). Perfil ambiental del cemento pórtland producido en la región oeste Argentina, según la metodología del IPCC. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 6, N° 2, 2002. ISSN 0329-5184

[11] Arena, A. P., de Rosa, C. (2003). Life Cycle Assessment of energy and environmental implications of the implementation of conservation technologies in school buildings in Mendoza - Argentina. Building and Environment. The International Journal of Building Science and its Applications. Vol 38, N° 2, pp 359-368. Editor Professor E.H. Mathews

[12] Arena, A.P., Canizo, J. R., Sanchez, B. M. (2002). Perfil ambiental de la generación termoeléctrica en la Argentina en el cuatrienio 1997-2000. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 6, N° 2, 2002. ISSN 0329-5184

Determinación de la deposición ácida en Bahía Blanca, provincia de Buenos Aires. Cálculo de los factores de acidificación para su aplicación en estudios de Análisis de Ciclo de Vida

B Civit & P Arena

bcivit@lab.cricyt.edu.ar & aparena@frm.utn.edu.ar
Grupo CLIOPE – Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza
Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda. INCIHUSA CCT-Mendoza (CONICET)

D Allende & E Puliafito

david.allende@frm.utn.edu.ar & epuliafito@frm.utn.edu.ar
Grupo de Estudios Atmosféricos y Ambientales - Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza (CONICET)

RESUMEN: La evaluación del Ciclo de Vida de un producto clasifica sus emisiones en categorías de impacto, siendo una de ellas la de acidificación, que cuantifica el efecto de las emisiones ácidas mediante factores de equivalencia. En este trabajo se presentan los factores de equivalencia de acidificación realizados para la localidad de Bahía Blanca, provincia de Buenos Aires. Para ello se utilizó un inventario de emisiones del Polo Petroquímico y fuentes vehiculares de la zona, y se usó un modelo de dispersión gaussiano por soplos asociados a la topografía y meteorología local. Los valores de sensibilidad encontrados para los suelos de Bahía Blanca demuestran que la región bajo estudio es insensible a la deposición ácida.

Palabras clave: ACV – EICV - emisiones acidificantes – acidificación – factores de acidificación

ABSTRACT: The evaluation of the Life Cycle Assessment of a given product classifies its associated emissions in impact categories. One of the main considered categories is the acidification, which quantifies the effects of acid emission through equivalent factors. This paper presents the equivalent acidification factor for the city of Bahía Blanca (Buenos Aires). The emission rates were obtained from the Petrochemical Industries emission inventory and also from the vehicular sources activity of the city. This data were applied to a Gaussian dispersion puff model associated to the local topography and meteorology. The sensibility results for soils show no sensibility to acid deposition in the area under study.

Key Words: LCA – LCIA - acidifying emissions – acidification – acidification factors

1 INTRODUCCIÓN

Las emisiones de sustancias acidificantes que se liberan a la atmósfera por fuentes fijas o fuentes móviles tienen la propiedad de formar cationes H^+ que pueden modificar el pH de las superficies que las reciben. Esto ocasiona el proceso de acidificación, tanto acuática como terrestre, según sea el ecosistema receptor. Cuando la deposición ácida se produce sobre el suelo, su efecto acidificante puede ser amortiguado dependiendo de las características del suelo receptor. El poder amortiguante de un suelo frente a la deposición ácida es lo que determina la sensibilidad a sufrir acidificación. La sensibilidad varía de un tipo de suelo a otro de acuerdo a la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y a la saturación de bases (SB) que cada uno tenga. La combinación de estas dos propiedades determina la carga crítica (CC), que se define como el valor umbral por debajo del cual no se registra daño por acidificación. En Ref. [1] se establecen cinco clases de sensibilidad de suelos frente a la deposición ácida, siendo 1 la más sensible. El ACV, herramienta ampliamente difundida en la mayoría de los países europeos y en Estados Unidos para evaluar el impacto ambiental de productos, actividades o servicios consta, de cuatro etapas fundamentales: a) definición de objetivos; b) inventario; c) evaluación de impactos y d) interpretación. La tercera etapa, la Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV), relaciona las emisiones identificadas y cuantificadas en la etapa de inventario con el efecto observable que éstas producen. Los métodos de EICV comprenden diferentes categorías de impacto (calentamiento global, adelgazamiento de la capa de ozono, acidificación, formación de ozono fotoquímico, toxicidad humana, etc.), las cuales permiten cuantificar el impacto potencial que se genera a lo largo del ciclo de vida de un determinado producto o servicio sobre el ecosistema, la salud humana y el uso de los recursos naturales; o bien, estimar el daño que se genera con los mismos.

Los factores que relacionan las emisiones obtenidas en el inventario del ciclo de vida con el impacto potencial o daño para cada categoría de impacto se conocen como *factores de equivalencia*. La *acidificación* es una de las categorías de impacto consideradas en todos los métodos de EICV. Tiene carácter regional y su efecto varía de una región a otra. Los primeros métodos consideraban solamente las propiedades intrínsecas de las sustancias acidificantes para producir cationes H^+, siendo los factores de equivalencia de tipo genérico y por tanto aplicables en los estudios de ACV que se realizaran en cualquier lugar del mundo por no tener incluidas implicancias espaciales. Sin embargo, este enfoque se fue dejando de lado para abrir paso a metodologías más sofisticadas que permitieran calcular factores de equivalencia que tuvieran en cuenta las características del lugar donde se produce la emisión y del ecosistema que la recibe. Estos factores se conocen como "dependientes del sitio" Ref. [2] (Hauschild y Potting, 2006). Se realiza un tipo de diferenciación espacial distinguiendo entre distintos tipos de fuentes y el entorno que recibirá luego la deposición. La escala geográfica que incluye esta categoría de factores varía entre 50-500 km. Los ecosistemas receptores se analizan con una precisión máxima de 150 km. Estos factores incluyen las variaciones entre el ecosistema receptor y la fuente de emisión, conocida la tolerancia que cada uno tiene a tal exposición. Cuando en los estudios de ACV se emplean factores de equivalencia genéricos se pueden estar sobrevaluando impactos que en realidad carecen de relevancia en una región determinada. El panorama es peor aún cuando se evalúan los impactos ambientales asociados a un sistema producto aplicando factores de categoría dependientes del sitio en contextos diferentes para el que fueron desarrollados, conduciendo a resultados erróneos o carentes de sentido. Es por eso que en trabajos anteriores Ref. [3], [4] se estableció el modelo de impacto para la categoría acidificación, y se calculó los factores de equivalencia dependientes del sitio para la provincia de Mendoza. El propósito de este trabajo es encontrar los valores de deposición acidificante para la ciudad de Bahía Blanca, provincia de Buenos Aires. Los factores de acidificación dependientes del sitio para la ciudad mencionada y sus alrededores se calcularán aplicando la metodología desarrollada anteriormente para el caso de Mendoza.

2 CÁLCULO DEL FACTOR DE ACIDIFICACIÓN

2.1 Región estudiada

La región considerada en este estudio se ubica en la zona sur de la provincia de Buenos Aires, comprendiendo la ciudad de Bahía Blanca y la zona portuaria de Ingeniero White. La ciudad de Bahía Blanca (38° 44"de latitud sur y 62° 16"de longitud oeste), es una de las ciudades portuarias más importantes de la Argentina, siendo la cabecera del sudoeste de la Provincia de Buenos Aires, con una

producción base agrícola-ganadera, consolidándose como centro urbano proveedor de bienes y servicios para la zona circundante. Es centro de importantes empresas agroindustriales y del sector petroquímico, dando lugar a un proceso de industrialización, que en estos últimos años se ha convertido en el motor dinamizador de la economía de la ciudad. La población, estimada es de 300.000 habitantes, lo que representa el 2,4% del total de la población de la Provincia de Buenos Aires.

2.2 Modelo de impacto aplicado

El indicador de acidificación para una emisión ácida se calcula según la Ec. 1

$$FA = \sum_i PA_i x m_i \qquad (1)$$

Donde FA es el factor de acidificación; PA_i es el potencial de acidificación de la sustancia i; y m_i es la masa en kg de la sustancia emitida i.
El factor dependiente del sitio se calcula relacionando la cantidad de sustancia acidificante depositada sobre un área o región determinada y la carga crítica que el suelo de esa región o área pueda tolerar sin sufrir impacto por acidificación, según sea la sensibilidad que presentan (Ec. 2) y multiplicándolo luego por el potencial de acidificación que representa la capacidad de una sustancia acidificante dada para liberar cationes hidrógeno Ec 3.

$$FS_{reg} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left(D_{nceldas} - CC_{reg}\right)}{CC_{reg}} \qquad (2)$$

$$FS_i = FS_{reg} x PA_i \qquad (3)$$

Si la deposición ácida es menor que la CC, el factor FS_{reg} será nulo, y por lo tanto será también nulo el factor dependiente del sitio. En caso contrario, FS_{reg} será igual al valor encontrado, y el factor dependiente del sitio será igual al resultado de la Ec.3.
El factor de equivalencia para la categoría de impacto acidificación calculado teniendo en cuenta las características del lugar se obtiene entonces con la ecuación 4.

$$FA_{reg} = \sum_i FS_i x m_i \qquad (4)$$

FA_{reg} se expresa en kg SO_2 eq.

3 EMISIONES ACIDIFICANTES Y DEPOSICIÓN ÁCIDA

Para conocer la cantidad de sustancia acidificante que se deposita sobre el suelo se necesita un modelo de química troposférica que permita conocer la dispersión de las sustancias emitidas, considerar las reacciones químicas que sufren los gases contaminantes antes de depositarse y por último determinar la cantidad de sustancia depositada sobre la región considerada.

3.1 Dominio de modelado

El domino de modelado cubre un área de 40 por 40 km^2, en una zona relativamente plana dominada por elevaciones de hasta 150 m (MSL) hacia el noreste. El sector bajo estudio está comprendido entre las longitudes 62,0° W y 62,5° W y las latitudes 38,5 °S y 39,0 °S, conteniendo la zona urbana de Bahía Blanca, Ingeniero White y la ciudad de Punta Alta.

3.2 Meteorología

El clima de la zona es templado, subhúmedo con temperaturas moderadas y alta variabilidad. En el área de influencia se va tornando seco en dirección al oeste. La temperatura media anual es de 15,1°C con variaciones entre 42°C y -11,8°C . Los meses de junio y julio son los más fríos con una media de 7,25 °C, siendo enero el más cálido con una media de 22,3°C, lo que corresponden a los mínimos y máximos de radiación solar. La precipitación media anual de 620 mm, medidos durante la última década, Los meses más lluviosos son: marzo, octubre, febrero y noviembre.
La circulación del aire está caracterizada por vientos medios de 5,3 m/s, con un 11,3 % de calmas (velocidades inferiores a 0,5 m/s) en el año. Los vientos predominantes son del sector N-NNW con un 21% de los casos, lo que se explica por la presencia semi permanente del anticiclón del Sur. (Ver Figura 1).
Los datos meteorológicos utilizados para el modelado consisten en un conjunto de mediciones horarias de superficie obtenidas por el Servicio Meteorológico Nacional en la estación meteorológica Comandante Espora, ubicada en 38,72° S y 62,17° W durante los años 1989 y 1990.

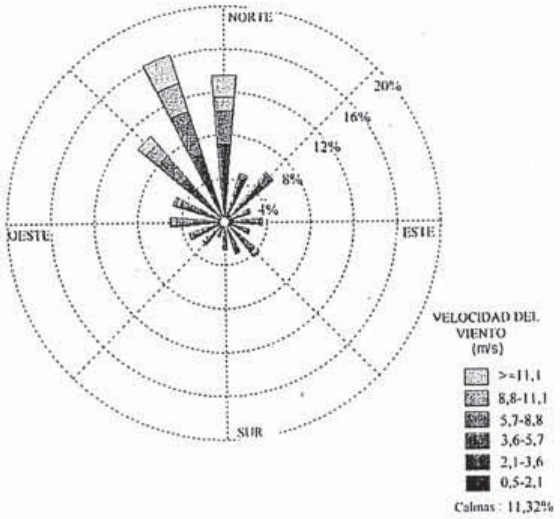


Figura 1. Rosa de vientos mostrando circulación promedio en la Ciudad de Bahía Blanca.

3.3 Fuentes de emisión

La calidad del aire en la zona de Bahía Blanca y el Puerto de Ingeniero White se halla intensamente influenciada por la actividad industrial desarrollada en el Polo Petroquímico. Un Comité Técnico Ejecutivo (CTE), encargado de controlar la calidad del aire del Polo, ha realizado un inventario de emisiones del Polo basado en mediciones de chimeneas y declaraciones juradas. Asimismo, mide la calidad del aire con dos estaciones de monitoreo en forma continua y automática.

Las principales actividades del Polo Petroquímico de Bahía Blanca que impactan la calidad del aire provienen de una central térmica de generación de electricidad; una refinería de petróleo productora de combustibles líquidos y asfaltos; una planta concentradora de cereales, una empresa elaboradora de amoníaco y fertilizantes; y varias empresas petroquímicas generadoras de numerosos productos para industria químicas. El total de contaminantes gaseosos emitidos por las industrias se distribuyó en 49 fuentes puntuales georreferenciadas, basándose en las Declaraciones Juradas de Efluentes gaseosos y datos de emisión internacionalmente establecidos, ver Ref. [5].

Las emisiones correspondientes al sector transporte se establecieron utilizando factores de emisión por combustible consumido y se asignaron esos valores a fuentes de áreas urbanas. De igual forma, las emisiones residenciales y de pequeñas industrias, producto del consumo de gas para calefacción, se asignó a una gran fuente de área con emisión constante.

3.4 Sustancias acidificantes consideradas

De los gases que pueden causar acidificación, se consideró solamente el efecto de compuestos de azufre: óxidos de azufre (SO_2), y compuestos de nitrógeno: óxidos de nitrógeno (NO_x) y amoníaco (NH_3). Los contaminantes se han considerado en dos escenarios diferentes: a) no reactivos, y b) teniendo en cuenta las reacciones químicas que se producen en la atmósfera previamente a la deposición. Precisamente, uno de los criterios utilizados para la elección de CALPUFF es su capacidad para modelar los efectos de transformaciones químicas de una manera consistente con la formulación del modelo de soplo. Para la segunda opción, se ha utilizado un esquema de reacción de seudo primer orden para la conversión de SO_2 en SO_4^{2-} y NO_x ($NO + NO_2$) en NO_3^-. Durante períodos de luz solar, cuando la química de radicales libres en fase gaseosa está activa, se utiliza la concentración de ozono de fondo y la intensidad de luz solar como sustituto de la concentración de OH. Durante la noche las oxidaciones de SO_2 y NO_x resulta de reacciones heterogéneas mucho más lentas, con velocidades de oxidación de 0,2% y 2,0% para SO_2 y NO_x respectivamente, dadas por defecto en el modelo.

3.5 Receptores

Los resultados de emisión han sido volcados sobre una grilla cartesiana de 1.600 receptores separados a un km de distancia en cada eje.

3.6 Sistema de modelado CALPUFF

CALPUFF es un avanzado sistema de modelado de calidad de aire y de meteorología en estado no estacionario, adoptado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) como modelo preferido para evaluar el transporte e impacto a largo alcance de contaminantes, implicando condiciones meteorológicas complejas.

Este modelo tipo "puff" o soplo, representa una pluma continua de material contaminante como una serie de paquetes discretos la concentración en un receptor se calcula como la suma de todos los soplos cercanos al mismo, para luego promediarse en el salto de tiempo. La ecuación básica para el cálculo de la contribución de un soplo en un receptor es:

$$C = \frac{q}{2\pi\sigma_x\sigma_y} g \exp\left[-\frac{d_a^2}{2\sigma_x^2}\right] \exp\left[-\frac{d_c^2}{2\sigma_y^2}\right] \quad (5)$$

$$g = \frac{2}{(2\pi)^{1/2}\sigma_z} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \exp\left[\frac{-(H_e + 2nh)^2}{2\sigma_z^2}\right] \quad (6)$$

Siendo C la concentración en el receptor en g/m^3, Q la masa de contaminante en el soplo en g, σ_x, σ_y, σ_z, las desviaciones estándar de la distribución gaussiana (en m) en las direcciones del viento, a través del viento y vertical respectivamente, d_a es la distancia en metros del centro del soplo al receptor en la dirección del viento, d_c es la distancia en metros del centro del soplo al receptor en la dirección perpendicular al viento, g es el término vertical de la ecuación de Gauss en m^{-1}, H_e es la altura efectiva desde el suelo al centro del soplo en metros y h es la altura de capa de mezcla en metros. La sumatoria en el término vertical tiene en cuenta posibles reflexiones entre el suelo y la capa de mezcla Ref. [6].

3.7 Cálculo de la deposición ácida

El método aplicado para el cálculo de los factores de acidificación compara la deposición ácida con la carga crítica que el suelo es capaz de tolerar sin sufrir acidificación. Esto significa que, una vez que los gases acidificantes se han emitido y dispersado, parte de ellos se deposita sobre el suelo causando acidificación terrestre. Como se mencionó en secciones anteriores, este efecto adverso puede disminuirse debido a la capacidad amortiguadora de los suelos receptores dependiendo de su sensibilidad. La deposición, ya sea húmeda o seca, puede ocurrir cerca de la fuente de emisión o a cientos de Km de ella dependiendo de las condiciones atmosféricas, y es el proceso más importante en la remoción de contaminantes de la atmósfera.

3.8 Sensibilidad del Suelo

La capacidad amortiguadora de los suelos se basa en dos parámetros: saturación de bases (BS) y capacidad de intercambio catiónico (CIC). La combinación de ambos da como resultado cinco clases de sensibilidad desde la clase 1, que representa el suelo más sensible. De acuerdo Mapa de Suelos de la FAO Ref. [7], Bahía Blanca tiene suelos con sensibilidad clase 5, es decir, suelos insensibles a sufrir acidificación.

3.9 Carga crítica

Una vez que se determinó la sensibilidad del suelo receptor, se comparó la cantidad de sustancia acidificante depositada con la carga crítica que el suelo puede tolerar en la región analizada. Si no hay exceso de la carga crítica, no se producirá acidificación.

4 RESULTADOS Y CONCLUSIONES

4.1 Cantidad depositada y distribución de cada contaminante

Las cantidades promedio depositadas en meq/m^2 año de cada contaminante se muestran en la Tabla 1. Las Figuras 2, 3 y 4 muestran la distribución de la deposición de NO_x, SO_2 y NH_3 respectivamente.

Tabla 1. Cantidades promedio depositadas

Gas acidificante	Deposición (meq/m^2 año)
NOx	5,368
SO_2	58,77
NH_3	53,42

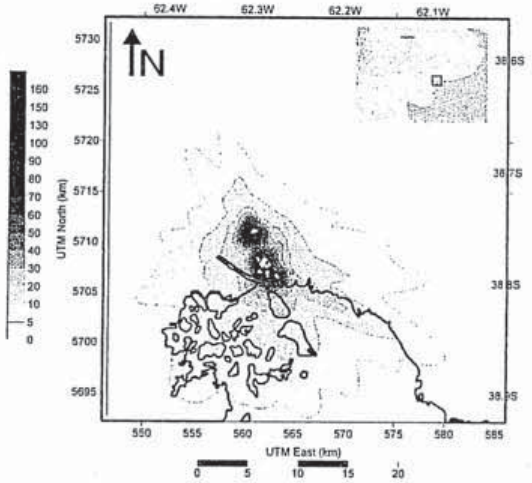


Figura 2. Distribución de la deposición de NOx, en meq/m^2 año para la zona bajo estudio. Los puntos blancos representan fuentes puntuales de emisión.

4.1 Factor de acidificación resultante

Los valores de sensibilidad encontrados para los suelos de Bahía Blanca demuestran que la región bajo estudio es insensible a la deposición ácida.

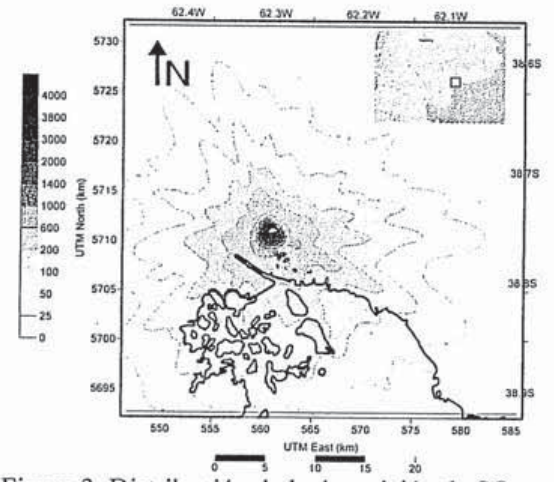


Figura 3. Distribución de la deposición de SO_2 en meq/m^2 año para la zona bajo estudio. Los puntos blancos representan fuentes puntuales de emisión.

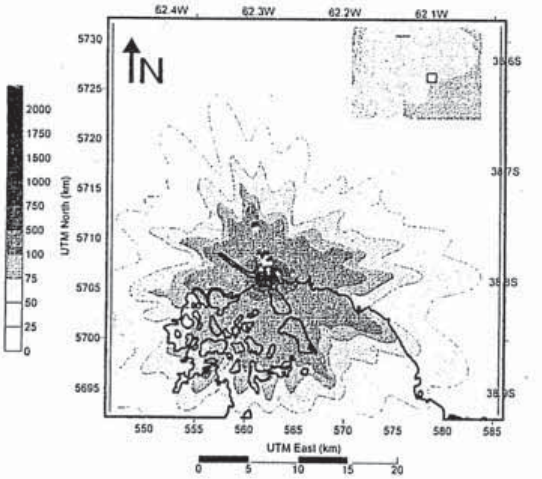


Figura 4. Distribución de la deposición de NH_3 en meq/m^2 año para la zona bajo estudio. Los puntos blancos representan fuentes puntuales de emisión.

Además, la cantidad que se deposita sobre el suelo receptor es del orden de 117,5 meq/m^2 año, la cual excedería la carga crítica de un suelo clase 3, pero es despreciable para un suelo clase 5. FS_{reg} resulta igual a 0 meq H^+/m^2año para los tres gases considerados. Aplicando la ecuación 3 los factores dependiente del sitio resultan ser también nulos, y en consecuencia, el factor de acidificación para la región estudiada expresado en kg SO_2 eq es de 0 kg SO_2 eq. Esto significa que en el corto plazo las emisiones acidificantes no causarán acidificación terrestre. Respecto a los trabajos realizados con anterioridad (Ref [3] y Ref [4]) se han incorporado herramientas más refinadas para al cálculo de la dispersión de contaminantes. Se ha logrado representar de forma más adecuada la situación de dispersión y transporte de sustancias al incluir los efectos de terreno, una parametrización meteorológica más compleja y la incorporación de reacciones químicas.

Finalmente, los resultados expuestos demuestran que el uso de factores de acidificación foráneos en estudios de ACV que se realizan en la región considerada de la Argentina efectivamente conducen a resultados erróneos.

REFERENCIAS

[1] S Cinderby et al "Global Assessment of Ecosystem Sensitivity to Acidic Deposition", SEI, Stockholm, Sweden, pp. 19, 1998.

[2] J. Potting and M. Hauschild. "Spatial Differentiation in Life Cycle Impact Assessment". Int J LCA 11- Special Issues1 (2006) – 11-13, 2006

[3] B Civit, A. P. Arena y S. E. Puliafito. Factores de acidificación para la región árida centro-oeste argentina, Encuentro de Investigadores y Docentes de Ingeniería, Mendoza, 3, 4 y 5 de octubre. Trabajo expuesto oralmente, seleccionado y publicado completo en Rivera, S y Nuñez Mc Leod (ed) Desarrollos e Investigaciones Científico-Tecnológicas en Ingeniería, pág 299-304. ISBN 967-43-9997-X.

[4] B. Civit, A.P. Arena and S.E Puliafito. Civit, B; Arena, AP; Puliafito, SE (2005) Site-dependent acidification factors for argentinean western arid region, 2nd International Conference on Life Cycle Management, Barcelona, 5 – 7 de septiembre. ISBN 84-609-6564-3

[5] S. E. Puliafito, D. Allende. "Calidad de aire en ciudades intermedias". Revista Proyecciones. Volumen 5. N° 2 pp 33-52, 2007

[6] J.S. Scire, D.G Strimaitis, R.J. Yamartino, A user's guide for the CALPUFF Dispersion model (Version 5.0). Earth Tech, Inc., Concord, 2000

[7] FAO/UNESCO (2003) Digital Soil Map of the World and Derived Soil Properties. Land and Water Digital Media Series. ESRI Corporate Headquarter

Evaluación del daño a la salud humana causado por el ruido proveniente de aerogeneradores

A. Rivarola, A.P.Arena
andreari@frm.utn.edu.ar;
Grupo CLIOPE "Energía, ambiente y desarrollo sustentable"
Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza.

RESUMEN: La metodología del Análisis del Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta que se utiliza para analizar productos, sistemas y servicios desde el punto de vista ambiental, considerando diversas categorías de impacto. La aplicación de esta metodología para la evaluación del impacto asociado a la energía eólica se ha popularizado durante los últimos años, impulsada por la competitividad que presenta esta tecnología. Sin embargo, categorías de impacto relevantes para esta alternativa energética no son consideradas, tales como el ruido, probablemente debido a la ausencia de un método de análisis adecuado. En este trabajo se propone una metodología de evaluación para la categoría de impacto ruido y la cuantificación del daño que el ruido proveniente de esta fuente causa sobre la salud humana, en unidades de DALY (Disability Adjusted Life-Years). Se ha evaluado el daño a la salud, en forma de disturbios en el sueño y en la comunicación, que causará un incremento del nivel de ruido debido, respectivamente, al funcionamiento de una y dos turbinas con respecto al ruido de fondo existente en la región donde se encuentra ubicada la población expuesta.

Palabras clave: impacto del ruido, disturbios en el sueño, disturbios en la comunicación, DALY

ABSTRACT: Life Cycle Assessment (LCA) is a methodology which has been used for the analysis of systems, products and services from the environmental point of view, taking into consideration different impact categories. In the last years several studies have been performed in order to analyze the environmental impact caused by the production of wind energy, motivated by the increasing competitiveness of this energy alternative. These studies do not take into consideration impact categories related with the operational phase of wind energy, such us noise production, probably due to the lack of suitable assessment method for that category. In this article an assessment methodology for the evaluation of the noise damage on the human health caused by the operation of wind turbines is proposed, using DALY (Disability Adjusted Life-Years) to express the amount of damage to human health. The disturbances produced by the noise generated by one and two wind turbines on the sleep and communication have been evaluated as compared to the background noise and measured in terms of damage to the human heath.

Key Words: noise impact, sleep disturbance, communication disturbance, DALY

1 INTRODUCIÓN

Las fuertes preocupaciones ambientales, sumado a las asociadas a la disponibilidad futura de las fuentes convencionales, están dando un gran impulso al desarrollo de las energías renovables. Entre las distintas alternativas existentes, la energía eólica es en la actualidad la más competitiva desde el punto de vista económico, exceptuando las grandes represas hidroeléctricas, cuando se trata de producir energía eléctrica de origen renovable. En los últimos años esto ha determinado un aumento constante en la potencia instalada en los parques eólicos, así como en la potencia unitaria de los aerogeneradores que se están diseñando y construyendo.

Desde el punto de vista ambiental, surge la preocupación acerca de cuán conveniente es esta tecnología, frente a las alternativas más tradicionales. La metodología usual para responder a este cuestionamiento es la del Análisis del Ciclo de Vida, que considera no sólo los impactos producidos durante la etapa de uso, sino que incluye todos los consumos y emisiones asociados a todas las etapas del ciclo de vida de la tecnología analizada, esto es la manufactura (considerando también todas las operaciones requeridas para la extracción de la materia prima, procesos productivos, transporte, instalación, etc), uso, mantenimiento y disposición final. Si bien existen antecedentes en la literatura internacional sobre estos estudios (ver por ejemplo Ref. [1], [2], [3]), todos utilizan por lo general las categorías de impacto usuales en estudios de ACV (calentamiento global, acidificación, adelgazamiento de la capa de ozono, eutrofización, etc), pero no incluyen impactos que son característicos de las tecnologías energéticas eólicas, como los daños sobre el avifauna, el ruido, el impacto visual, etc.

En este trabajo se propone un desarrollo preliminar de la categoría de impacto "ruido" para su inclusión en estudios de ACV, proveniente de la etapa de funcionamiento del aerogenerador y la cuantificación de este impacto sobre la salud humana.

2 PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DEL RUIDO

El ruido es considerado un elemento indeseado en cualquier ambiente. Llega a lugares de trabajo, casas, lugares recreacionales etc., creando disturbios en cualquier momento del día. Las consecuencias que tiene sobre la salud humana son muy diversas y dependerán de la fuente que lo produce, de la ruta de propagación y de la cercanía de la fuente al receptor. La Tabla 1 muestra cual es el porcentaje de la población del Reino Unido, afectada por diferentes fuentes de ruido.

Tabla 1: Fuentes de ruido vs. población afectada. Reino Unido. Ref. [4].

Fuente de ruido	% de escucha	población presenta molestias debido a	afectada presenta molestia mayores debido a
Tránsito de Autos	89	23	16
Aviones	83	13	8
Niños	72	14	8
Animales	55	16	9
Personas	53	8	3
Trenes	35	2	0,5
Fábricas	13	4	1
Construc.	12	3	0,5

Al analizar el ruido generado por las turbinas eólicas, se diferencia el ruido mecánico del aerodinámico. El primero es generado por todas las partes móviles: generador, ventiladores, elementos auxiliares, caja de engranajes, en tanto el segundo es el que se produce cuando el aire pasa a través de las palas de la turbina, este último se asemeja a un silbido, lo cual lo diferencia del ruido de fondo, y es considerado el más molesto.

En los últimos años, la tecnología de fabricación de aerogeneradores ha ido evolucionando dando como resultado turbinas más silenciosas, sin embargo el ruido generado por estos equipos es aún de interés público. El impacto que este ruido produce depende de:

- La frecuencia, nivel de intensidad, distribución de frecuencia, etc.
- Niveles de ruido de fondo
- Características del terreno entre emisor y receptor
- Naturaleza del receptor

En general los efectos del ruido de turbinas sobre las personas pueden ser clasificados en dos categorías (Ref. [5]):

Efectos subjetivos: molestias, falta de satisfacción, molestia.

Interferencias con actividades: como el sueño, el habla y el aprendizaje.

2.1 *Materiales y métodos*

El trabajo de investigación fue ejecutado en dos etapas: la etapa de relevamiento bibliográfico, con la sistematización de la información, y la etapa operativa, donde por medio de la información obtenida se realiza el tratamiento de los datos principales, y se los aplica para la obtención de la metodología buscada, compatible con el Análisis del Ciclo de Vida (ACV).

3 CASO DE ESTUDIO.

Para el presente trabajo, que pretende lograr un desarrollo metodológico, se buscó una región donde hubiera registros adecuados de la información necesaria. Para ello se tomó la región donde se encuentra ubicada la granja eólica de Carland Cross, Cornwall en Inglaterra, debido a que presenta una topografía sencilla y adecuadamente descripta, se encuentra a 225 m de una población que percibe los efectos del ruido causado por el funcionamiento de la granja, y existen mediciones de los parámetros principales. La granja cuenta con 15 turbinas Vestas Windane 34 de 400 kW cada una. En este análisis se evaluará el impacto que tendrá sobre la salud de una población cercana: a) el incremento de ruido generado por el funcionamiento de una turbina con respecto a la situación sin turbina, y b) el generado por el agregado de una 2° turbina.

4 METODOLOGÍA

Para el desarrollo de esta nueva categoría, se adoptan los lineamientos del Eco-Indicador 99, uno de los métodos de evaluación de impactos del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) más difundidos, del tipo orientado al daño, que evalúa distintas categorías de impacto en relación a tres categorías de daño: daño a la Salud Humana, a la calidad de los recursos y al ecosistema.
Las metodologías orientadas al daño establecen una relación entre los resultados del inventario dentro del ACV y las categorías de daño que consideran. Esta vinculación se hace a través de modelos. En nuestro análisis se establece una relación entre el ruido proveniente de aerogeneradores y las consecuencias que este tendrá sobre la salud humana. El modelo que se empleó se conoce como cadena causa-efecto, el mismo se conoce, por su aplicación a emisiones de contaminantes gaseosos. Debido a esto, para poder ser aplicado a ruido de aerogeneradores se ha planteado la hipótesis de que el concepto de emisiones de compuestos químicos puede ser reemplazado por emisiones de ruido. A continuación se presentan las cuatro etapas de análisis de la cadena causa-efecto, las cuales posteriormente se desarrollan con mayor detalle:

- Análisis de destino: describe el procedimiento para calcular el incremento de la emisión de ruido sobre el ambiente.
- Análisis de exposición: vincula el aumento de la emisión de ruido a la dosis. El resultado de este análisis es el número de personas que son afectadas por un incremento específico del nivel de ruido.
- Análisis de efecto: relaciona la dosis a un número de efectos sobre la salud. Los efectos analizados fueron: disturbios en la comunicación y el sueño.
- Análisis de daño: describe la extensión total de daño sobre la salud humana, el cual es representado por los efectos a la salud

Para el daño sobre la salud humana se utilizará la unidad DALY (Disability adjusted life years) propuesta por la asociación mundial de la salud Ref. [6].
El resultado de aplicar este modelo para ruido de aerogeneradores, consiste en poder expresar el daño a la salud humana causado por un incremento de ruido en DALY, lo que luego permite realizar comparaciones con el daño producido por otros impactos. Para el desarrollo del modelo se tomaron los antecedentes y consideraciones hechas por Müller-Wenk en su análisis del ruido proveniente del tráfico, Ref. [7] y las características específicas que se advierten al analizar el ruido proveniente de esta fuente.

4.1 *Cadena Causa-Efecto*

Se analizaron las principales características de los modelos empleados en la evaluación de ruido de aerogeneradores.

Tabla 2. Comparación de Modelos de Evaluación de ruido aplicados a Turbinas eólicas. Ref. [8], [9], [10], [11] y [12]

Modelo	Característica
IEA	Se basa en la propagación esférica .Incluye absorción del aire. No considera efectos de absorción del terreno
NORDFORSK	Distribución geométrica Incluye absorción del aire Reflexión y apantallamiento por obstáculos, vegetación y Considera efectos de absorción del terreno Modela los efectos de la velocidad y dirección del viento
ENM	Distribución geométrica Incluye absorción del aire y viento Discontinuidad y atenuación del terreno Efecto de temperatura Tomar como datos de entrada la digitalización del terreno del sitio. Modela los efectos de la velocidad y dirección del viento
RAY THEORY	Incluye absorción atmosférica y del terreno Refracción y difracción de ondas Turbulencia atmosférica

En este trabajo se tomaron valores provenientes del modelo RAY THEORY, un modelo de propagación avanzado, basado en el seguimiento de sonido como rayos. Este ha sido desarrollado para simular con mayor exactitud los efectos del terreno y del aire, tomando en cuenta la variación espacial del terreno, velocidad del viento y de la temperatura en detalle. Este modelo ha sido validado para terrenos con topografías sencillas y se ha empleado para analizar el efecto del medio de propagación en terrenos complejos Ref. [12]. Los resultados de RAY THEORY se adecuan bien a las mediciones en el lugar y a los valores obtenidos por los modelos IEA Y CONCAWE. Cabe destacar, considerando que el terreno es simple, que un modelo sencillo como el IEA arroja resultados aceptables con una sobreestimación del orden de los 3 dB (A) Ref. [13].

4.1.1Análisis de destino

En esta etapa se calcula el incremento de ruido, que se produce para dos situaciones: a) ruido producido por un aerogenerador, comparado con el ruido de fondo; b) idem para dos aerogeneradores.

El análisis se realizó en la región de Carland Cross, Inglaterra. Debido a que a distancias mayores que el diámetro del rotor una turbina puede ser tratada como una fuente puntual Ref. [13], se consideró que los aerogeneradores de los casos analizados se comportan como fuentes puntuales de emisión de sonido. Los cálculos de nivel de ruido fueron realizados con respecto a un receptor puntual: la villa poblada más cercana al emisor. Para calcular el incremento de ruido se calcularon los valores de nivel de presión de sonido continuo equivalente (LAeq,T) del equipo con respecto a la zona de recepción, promediados para las horas de trabajo diurnas y nocturnas de un periodo de tiempo T = 1 año. A continuación se presentan los pasos realizados para el cálculo de los LAeq,T, partiendo de los valores de nivel de ruido continuo equivalente LAeq, correspondientes a mediciones, predicción del modelo Ray Theory y ruido de fondo, a 250 m de la fuente. Ref. [11]

Tabla 3. Nivel de presión de sonido continuo equivalente a 250 m de la fuente. Ref.[12]

Tipo de dato	(LAeq) Nivel de presión de sonido continuo equivalente en dB(A), a 200 m de la fuente.
Ruido de fondo	37
Medición	39
Ray Theory	38

El valor de ruido de fondo LAeq de fondo empleado se basa en información estadística del sitio. Ref. [14].

Para determinar el LAeq,T a partir de los valores de la Tabla 3 se calculó el nivel de ruido observado día-noche para la turbina, Ldn,obs y el nivel de ruido día-noche con respecto al ruido de fondo, Ldn,fondo. A continuación se plantean las Ecuaciones 1, 2 y 3 empleadas en los cálculos, Ref. [13]:

$$Ldn,obs =$$

$$10\log_{10}\left[\frac{15}{24}10^{\left(\frac{LAeq}{10}\right)}\ \ \frac{9}{24}10^{\left(\frac{LAeq\ +10}{10}\right)}\right] \qquad (1)$$

$L_{dn,obs} = 44{,}4$

$L_{dn,fondo} =$

$$10\log_{10}\left[\frac{15}{24}10^{\left(\frac{L_{fondo}}{10}\right)} + \frac{9}{24}10^{\left(\frac{L_{fondo}+10}{10}\right)}\right] \quad (2)$$

$$L_{dn,fondo} = 10\log_{10}\left[\frac{15}{24}10^{\left(\frac{37}{10}\right)} + \frac{9}{24}10^{\left(\frac{37+10}{10}\right)}\right]$$

$L_{dn,fondo} = 43{,}4$

Sobre la base del régimen de viento de la zona analizada y para velocidades de viento de 4,5 m/s, se estimó que el tiempo de operación del equipo será del 70%. Ref. [13]. Este valor se empleará para calcular el nivel de ruido continuo equivalente anual:

$L_{anual,obs} =$

$$10\log_{10}\left[f\,10^{\left(\frac{L_{dn,obs}}{10}\right)} + (1-f)\,10^{\left(\frac{L_{dn,back}}{10}\right)}\right] \quad (3)$$

$L_{anual,obs} =$

$$10\log_{10}\left[0{,}7 * 10^{\left(\frac{44{,}4}{10}\right)} + 0{,}3 * 10^{\left(\frac{43{,}4}{10}\right)}\right]$$

$L_{anual,obs} = 44{,}1$

A continuación se presentan los casos analizados:

a) Ruido de fondo (Ldn, fondo) y Ruido trabajando un aerogenerador (Lanual, obs.)

$\Delta LAeq,T = L_{anual,obs\,1T} - L_{dn,fondo}$

$\Delta LAeq,T = 44{,}1 - 43{,}4$

$\Delta LAeq = 0{,}7$ dB(A)

b) Ruido de fondo (Ldn, fondo) y Ruido trabajando con 2 aerogeneradores (Lanual, obs_{2T}) La expresión 4 permite el cálculo del efecto combinado de N turbinas, Ref. [13].

$$L_{anual,obs.total} = 10\log_{10}\sum_{i=1}^{N}10^{\frac{L_{anual,obs,i}}{10}} \quad (4)$$

$\Delta LAeq,T = L_{anual,obs2T} - L_{dn,fondo}$

$\Delta LAeq,T = 47{,}11 - 43{,}4$

$\Delta LAeq = 3{,}71$ dB(A)

4.1.2. Análisis de exposición

Para determinara el impacto que un incremento en el nivel de ruido tendrá sobre la salud, se necesita conocer la frecuencia de distribución de la población con respecto a diferentes rangos de nivel de sonido. Estos rangos corresponden al ruido de fondo existente. Este tipo de relaciones se encuentra con mayor frecuencia para el ruido proveniente del tráfico, trenes y aviones Ref. [15]. En general, son pocos los países que en la actualidad cuentan con este tipo de datos. Una alternativa que permitiría obtener dicha relación, sería contar con mapas de ruido e información referida al número de habitantes de la zona analizada. En nuestro caso, evaluamos la posibilidad de trabajar con el mapa de ruido de Inglaterra, pero debido a que el mismo ha sido confeccionado para Londres y las ciudades más cercanas Ref. [16], no es representativo de la región analizada, ya que los parques eólicos, se encuentran normalmente en zonas rurales.
Por este motivo se utilizó como referencia la información correspondiente a la villa más cercana a Carland Cross, St Newlyn East. La misma cuenta con 1230 habitantes y representara la localización más rural. Ref. [17]

4.1.3. Análisis de Efecto

La exposición al ruido proveniente de diferentes fuentes es comúnmente expresada como nivel de presión del sonido promedio en un periodo de tiempo. Esto significa que niveles de presión de sonido idénticos para un periodo de tiempo dado pueden derivar de un gran número de eventos de sonido con niveles relativamente bajos o inaudibles o de pocos eventos con niveles altos. Este concepto técnico no está de acuerdo con la experiencia común de cómo el ruido ambiental es experimentado o con las características neurofisiológicas del sistema receptor humano. La percepción humana del ambiente a través de la visión, oído, tacto, sabor y olor se caracteriza por una buena discriminación de las diferentes intensidades de los estímulos y por un decaimiento de la respuesta a un estímulo continuo (adaptación y habitualidad). Así, un evento de sonido aislado no puede ser discriminado si el intervalo entre eventos cae debajo del valor umbral, si esto ocurre el sonido es interpretado como continuo. Estas características están ligadas a la supervivencia. Así, cuando se analizan los efectos del ruido ambiental en las personas es relevante considerar la importancia del ruido de fondo, el número de

eventos y el nivel de exposición al ruido Ref. [18].

La reacción desfavorable más observada frente al ruido es la de molestia. Para que ésta se produzca, el ruido debe ser perceptible. La molestia causada por el ruido no sólo depende del nivel de presión del sonido (SPLs) y de las propiedades del mismo, sino también de factores relacionados con la fuente de ruido, factores individuales y situacionales. Ref. [19]

Existen muy pocos estudios que hayan investigado la respuesta humana frente al ruido producido por aerogeneradores. Para nuestro análisis se tomaron las relaciones dosis-respuesta de la Fig. 1, Ref. [19], donde se puede analizar la correlación de la exposición al ruido proveniente de aerogeneradores y la molestia de ruido entre la población cercana a las turbinas.

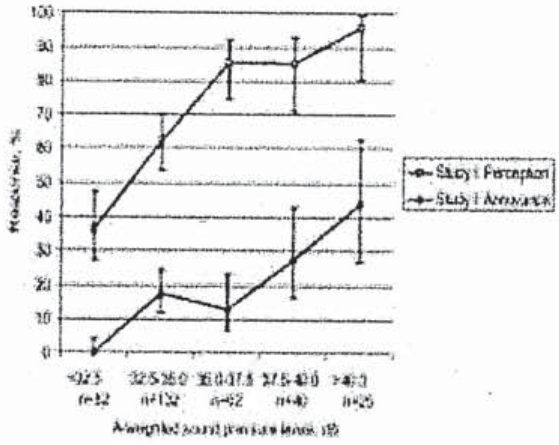


Figura 1. Relación Dosis-Respuesta

De las dos curvas que muestra la Fig. 1, se analizó la correspondiente a la molestia causada por el ruido proveniente de aerogeneradores. Cuando la molestia causada por el ruido de la turbina fue evaluada empleando una regresión logarítmica binaria, se determinó un incremento de la misma de 1,2% (dentro de un intervalo de confianza de 95% 1,12-1,34) por cada dB(A).

A continuación se presenta un cuadro con los resultados de las etapas anteriores y su relación con la curva dosis-respuesta. El resultado de esta vinculación es el número de casos adicionales de disturbios causados por un incremento de ruido (CA).

Tabla 4. Resumen de las etapas analizadas

	CASO a	CASO b
$\Delta LAeq_{,Ti}$ Incremento en el Nivel de Ruido	0,7	3,71
N° Número de personas expuestas.	1230	1230
DE Porcentaje de personas expuestas por dB(A) de acuerdo al análisis de efecto	0,012	0,012
CA Casos adicionales de disturbios debido al incremento del ruido por funcionamiento de 1 y 2 turbina/s respectivamente	10,33	54,76

$$CA = DE * NP * \Delta Leq, T \qquad (5)$$

$$CAa = \frac{0,012}{dB(A)} * 1230\ PERS. * 0,7\ \frac{dB(A)}{TURB.}$$

$$CAa = 10,33 \frac{PERS.}{TURB.\ AD.}$$

$$CAb = 54,76 \frac{PERS.}{TURB.\ AD.}$$

4.1.4. Análisis de Daño

Con el objeto de obtener el daño sobre la salud producido por el impacto considerado en un modo compatible con el daño ocasionado por otras categorías, como pueden serlo el adelgazamiento de la capa de ozono, o la toxicidad por citar algunos ejemplos, es necesario expresarlo en unidades comparables. La unidad empleada es el DALY (Disability Adjusted Life-Years), desarrollada por la Organización Mundial de la Salud. Ref. [6], que contabiliza el número de años de vida perdidos debido a una muerte prematura y el número de años de vida parcialmente perdidos debido a un accidente o discapacidad. Para su cálculo, se emplean pesos de discapacidad (PD), para ponderar una discapacidad con respecto a la muerte. Estos pesos se registran en tablas para cada categoría de discapacidad de acuerdo a la severidad del daño asociado. Ref. [19]. Para el caso de disturbios en el sueño y en la comunicación causados por el ruido, no existen registros de pesos de discapacidad en las tablas de la OMS. Sin embargo, se encontraron los resultados de una investigación especial realizada en Suiza, para obtener valores representativos de PD para estas clases de daño a la salud humana Ref. [15]

Tabla 5. Pesos de discapacidades.

Condición	Pesos de Discapacidad (PD) (95% IC)
Disturbios en la comunicación durante 1 año	0,033
Disturbios en el sueño durante 1 año	0,055

En la siguiente tabla se presentan los valores en DALY calculados para los casos de disturbios en la comunicación y en el sueño, por incremento de ruido producido por la adición de una turbina:

Tabla 6. Valores Obtenidos

Tipo de disturbios	DALY CASO a	DALY CASO b
Disturbios en la comunicación	0,34	1,81
Disturbios en el sueño	0,56	3,01

A través de la siguiente relación, Ref. [7] se establecieron los valores de DALY para cada caso:

$$DALY = CAi * PS \quad (6)$$

5 RESULTADOS Y DISCUSIONES

En la tabla 6 se muestran los valores de daño a la salud expresados en DALY, calculados en función de incrementos en el nivel de ruido entre el ruido de fondo existente en la zona y el número de turbinas en funcionamiento (1 y 2 turbinas). El daño a la salud se evaluó en la forma de disturbios en la comunicación y en el sueño. De los resultados se observa como al aumentar el número de turbinas en funcionamiento se obtienen valores mayores de DALY tanto para disturbios en la comunicación como en el sueño. Los valores obtenidos del análisis de destino $\Delta LAeq,T$, que se emplearon en los casos a y b, permiten además, estimar la pérdida de confort de una población debido al ruido de aerogeneradores medida en valor anual del ruido (VAR), vinculando los valores de $\Delta LAeq,T$, el número de viviendas afectadas (Ncasas), el precio promedio de cada casa (A_P) y un índice de sensibilidad de depreciación del ruido Ref. [13], sin evaluar el daño sobre la salud de una población. De este modo el cálculo del DALY podría complementarse con el VAR, facilitando la toma de decisiones cuándo se evalúan nuevos emprendimiento eólicos.

6 PERSPECTIVAS FUTURAS

Se pretende analizar los incrementos marginales de los valores de DALY que se generan al incrementar en número de equipos, y correlacionarlos con la disminución marginal de daño por el uso evitado de fuentes convencionales.

AGRADECIMIENTO

Este artículo fue realizado en el marco del plan de trabajo de una beca doctoral de la Fundación YPF.

REFERENCIAS

[1] B. Nalukowe, J. Liu, D. Wiedmer, T. Lukawski, Life Cycle Assessment of a Wind Turbine 1N1800, infra.kth.se, 2006.

[2] Vestas, Life cycle assessment of offshore and onshore sited wind power plants based on Vestas V90-3.0 MW turbines.

[3] A. Rivarola & A.P. Arena, Análisis de Ciclo de Vida de la turbina G47-660 Kw, Actas del Encuentro de Investigadores y Docentes de Ingeniería ENIDI 2007.

[4] City of Tshwane Noisemanagement Policy Appendix A. Characteristics of Noise. roo3 Appendix A First Draft.

[5] National Wind Coordinating Committee, NWCC, Permitting of Wind Energy Facilities: A Handbook, RESOLVE, Washington, D. C, 1998.

[6] CJL. Murray, Rethinking DALYs, Chapter 1, In: The Global Burden of Disease and Injury Series, Volume I, World Health Organization, Cambridge, Harvard University Press, 1996.

[7] R. Müller-Wenk, A Method to Include in LCA Road Traffic Noise and its Health Effects. Int J LCA 9 (2) 76 – 85 (2004).

[8] Expert Group Study on Recommended practices for W/Ts and evaluation, 4. Acoustic measurement of noise emission from W/Ts, Submitted to the Executive Committee of the International Energy Agency Programme for Research and

Development on Wind Energy Conversion Systems, 3rd ed., 1994.
[9] J. Kragh, B. Andersen & J. Jakobsen, Environmental noise from industrial plants. General prediction method, Lydteknisk Laboratorium Report No. 32, Denmark, 1982.
[10] KJ. Marsh, The CONCAWE model for calculating the propagation of noise from open air industrial plants. Applied Acoustic, 15:411-428, 1982.
[11] R. Tonin, Estimating noise levels from petrochemical plants, mines and industrial complexes, Acoustics Australia; 13(2): 59-67, 1985.
[12] J. Prospathopoulos & S. G. Voutsinas. Application of a ray theory model to the prediction of noise emission from isolated wind turbines and wind park, National Technical University of Athens, School of Mechanical Engineering, Department of Fluids, Athens, Greece.
[13] European Commission, Science Research Development, Studies ExternE "Wind & Hydro" Vol. 6, ISSN 1018-5593, 1995.
[14] Gilbert, 1993
[15] R. Müller-Wenk, Attribution to road traffic of the impact of noise on health, Environmental Series N° 339, BUWAL Berne 2002.
[16] DEFRA Department for Environment Food and Rural Affairs, URL:http://www.defra.gov.uk/Environment/noise/mapping/index.htm
[17] Cornwall County Council, 2000. Carrick Parish population statistics. Accessed: 15 May 2006. URL:/http://www.cornwall.gov.uk/index.cfm?articleid=7634S.
[18] WHO: Guidelines for Community Noise, World Health Organisation, Geneva 2000.
[19] E. Pedersen, Human response to wind turbine noise. Perception, annoyance and moderating factors, Intitute of Medicine, Göteborg Universitet. Göteborg. Suecia. 2007.

Perfil ambiental de la producción de ladrillos en Mendoza. Caso de estudio en el Algarrobal

B. Civit, M. López, S.M. da Silva, A. P. Arena
bcivit@frm.utn.edu.ar;
Grupo CLIOPE "Energía, ambiente y desarrollo sustentable"
Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza.

E.N.Sánchez Suárez
Universidad de Colima, Facultad de Arquitectura y Diseño.

RESUMEN: El ladrillo cerámico como material de construcción ha sido utilizado desde tiempos antiguos y su tradición constructiva se ha transmitido de generación en generación. En este trabajo se analizarán las consecuencias medioambientales que su proceso provoca en el medio suelo, fundamentalmente por la desertificación y extracción de sus capas superiores, además de otros impactos negativos como la contaminación atmosférica por las emisiones durante la combustión y el laboreo de la materia prima. Para ello se utiliza la metodología del Análisis del Ciclo de Vida, considerando los recursos utilizados y las emisiones liberadas por todos los procesos involucrados en la producción de los ladrillos, para un caso de estudio ubicado en el Algarrobal, en la provincia de Mendoza.

Palabras clave: Análisis de Ciclo de Vida, impacto ambiental, ladrillos

ABSTRACT: Ceramic bricks as a construction material has been used since ancient times and its constructive tradition has been passed down from generation to generation. This study will assess the environmental consequences that the process causes on the soil, primarily by desertification and extraction of its upper layers, as well as other negative impacts such as air pollution by emissions during combustion and tilling of the raw material. The methodology of Life Cycle Analysis has been applied, considering the resources used and the emissions released by all processes involved in the production of bricks, for a case study in Algarrobal, located in the province of Mendoza.

Key words: Life Cycle Assessment, environmental impact, bricks

1 INTRODUCIÓN

La producción de ladrillos artesanales es una actividad milenaria, ya que los mampuestos de barros secos al sol y asentados con morteros de arcilla en la construcción de muros ya se conocía en el antiguo Egipto, mientras que los ladrillos cocidos fueron utilizados en la Mesopotámia y en la India desde épocas muy tempranas y que luego pasó a Egipto con la ocupación romana. También las culturas americanas hicieron uso de esta tecnología en la construcción de sus viviendas y templos.

En nuestro país el ladrillo cerámico como material de construcción ha sido utilizado desde tiempos antiguos y su tradición constructiva se ha transmitido a través de generaciones a partir de la importante inmigración que existió en nuestro país fundamentalmente a través de España e Italia.

No obstante los avances tecnológicos, el desarrollo de nuevos materiales y aleaciones y la adaptación de diversos sistemas constructivos, el ladrillo común sigue siendo el material de mayor aceptación por parte de la población. Reúne diferentes características que hacen que su utilización no sea reemplazable, tanto por aspectos económicos como histórico-culturales. Derivados de componentes naturales y producidos con un bajo nivel de industrialización, se caracterizan por ocupar mano de obra con muy poca mecanización o desarrollo tecnológico. A pesar de la existencia de normativas que les son aplicables, la actividad se desarrolla en casi absoluta informalidad legal, ambiental y comercial [1].

2 PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DEL SECTOR LADRILLERO

La falta de innovación tecnológica en los procesos productivos son causa de gran parte de los problemas que actualmente presenta el sector ladrillero [2].

En Perú, para atender su demanda, la industria del ladrillo, debe extraer 30,000 m3 de materia prima (arena + arcilla) por año, originando algunos efectos al medio ambiente, que se pueden identificar a través de la deforestación, la erosión de suelos y la modificación del paisaje. Según los datos informados para ese país, las técnicas de extracciones de arcilla, a través de perforaciones de 1 ½ metros de profundidad, han desboscado y modificado el paisaje en cerca de 2 has/año, que representaría en los próximos 10 años una deforestación, erosión y modificación del paisaje de 20 has aproximadamente [3].

En Argentina, investigaciones realizadas en las provincias de Resistencia y Corrientes, indicaron la inexistencia de estudios de impacto ambiental, planes de protección del ambiente, ni estrategias de mitigación de los impactos de la producción ladrillera, que incluyen la proliferación de cavas, degradación e inutilización de la tierra para producción agropecuaria, la tala indiscriminada de monte nativo para obtención de leña, y las emisiones gaseosas y las cenizas producidas por la combustión de esa leña. [2].

A nivel local, la mayor parte de los emprendimientos que se dedican a esta actividad son Pymes informales y la mano de obra ocupada proviene en su mayoría de las provincias del norte de nuestro país o de origen boliviano. El departamento de Las Heras tiene registrada la habilitación de 118 hornos; sin embargo, se estima que existen algunos más que funcionan sin autorización o tienen vencida su habilitación que es por dos años. Estos 118 hornos se clasifican del siguiente modo:

4 registrados en categoría A con > a 20 bocas
6 registrados en categoría B de 12 a 20 bocas
19 registrados en categoría C de 9 a 11 bocas
89 registrados en categoría D con ≤ a 8 bocas

Se observa que de estos emprendimientos (horneros) muy pocos alcanzan la categoría de empresa formal, siendo en su gran mayoría hornos chicos con capacidad de producción de 30 mil ladrillones por mes.

El constante incremento en la demanda de ladrillos para la construcción provoca un gran impacto en la degradación de los terrenos que, siguiendo una política ambiental y aplicando una apropiada regulación del suelo, podrían convertirse en bienes a través de usos alternativos. Siendo el suelo la materia prima utilizada en la fabricación del ladrillo, se genera una rápida degradación y eliminación del recurso, provocando un impacto significativo en el medio natural.

En este trabajo se analizarán las consecuencias medioambientales que su proceso provoca en el medio suelo, fundamentalmente por la desertificación y extracción de sus capas superiores. Además de otros impactos negativos que se producen, como ser fuente de

contaminación atmosférica por humo y olor, y el gasto de madera que origina deforestación y por ende desertización de vastos espacios provinciales y extra provinciales.
El suelo es un recurso natural, renovable pero agotable. Se calcula que para la formación de 1 cm de la capa de suelo, se necesita en término medio 100 años [4]. Si a estas características naturales se le añade la falta de conocimiento que la población posee sobre la importancia del recurso suelo y sobre su fragilidad, se comprende lo difícil de la preservación de sus cualidades esenciales.
Dentro del análisis valorativo en el proceso de producción / destrucción se advierte que, en esta actividad, la desaparición de la capa edáfica significa una degradación medioambiental muy importante, ya que la destrucción del suelo no es absorbida de manera que permita generar procesos de autorregulación en el sistema, y por lo tanto no es una producción sustentable.
Desde hace unos años se vienen realizando en nuestra provincia algunos estudios aislados sobre el tema, alertando sobre las consecuencias que esta actividad genera. En ellos se afirma que en Mendoza el problema se agrava porque es un sistema rexistásico donde la morfogénesis predomina sobre la pedogénesis. Si a estas características naturales se le añade el desconocimiento y la desvalorización que de él tiene, en general, la comunidad, se está frente a una interacción sinérgica que se traduce en una grave entropía del sistema [4].
Sin embargo, estos intentos no han generado despertar una verdadera conciencia sobre la gravedad del problema, fundamentalmente sobre los responsables de definir medidas de acción que tiendan a reglamentar y controlar la destrucción a la que está expuesto el recurso suelo, lo que impide una planificación sobre sus posibilidades de uso.
En el municipio de Las Heras se han sancionado Ordenanzas con el objeto de regular la actividad industrial ladrillera como son: la Ordenanza 104/88 referida a esta actividad, la Ordenanza 41/94 que contempla la protección del recurso suelo utilizado como materia prima, fundamentalmente en áreas dedicadas a cultivos, la Ordenanza N° 153/98 que surge como necesidad de unificar las normas vigentes que reglamentan la actividad y que tiene como propósito lograr el ordenamiento general de la industria y la Ordenanza N°35/2002 que establece las medidas concretas a las que están sometidos los propietarios y/o productores de hornos de ladrillos.

3 MATERIALES Y METODOS

El trabajo de investigación fue ejecutado en dos etapas: la etapa de relevamiento, que consistió en la búsqueda y clasificación de datos (bibliográficos e "in-situ" de productores de la región) con la sistematización de la información y análisis del proceso productivo, y la etapa operativa, donde, por medio de la información obtenida se focaliza la investigación en los datos principales a ser analizados, para lo cual se utilizó la metodología del Análisis del Ciclo de Vida (ACV). En la etapa "in-situ" fueron sacadas muestras de dos ladrilleras situadas en el Algarrobal. Esas muestras del suelo y del agua empleados en la producción de los ladrillos. Todas las muestras del agua fueron sometidas a análisis de: pH, alcalinidad total, dureza total, cloruros, sulfatos, materia orgánica y sodio. Para la realización de los análisis del agua se emplearan los "Métodos Normalizados para Análisis de Aguas Potables y Residuales" [4].
Las muestras de los suelos fueron analizadas en cuanto a: conductividad y pH (pasta de suelo), materia orgánica, sulfatos, carbonatos y sales solubles. La metodología empleada en los análisis de las muestras de suelo están disponibles en el IRAM [5] y en el SAMRLA [6]
El trabajo introduce una característica innovadora con respecto a los estudios de ACV tradicionales, ya que por primera vez se aplica una metodología propia para incorporar el impacto asociado al uso del suelo [7].
Con la sistematización de la información obtenida se elaboró un estudio de caso de la producción ladrillera en el Algarrobal (Las Heras, Mendoza).

3.1 *Equipamientos Utilizados*

- Medidor de pH-Ion específico ORION 710 A+, para determinación del pH; para análisis de conductividad se usó el medidor portátil de conductividad TDS OAKTON y para la obtención de los demás datos se empleó el Espectrofotómetro de Absorción Atómica UNICAM.

3.2 *Caso de estudio. La producción de ladrillos en Mendoza.*

La materia prima utilizada en los hornos de ladrillos es la arcilla, que está constituida estructuralmente en base a sílice, alúmina y agua, y además cantidades variables de hierro y otros materiales alcalinos, en general muestran un predominio de la fracción limo, seguido por arena (entre un 20 y 30 %) y en menor porcentaje arcilla.

Esta materia prima, constituida principalmente por suelo limo-arenosos, muy orgánicos son obtenidos de la explotación de la capa superior orgánica. En general se dice que la tierra del Algarrobal utilizada para la fabricación del ladrillo es una de las mejores de la provincia, probablemente por la finura que posee. Es por ello que tierras que fueron originalmente destinadas a cultivo agrícola (viñas y frutales), hoy la ocupan en gran parte las ladrilleras.

Según estudios realizados por el IADIZA [8], la zona afectada presenta actualmente, un riesgo de desertificación moderado y la regeneración natural de la capa edáfica muy lenta.

4 PROCESO DE FABRICACIÓN

El proceso consiste de las siguientes actividades:

Extracción de la tierra:

Habitualmente los hornos de campaña se ubican en el lugar donde se tiene la tierra disponible; los obreros viven en el mismo terreno y la vida familiar gira en torno al horno y los empleos se heredan. Actualmente algunos horneros están trayendo tierra de terrenos aledaños porque han llegado a la profundidad de excavación que establece la ordenanza municipal.

Mezclado del barro:

La tierra excavada se lleva a pozos circulares, de distinta forma y tamaño, llamados pisaderos, donde se rompen los terrones más grandes y se agrega materia orgánica para mejorar su amasado, como: virutas de madera, aserrín, pasto seco, estiércol, etc. Posteriormente se deja reposar 2 a 4 días, enlagunando o incorporando agua suficiente para formar un barro y permitir el proceso de pudrición. Las partículas de estos materiales son capaces de absorber higroscópicamente hasta el 70% en peso, de agua. Debido a esta característica, es que la arcilla, que en estado seco presenta un aspecto terroso, hidratada adquiere la plasticidad necesaria para ser moldeada. Para el mezclado se amasa la pasta durante 4 o 5 horas moviendo la rueda con un tractor (anteriormente se realizaba con animales).

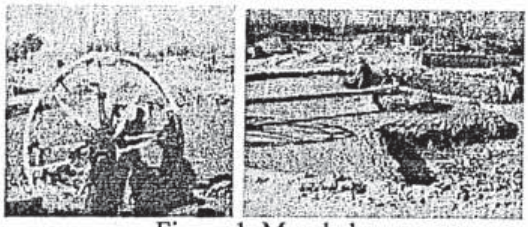


Figura 1. Mezclado

Cortado o moldeado de los ladrillos:

El corte puede realizarse a mano o a máquina. La mezcla húmeda se coloca en moldes de madera o metálico donde se moldea, luego se levanta el molde, se lava y se vuelve a utilizar. Por jornada normalmente pueden cortarse entre 1000 y 2000 ladrillos, llegando en algunos casos hasta 2.500 ladrillos que, mojados, pesan más de 15 kilos cada uno. Cuando se fabrican ladrilios semi prensa no se utiliza el mezclado con viruta de madera para permitir una mejor compactación y lisura de las caras



Figura 2. Moldeado

Secado:

Los adobes se colocan en la cancha o playa de secado, para permitir su oreado que depende de la cantidad de agua que contienen los adobes y de las condiciones climáticas del lugar. Para permitir el secado definitivo de los adobes se colocan de manera tal de permitir el secado parejo de todas sus caras, normalmente entre 3 y 5 días.

Quemado:

Los hornos de campaña se arman con los mismos adobes que se utilizan para el quemado. Normalmente son de forma troncopiramidal y de tamaño variable, desde 30 a 100 millares de ladrillos

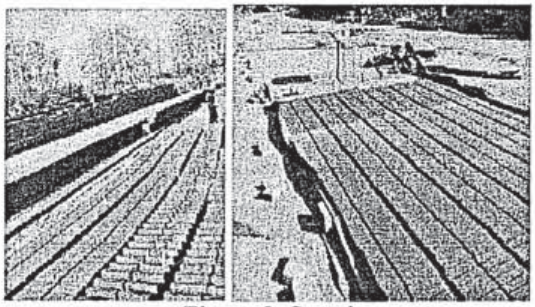


Figura 3. Secado

Sobre cada capa de adobes colocados de canto, para una mejor difusión del calor, se coloca carbonilla. En las troneras, también llamadas fogoneras se coloca el material de combustión a base de leña de frutales, caldén, eucalipto, etc. Se estima un consumo de 0,50 kg de leña por cada ladrillo. Durante la fase de endurecimiento (mediante secado o cocción), el material arcilloso adquiere características de notable solidez, con una disminución de masa (de alrededor de 5 a 15%) en proporción a su plasticidad inicial.

El tiempo de cocción varía entre 5 y 7 días, dependiendo de la capacidad calorífica de cada una, siendo el quemado de los ladrillos la etapa más delicada y que debe ser mantenido durante el día y la noche en forma permanente. Luego de pasados 2 o 3 días se comienza el desarme de los hornos, que generalmente son vendidos en forma inmediata. Debido a la irregular cocción de los ladrillos, los que se encuentran ubicados en la parte media del horno se consideran de primera, mientras que los más cercanos a las fogoneras que son los recocidos son denominados recochos o vitrificados y se comercializan a un precio diferente y se destinan a diversos fines, mientras que los más alejados del calor son más débiles y se colocan nuevamente en el horno. De este modo prácticamente no existen desperdicios.



Figura 4. Cocción

5 RESULTADOS OBTENIDOS

El resultado de la etapa de Inventario del Análisis del Ciclo de Vida consiste en una gran cantidad de datos referidos a los recursos consumidos y emisiones liberadas durante las distintas etapas de los procesos productivos involucrados. Para el caso analizado, esto representa 402 sustancias, que por motivos de espacio no son reportadas en este trabajo. Para obtener una cantidad de elementos más manejable, se clasifican estas sustancias en categorías ambientales, agrupando todas aquellas que concurren para una determinada categoría, como el calentamiento global, o la acidificación, para citar algunos ejemplos. Esto se realiza de acuerdo a métodos de evaluación de impactos desarrollados por distintos grupos de I+D. En este trabajo se ha adoptado la metodología EDIP96, Ref. [9], utilizando como herramienta el software SimaPro. La Tabla 1 muestra los resultados de esta etapa.

Tabla 1. Resultado de la Evaluación de Impactos

Impact category	Unit	Ladrillo
GWP	g CO2	313
ODP	g CFC11	5,21E-06
AP	g SO2	0,393
EP	g NO3	0,729
PCP	g ethene	0,176
EWC	m3	6,46
EWA	m3	0,638
ESC	m3	0,0174
HTA	m3	12500
HTW	m3	0,0239
HTS	m3	0,00162
Resources (all)	kg	6,37E-07

Leyenda:

GWP	Global warming
ODP	Ozone depletion
AP	Acidification
EP	Eutrophication
PCP	Photochemical smog
EWC	Ecotoxicity water chronic
EWA	Ecotoxicity water acute
ESC	Ecotoxicity soil chronic
HTA	Human toxicity air
HTW	Human toxicity wáter
HTS	Human toxicity soil

Los resultados de la Tabla 1 están expresados todos en unidades diferentes, cada una de ellas característica de la categoría de impacto que representa. Con el objeto de obtener unidades comunes, se realiza una etapa de normalización, donde se refieren los resultados a las cantidades emitidas anualmente por un habitante. Esta etapa se denomina Normalización, y permite representar los resultados en modo gráfico bajo una misma escala, los que se reportan en la Figura N° 5. Se observa el gran impacto sobre el potencial de calentamiento global.

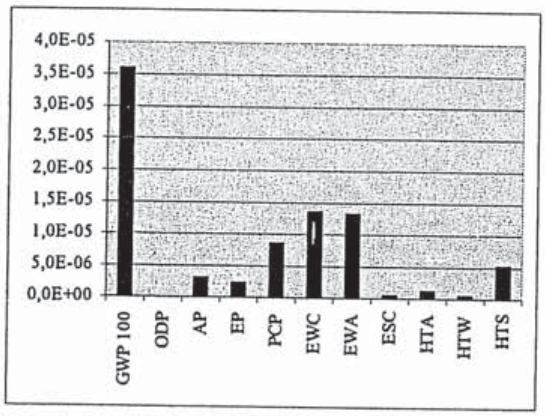


Figura 5. Normalización

El método utilizado permite seguir la contribución de los distintos materiales y procesos involucrados en el impacto producido. La Figura 6 muestra estos resultados, donde el espesor de las barras representa la magnitud del impacto producido, y cada celda representa un proceso.

Los valores calculados no tienen en consideración las realidades de los ecosistemas receptores locales, tales como las características de los suelos, y la dispersión de los contaminantes en la atmósfera. Durante los últimos años se han conducido estudios locales tendientes a considerar factores locales, para tres categorías de impacto: acidificación, eutrofización y desertificación Ref. [7], [9], [10]. Teniendo en cuenta estos factores locales, los resultados para esas categorías de impacto se modifican como indicado en la Tabla 2.

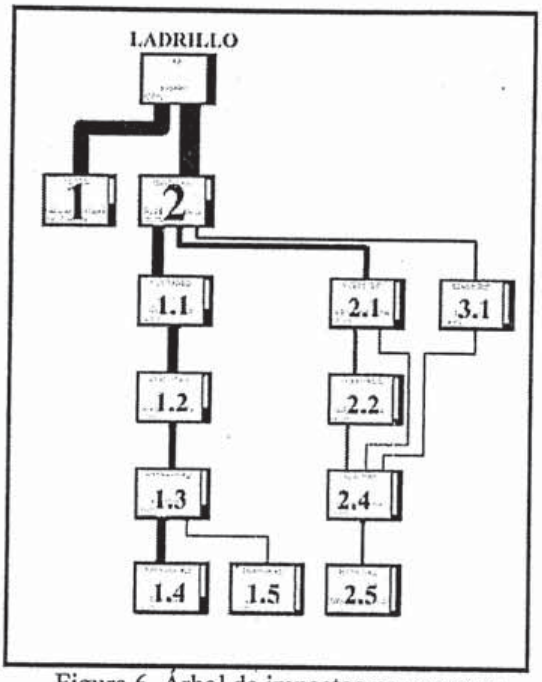


Figura 6. Árbol de impactos por proceso

Tabla 2. Caracterización con consideraciones regionales.

Impact category	Unit	Impact
Acidificación	kg SO2	0
Eutrofización	KgN ha^{-1} $año^{-1}$	-0,16
Desertificación	km^2 año	26,30

6 CONCLUSIONES

Los resultados muestran la contribución de la fabricación de ladrillos a las distintas categorías de impacto consideradas en el método EDIP96, que resulta particularmente alta para el potencial de cambio climático. Las consideraciones locales muestran que categorías de impacto calculadas como impactos potenciales pierden relevancia en nuestro contexto, dando como resultado un impacto prácticamente nulo para las categorías de acidificación y eutrofización. Por otra parte, se incorpora la categoría desertificación, que presenta una gran relevancia en el contexto provincial.

REFERENCIAS

[1] Acuerdo de Producción Limpia Sector Productores Artesanales de Ladrillos de la

Región Metropolitana, disponible en www.produccionlimpia.cl/medios/documentos/5casoAPL_ladrilleros.pdf

[2] G. A. Ebel, G. J. Jacobo & R. E. Corvalán, Desarrollo de criterios para la producción de ladrillos comunes según normas técnicas en el NEA. Universidad Nacional del Nordeste, Comunicaciones Científicas y Tecnológicas, Resumen T-081, 2006.

[3] M. O. Panduro, Impacto ambiental de la pequeña industria en Iquitos: el caso de las empresas ladrilleras, CADESAM Ingeniería Química, 2002.

[4] M. I. Codes, S. B. Robledo, M. Alessandro, A. Maffei. Impacto ambiental de las ladrilleras en el Algarrobal, departamento de Las Heras, Mendoza, Argentina. Geografía, Facultad de Filosofía y Letras. UNC. http://ffyl.uncu.edu.ar/IMG/pdf/Impacto_de_las_ladrilleras_El_Algarrobal.pdf

[5] APHA, AWWA, WPCF. Standard methods for examination of water and wastewater, 19th Ed. Washington DC, USA, American Public Health Association, 1995.

[6] SAMLA: Sistema de Apoyo de Laboratorios de Suelo y Agua. Agosto 1995

[7] Civit, B., Arena, A.P. Consideraciones sobre el impacto del uso del suelo en estudios de Análisis de Ciclo de Vida conducentes a la definición de indicadores. Parte 2: Desertificación. Actas del Encuentro de Investigadores y Docentes de Ingeniería ENIDI 2007. Mendoza, 16-18 de Octubre de 2007.

[8] F.A. Roig, M.M.Gonzalez Loyarte, E.M. Abraham de Vazquez, E. Martinez Carretero, E. Méndez and Virgilio G. Roig, with tha co-operation of N.B. Horak, M.C. Scoones and SEDIGRAF Wolrd Atlas of Desertification, pág 50-54 - Kent, Great Britain, UNEP (1992),

[8] Wenzel, H., Hauschild, M., Alting, L. Environmental assessment of Industrial Products, Chapman & Hall, UK. 1997

[9] B. Civit, A P. Arena, E. Puliafito. Evaluaciòn de impactos de ciclo de vida. Caso de estudio: eutrofización terrestre en la región centro oeste árida argentina. Revista Avances en Energías Renovables y Ambiente. INENCO, Salta. Volumen 10. Comisión de Publicaciones de ASADES. INENCO, Salta. 0329-5184. 2006

[10] 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.

Emisiones de fuentes móviles del Gran Mendoza

F.Castro & S.E. Puliafito

ferhcastro@yahoo.edu.ar & epuliafito@frm.utn.edu.ar
Grupo de estudios de la atmósfera y el ambiente (GEAA), Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional

RESUMEN: En este trabajo se presenta una estimación de las emisiones de contaminantes atmosféricos generados por fuentes móviles para el año 2005 en el área de Gran Mendoza. Se utilizó el modelo COPERT III basado en una metodología top-down para la estimación. Se presentan las emisiones totales de contaminantes criterio, globales y una especiación de compuestos orgánicos volátiles. Se analiza la contribución de las distintas categorías y tipos de calle a las emisiones. Los resultados de ese análisis muestran una significativa contribución (aprox. 60%) de los vehículos pesados a las emisiones de PM10, SO2 y NOx. Finalmente, en una comparación con otras ciudades latinoamericanas se muestra que las emisiones por habitante de Mendoza estimadas son mayores debido posiblemente un mayor uso del trasporte privado.

Palabras clave: Emisiones– Mendoza– COPERT– transporte

ABSTRACT: This paper presents an evaluation of the emissions of atmospheric pollutant generated by the vehicular sources for year 2005 in the Great Mendoza area. The estimation is performed following the COPERT III model based on a top-down methodology. This work shows the total emissions for criteria and global pollutant and also for volatile organic compounds, characterized by species. Furthermore the analysis of the data is presented according to street type and vehicle categories, which show a significant contribution (ca. 60%) of PM10, SO2 and NOx emissions from heavy duty vehicles. Finally comparisons to other Latinamerican cities show that per capita emission from the transportation sector is higher in Mendoza, due to a mayor prevalence of private use.

Key Words: emissions - Mendoza - COPERT - transport

1 INTRODUCCIÓN

En ciudades en desarrollo, caracterizadas por un rápido crecimiento de población, tráfico, industria y consumo de energía como Mendoza, la contaminación del aire comienza a revelarse como un importante problema ambiental. Consecuentemente, es urgente desarrollar políticas de gestión de la calidad del aire y de prevención de la contaminación. La mayor limitación es, sin embargo, la falta de efectividad de las autoridades ambientales y su consideración de que la mitigación de la contaminación del aire no es una prioridad inmediata para la ciudad. En este contexto, la estimación de las emisiones del transporte rodado, señalado como el principal contribuyente a la contaminación del aire en las ciudades [1] puede ser considerada como un primer paso fundamental para entender, controlar y mitigar dicha contaminación. Esta tarea, sin embargo, esta lejos de ser trivial dada la complejidad de factores que influyen en las emisiones de este tipo de fuentes.

El objetivo de este trabajo es estimar las emisiones de fuentes móviles del aglomerado urbano Gran Mendoza por medio de una metodología top-down, es decir, basada en datos del parque vehicular registrado y supuestos del kilometraje anual promedio de cada vehículo.

2 METODOLOGÍA

2.1 *Generalidades*

En la estimación se ha utilizado el modelo COPERT III que adopta la metodología CORINAIR [1] y que es utilizado por muchos países europeos para realizar sus inventarios de emisión. Las emisiones se determinan combinando parámetros de actividad (km recorridos anuales, velocidades promedio de recorrido, distancia promedio de viaje, etc) con factores de emisión para cada categoría de vehículos y tipo de contaminante. La resolución temporal de la estimación es anual y corresponde al año 2005 ya que corresponde a la información recabada en la encuesta origen-destino (O-D) realizada ese año por el Gobierno de Mendoza con motivo de la reconcesión del trasporte público de pasajeros. El área geográfica considerada para la estimación es el Gran Mendoza, un área predominantemente urbana.

2.2 *Categorización parque automotor*

El modelo COPERT III prevé la división del parque automotor en 91 clases dependiendo del tipo de combustible, categoría del vehículo (carga, pasajeros, trasporte público, motos) y de las tecnologías asociadas a limitaciones legales de emisiones [3]. La falta de información precisa y el atraso tecnológico respecto de los vehículos europeos hace que para la Argentina no se pueda considerar un rango tan amplio de clases. En este trabajo se ha asociado el parque automotor a solo 29 clases de las consideradas en COPERT y se han adicionado 4 más para los vehículos a GNC (Tabla 1). En la clasificación se ha tenido en cuenta:

- la categoría del vehículo, peso y cilindrada. Esta información ha sido obtenida de distintas organizaciones (DNRPA-Dirección Nacional de Registro de Propiedad Automotor y ADEFA-Asociación de Fabricantes de Automóviles) y de relevamientos realizados en distintos estacionamientos de la ciudad.
- el tipo de combustible utilizado. Se han considerado los datos de la encuesta O-D para la determinación del combustible utilizado.
- el año de patentamiento para ser asociado a las restricciones legales de emisión vigentes en nuestro país para ese año. La ley nacional de tránsito 24.449, su decreto reglamentario 779/95 y sucesivas modificaciones, establecen los límites de emisión que los vehículos nuevos deben respetar. Estos límites están asociados al uso de determinadas tecnologías para poder ser alcanzados (ej. uso de conversores catalíticos en los sistemas de escape de gases de combustión a partir de 1.998).

2.3 *Tipos de emisión*

La metodología del modelo COPERT permite determinar emisiones de tres tipos:

- escape en caliente: se producen durante la operación térmica estable del motor (E_{Hot}),
- escape en frío: emisiones adicionales de escape producidas durante la fase de calentamiento del motor (E_{Cold})
- evaporativas: producidas por la evaporación de nafta (E_{evap}).

Tabla 1. Clasificación del parque vehicular

Categoría	Comb	Modelo-Tec. Asociada[1]	Otro
Pasajero liviano	Nafta	Pre 1998-Conv 1999-2003-Euro1 Post 2004-Euro2	3 categorías por modelo según cilindrada
	GNC	Pre 1996- Post 1996-	
	Gasoil	Pre 1998-Conv 1999-2003-Euro1 Post 2004-Euro2	2 categorías por modelo según cilindrada
Carga Liviano	Nafta	Pre 1998-Conv 1999-2003-Euro1 Post 2004-Euro2	
	GNC	Pre 1996- Post 1996-	
	Gasoil	Pre 1998-Conv 1999-2003-Euro1 Post 2004-Euro2	
Carga Pesados	Gasoil	Pre 1995-Conv 1996-1999-Euro1 Post 2000-Euro2	2 categorías por modelo según peso
Buses	Gasoil	Pre 1998-Conv Post 1998-Euro2	

[1] Modelo-Tecnología asociada: se refiere a las tecnologías asociadas al límite de emisión para los modelos de esos años.

[2] Conv.: convencional, es decir, sin ninguna tecnología de reducción de emisiones.

De modo que la emisión total de un vehículo se estima como:

$$E_{Tot} = E_{Hot} + E_{Cold} + E_{Evap} \quad (1)$$

Donde E_{tot} es la emisión total para cada contaminante considerado. En el caso de vehículos a GNC solo se han considerado emisiones de escape en caliente ya que COPERT III no tiene en cuenta este tipo de combustible.

2.4 *Emisiones de escape en caliente*

El modelo COPERT asume que los factores de emisión son sólo dependientes de la velocidad media. La formula utilizada para calcular las emisiones anuales es:

$$E_{Hot,i,j,k} = N_j \cdot M_{j,k} \cdot e_{Hot,i,j,k} \quad (2)$$

Donde:

E_{Hot}: emisión del contaminante i en [g] producida por los vehículos clase j manejados en calles tipo k.

N_j: numero de vehículos [veh] de clase j

$M_{j,k}$: kilometraje por vehículo [km/veh] manejado en calles tipo k por vehículos de clase j

$e_{Hot;i,j,k}$: factor de emisión promedio [g/km] para el contaminante i, relevante para vehículos de clase j, manejado en calles tipo k.

Aquí vale aclarar que además de la clasificación de los vehículos se hace una distinción entre tres tipos de calles (subíndice k), urbanas (U), rurales (R) y autopista (H) que se distinguen por sus velocidades medias. En Gran Mendoza solo una pequeña fracción de los kilómetros recorridos se hace en calles rurales ya que como dijimos es una zona predominantemente urbana. Para los vehículos propulsados a GNC se sigue el mismo cálculo solo que el factor de emisión no es dependiente de la velocidad media, es un valor medio de emisión [4].

2.5 *Numero de vehículos*

La Tabla 2 presenta el número total de vehículos por categoría. El número de vehículos de cada clase N_j se obtuvo distribuyendo ese total en cada una de las 33 clases descriptas en el Tabla 1.

Tabla 2. Número de vehículos y combustible utilizado

Categoría	Numero de vehículos	Porcentaje según combustible utilizado		
		N	GN	GO
Pasajero liviano	242.544	35	38	27
Carga liviano	66.152	10	25	65
Carga pesado	24.038	-	-	100
Buses	980	-	-	100

2.6 *Kilometraje*

El kilometraje total anual de los vehículos livianos de pasajeros se obtuvo suponiendo una distancia promedio entre origen y destino de los distintos departamentos del Gran Mendoza y se multiplicó por el número de viajes para el mismo O-D. La suma de esos cálculos repartida proporcionalmente al número de vehículos de cada categoría y tipo de calle dio como resultado un valor estimado de $M_{j,k}$.

El kilometraje anual de los buses se estimó a partir de multiplicar la longitud de la red estática por la frecuencia anual de viajes y dividirla por el número de buses. Para el trasporte de cargas tanto liviana como pesadas se asumió de acuerdo a experiencias de otros inventarios de fuentes móviles.

En la Tabla 3 se presenta un resumen con los kilometrajes de cada categoría y la proporción recorrida en cada tipo de calle k.

Tabla 3. Kilómetros recorridos y velocidad media por tipo de calle.

Categoría	Km por veh	Tipo de calle	Porc. [%]	Vel. Media [km/h]
Pasajero liviano	8.500	U	70	29
		R	10	60
		H	20	85
Carga liviano	15.000	U	65	25
		R	15	55
		H	20	80
Carga pesado	35.000	U	40	20
		R	20	50
		H	40	70
Buses	74.000	U	70	15
		R	10	50
		H	20	70

2.7 *Velocidad Media*

La velocidad media de los vehículos de cada categoría fue calculada a partir de las velocidades medidas con un automóvil equipado con un navegador satelital durante recorridos en cada tipo de calle k. La tabla 3 presenta los valores de velocidad media utilizados en el cálculo de los factores de emisión.

2.8 *Emisiones de escape en frío*

Estas emisiones se calculan como un extra de las emisiones que se producirían con el motor y el convertidor catalítico calientes. Las emisiones en frío anuales son calculadas con la siguiente fórmula:

$$E_{Cold;i,j} = E_{Hot,i,j} \cdot \beta_{i,j} \cdot (e^{Cold}/e^{Hot}{}_{i,j} - 1) \quad (3)$$

Donde:

$E_{Cold;\,i,\,j}$: emisión en frío del contaminante i causada por los vehículos de clase j

$E_{Hot;\,i,j}$: emisión en caliente del contaminante i causada por los vehículos de clase j

$\beta_{i,j}$: fracción del kilometraje recorrida con el motor frío y convertidor catalítico con temperatura menor a la de encendido

$e^{Cold}/e^{Hot}{}_{i,j}$: razón de emisiones frías sobre calientes para el contaminante i y la clase j

El parámetro $\beta_{i,j}$ depende de la temperatura ambiente t_a y de la longitud media de viaje I_{Trip}. Las temperaturas medias mensuales para el año 2005 fueron calculadas e introducidas como dato en el modelo para el cálculo de β. La longitud media de viaje se estimó a partir de los datos de la encuesta O-D y dio como resultado aproximadamente 12 km por viaje.

2.9 *Emisiones evaporativas*

Las emisiones de evaporación son estimadas sólo para vehículos nafteros. Los tipos de emisión considerados son tres:

- Diurnas: asociadas con las variaciones diarias de la temperatura ambiente
- Hot-soak: causadas cuando el motor caliente es apagado
- Running losses: son el resultado del vapor generado durante la operación del vehículo.

Las presiones de vapor Reid (RVP) de las naftas y las temperaturas ambiente máximas y mínimas para los distintos meses del año fueron introducidas en el modelo para calcular estas emisiones. Las emisiones evaporativas son exclusivamente de compuestos orgánicos volátiles.

2.10 *Combustibles*

Las características de los combustibles influyen en gran medida las emisiones que se producirán en su combustión. Algunos parámetros, tanto para nafta como para gasoil fueron tomados de la legislación (Resolución 1283/2006 de la Secretaría de Energía) y se incorporaron al modelo. Entre los más relevantes están los contenidos de azufre, benceno y aromáticos totales.

2.11 *Balance de combustible*

El modelo COPERT utiliza el consumo de combustible real atribuible a la zona geográfica en estudio de manera de poder realizar un balance con el consumo de combustible estimado. Los parámetros más "suaves" de entrada al modelo han sido modificados en el proceso de estimación hasta obtener un balance satisfactorio. Por suaves se entiende aquellos parámetros asociados con una mayor incertidumbre. El consumo de combustible corresponde al total consumido en la Provincia por lo que solo una parte corresponde al Gran Mendoza.

3 RESULTADOS

3.1 *Balance de combustible*

El primer resultado que se presenta es el del balance de combustible ya que es éste el que le da una

primera validez a la estimación de las emisiones. En la Tabla 4 se muestran los consumos de combustibles estadísticos y estimados y la diferencia porcentual entre ambos.

Tabla 4. Balance de combustibles

Comb.	Calculado	Estadístico	Dif.
Nafta	69.980 ton	88.165 ton	-20
GNC	167.233 mil m3	215.312 mil ton	-22
Gasoil	340.690 ton	508.477 ton	-33

3.2 *Emisiones contaminantes criterio*

Las emisiones que primero se presentan son aquellas que tienen mayor influencia en la calidad del aire de la ciudad y que corresponden a las de los denominados contaminantes criterio. Estos contaminantes son:

- CO: monóxido de carbono
- NOx: óxidos de nitrógeno (NO2 y NO)
- PM10: material particulado con diámetro aerodinámico menor a 10 μm.
- SO2: dióxido de azufre
- NMVOC: compuestos orgánicos no metánicos

La Tabla 5 presenta los tres tipos de emisiones considerados para cada contaminante criterio y la suma de las mismas.

Tabla 5. Emisiones totales de contaminantes criterio

Contaminante	E_{vap}	E_{cold}	E_{Hot}	E_{Tot}
	ton	ton	ton	ton
CO	0	9.550	34.651	44.201
NOx	0	68	12.520	12.588
PM10	0	30	992	1.022
SO2	0	30	1.566	1.596
NMVOC	557	1.197	8.299	10.053

La contribución de cada categoría a las emisiones totales se muestra en la Figura 1.

Un resultado interesante es el de conocer en que proporción influye el tipo de calle en las emisiones. La Figura 2 muestra que la mayor parte de las emisiones pertenecen a calles de tipo urbano.

El modelo COPERT permite además realizar una especiación de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles. En la Tabla 6 se presentan las emisiones de los compuestos considerados más importantes por sus potenciales efectos a la salud y su participación en la formación de ozono troposférico.

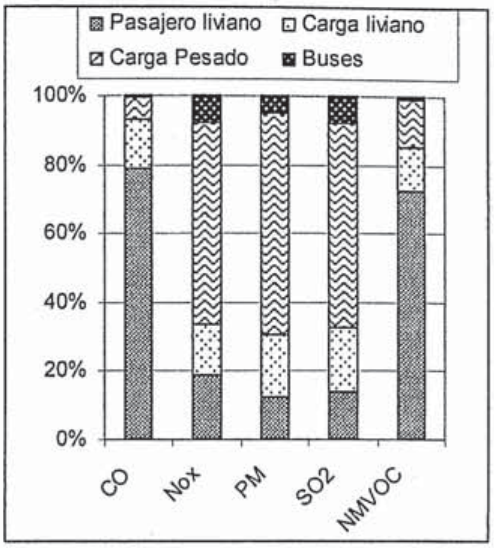


Figura 1. Contribución de cada categoría a la emisión total

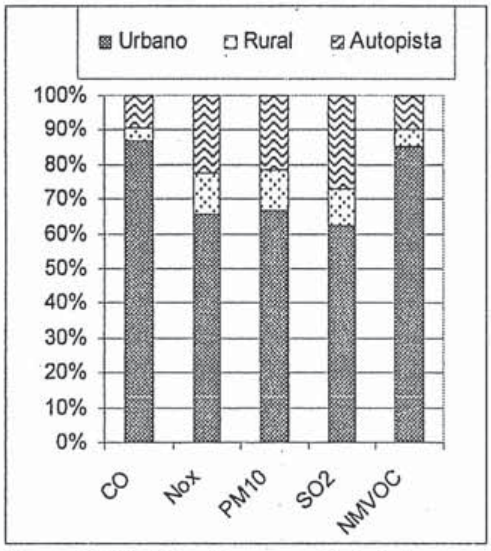


Figura 2. Distribución porcentual de las emisiones por tipo de calle

Tabla 6. Especiación de NMVOC

Contaminante	E_{Hot}	E_{cold}	E_{vap}	E_{Tot}
	ton	ton	ton	ton
1,3-butadieno	116	16	0	133
formaldehído	248	28	0	276
tolueno	588	147	6	741
etilbenceno	217	52	0	269
xilenos	320	76	3	800
benceno	317	78	6	401

3.3 *Emisiones de GEI*

Entre los contaminantes considerados en esta estimación de emisiones también se hallan los gases de efecto invernadero (GEI). Los mencionados gases son:

- CO_2: dióxido de carbono
- CH_4: metano
- N_2O: óxido nitroso

Esta estimación es incompleta ya que no se ha considerado la contribución de vehículos a GNC por no contar con factores de emisión específicos para estos contaminantes. La Tabla 7 presenta las emisiones de GEI divididas por categorías. Una vez más se puede observar como los vehículos de carga contribuyen de manera preponderante al total de las emisiones.

Tabla 7. Emisiones de GEI por categoría.

Categoría	CO2	CH4	N2O
	ton	ton	ton
Pasajero liviano	409.311	89	25
Carga liviano	343.457	17	12
Carga Pesado	994.109	63	25
Buses	129.175	8	2
Total	1.876.052	177	64

Cabe aclarar que aquí las emisiones están dadas en toneladas y no tienen en cuenta el potencial de efecto invernadero de cada gas (21 para metano y 230 para óxido nitroso)

3.4 *Comparación de emisiones*

Las emisiones totales de los distintos contaminantes no dicen mucho por si mismas. La comparación con las emisiones de otras ciudades proporciona una buena medida de la situación en la que se encuentra la ciudad. La Tabla 7 siguiente presentan las emisiones per capita de Mendoza, Santiago de Chile y Bogotá para contaminantes criterio.

Tabla 7. Emisiones per cápita (kg hab^{-1} $año^{-1}$)

Contaminante	Bogotá [5]	Santiago [6]	Mendoza
CO	124	28	47
NOx	7	6	13
PM10	0,30	0,28	1,08
SO_2	0,33	0,28	1,14
NMVOC	11	3	11

En la Figura 8 se presentan los valores de emisión de CO_2 por habitantes en ton/cápita para el año 2005 atribuibles al transporte para algunas ciudades del mundo.

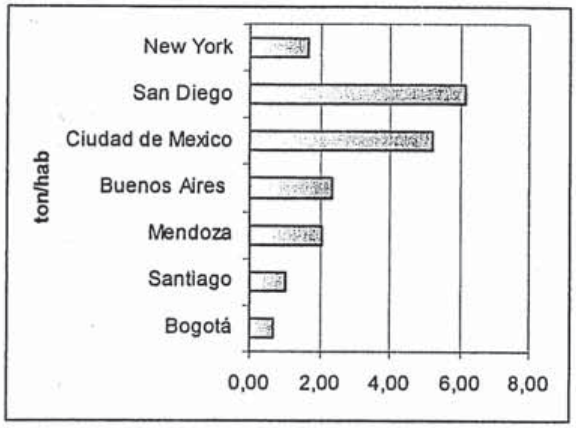


Figura 8. Emisiones de CO_2 per capita (ton/hab) atribuibles al trasporte.

4 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

El primer punto que debe ser analizado es el balance de combustible. La aparentemente gran diferencia entre el valor estadístico y estimado del balance de combustible se debe, en gran parte, a que el valor de consumo de combustible estadístico publicado corresponde al de total de la Provincia y no específicamente al Gran Mendoza. Se considera estimativamente que solo un 70-80% de ese valor pertenece a la zona que concentra aproximadamente el 70% del parque automotor, la población y el producto bruto geográfico. Teniendo en cuenta esto las diferencias en el balance se tornan aceptables. Una vez justificado el balance se pueden analizar las emisiones de los distintos contaminantes. En las emisiones totales de la Tabla 1 se puede observar que la contribución de las emisiones en frío es sólo de relevancia, aproximadamente el 25%, para CO y NMVOC. La causa de esto es que cuando el motor trabaja en frío la combustión es incompleta y se generan estos contaminantes. Por otro lado, en vehículos con convertidor catalítico hasta que no se alcanza la temperatura de encendido estos dos gases no son oxidados eficazmente. Las emisiones evaporativas son exclusivamente de compuestos orgánicos volátiles y se consideran para vehículos nafteros únicamente como se puede observar en la Tabla 1. La posibilidad de contar con una especiación de los compuestos orgánicos volátiles (NMVOC) permitiría estudiar la influencia de algunos peligrosos contaminantes como benceno y

formaldehído, que son cancerígenos, en la calidad del aire de la ciudad.

En la Figura 1 se aprecia que el transporte de carga es el principal responsable de las emisiones de PM10, SO_2 y NOx aún cuando la cantidad de vehículos en esa categoría solo representa un 7 % del total. Esto esta relacionado con que los factores de emisión son entre 5 y 10 veces más grandes para los vehículos pesados que para el resto.

Con respecto a la partición entre emisiones urbanas y rurales, en un área predominantemente urbana como el Gran Mendoza era de esperarse una contribución casi exclusiva de las calles de tipo urbana a las emisiones como se muestra en la Figura 2.

Desde un análisis comparativo con las ciudades de Santiago y Bogotá, las emisiones per capita de Mendoza son mayores para todos los contaminantes. Esto puede deberse a una mayor cantidad de vehículos por habitante en Mendoza y a la predominancia del trasporte particular por sobre el público. En Santiago y Bogotá se han implementado exitosos sistemas de transporte público como el Transantiago y el Transmilenio respectivamente. Además, las administraciones locales tienen a la contaminación del aire como tema central en sus agendas. Sin embargo las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) por habitante de Mendoza se hayan dentro de los valores encontrados para otras ciudades Americanas de características muy disímiles. Las emisiones de GEI están asociadas fuertemente al consumo de energía, siendo las emisiones del transporte sólo una proporción de los GEI que varía entre 20 y 30% dependiendo de la ciudad.

5 CONCLUSIONES

En este trabajo se presenta una estimación de las emisiones de contaminantes atmosféricos generados por fuentes móviles para el año 2005 en el área de Gran Mendoza. La metodología utilizada en la estimación es utilizada en un gran número de ciudades de Latinoamérica. Sin embargo, los resultados deben ser considerados a la luz de los supuestos hechos para utilizar el modelo en cada ciudad. El más fuerte de estos supuestos es considerar que el parque automotor local es similar al utilizado para derivar los factores de emisión del modelo.

Una dificultad encontrada en la estimación es la falta de factores de emisión para vehículos propulsados a GNC. En la Argentina los vehículos alimentados con este combustible representan una importante proporción de la flota móvil por lo que sus emisiones merecerían mejores estimaciones.

Las emisiones de contaminantes criterio per capita del Gran Mendoza se hayan por encima de otras ciudades Latinoamericanas como Bogotá y Santiago de Chile. La causa de esto probablemente sea una mayor tasa de motorización y un menor uso del transporte público. Sin embargo serían necesarios ulteriores estudios que refuercen esta conclusión. En cuanto a las emisiones de GEI, Mendoza posee similares indicadores que otras ciudades de América.

Un aspecto positivo del uso de este tipo de modelos es que permitiría la evaluación de escenarios hipotéticos futuros y de distintas medidas tendientes a reducir las emisiones. Debe notarse también que factores como la pendiente de las calles, la altitud, el estado de mantenimiento de la flota y la carga de los vehículos pesados deberían ser tenidos en cuenta en sucesivas estimaciones ya que pueden tener una notable incidencia en las emisiones del transporte.

Los resultados obtenidos aquí son solo una aproximación de la realidad y no deben ser considerados como absolutos. En general este tipo de estimaciones se realizan de manera iterativa buscando mejorar, en forma constante, la información que presenta mayor incertidumbre. Dentro de ese enfoque entonces, este trabajo solo pretende sentar las bases para nuevas estimaciones.

REFERENCIAS

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

[2] UNECE, EMEP, CORINAIR: Atmospheric Emission Inventory Guidebook, 3rd Edition, September 2003 Update, Mike Woodfield and Kristin Rypdal (Editors), EMEP, Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long Range Transmission of Air Pollutants in Europe, The Core Inventory of Air Emissions in Europe, European Environment Agency, 2003.

[3] Ntziachristos, L., Samaras, Z., COPERT III Computer programme to calculate emissions from road transport Methodology and emission factors (Version 2.1), Technical Report No 49, EEA, Copenhagen, 2000.

[4] Vasallo J., XXVII Congreso Interamericano de ingenieria sanitaria ambiental 3 al 8 de

Diciembre de 2000 - Porto Alegre - Brasil, 2000.

[5] Zárate, E., et al., Air quality modelling over Bogota, Colombia: Combined techniques to estimate and evaluate emission inventories, Atmospheric Environment 41, 6302–6318, 2007.

[6] Escobar, J.M., et al., Actualización del inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos en la región metropolitana 2005, DICTUC; Pontificia Universidad Católica de Chile, 2007.

[8] Secretaria Medio Ambiente, Revision of the first national communication inventory. Secretariat for National Resources and Sustainable Development. October 1999. Country report to the United Nations framework convention on climate change (IPCC), 1999.

[9] IPCC, Watson, R., M.C. Zinyowera, and R. Moss (eds.), (1996): Climate Change 1995. Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific Analyses. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, 861 pp, 1996.

[10] Puliafito, E, Conte Grand, M., Civit, B., Bochaca, F., Gaioli F. and Tarela P., "Mendoza and Buenos Aires" en, Patricia Romero Lankao, Héctor López Villafranco, Angélica Rosas Huerta, et. al. (editores): Can Cities Reduce Global Warming – Urban Development and the Carbon Cycle in Latin America, México, IAI, UAM-X, IHDP, GCP. 2004, pp 39-63, 2005.

[11] Romero, P., Puliafito, E., León. A., Contegrand M., "Can cities reduce global warming? Urban development and carbon cycle in Latin America", IHDP newsletter update 02/2005, International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change, Pp 16-17, Issn 1727-155x, 2005.

Modelado matemático de dispersión de gases industriales

S. Loiácono.
stellaloiacono@hotmail.com
Departamento de Informática, Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, U.N.S.J.

N. Pugliese, L. Crescentino, A. Núñez, M. Pereyra, A Lucero & M. Cuevas.
noriris@unsj.edu.ar
Departamento de Matemática, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Juan.

O. Nagornov.
nagornov@yandex.ru
Department39-High Energy Density Physics. Moscow Engineering Physics Institute- Russia

RESUMEN: En áreas urbanas rurales la contaminación atmosférica es debida principalmente a la actividad humana. En el presente trabajo se desarrollarán modelos matemáticos que describan la contaminación del aire producida por los gases emitidos por una chimenea industrial. Para este estudio es necesario analizar los parámetros que determinan las condiciones de la estabilidad atmosférica, ya que dichas condiciones influyen fuertemente en la concentración, dispersión y difusión de los contaminantes. Para encontrar la solución del problema tridimensional se selecciona un método implícito de pasos discretos. Se elabora el algoritmo de la solución numérica y su correspondiente método computacional. La convergencia y estabilidad se analizan por el teorema de Lax.

Palabras clave: contaminación – propagación – modelado

ABSTRACT: In rural and urban places the contamination of air is mainly a consequence of human activities. In present work it will be developed mathematical models to describe air pollution due to gases emitted from an industrial chimney. It is necessary to analyze parameters for the atmospheric stability, which have a big influence in pollutant concentration, dispersion and diffusion. An implicit method of fractional steps is selected for solution of the three-dimensional problem. It is built a computational algorithm and numerical solution. Convergence and stability are analyzed by means of the theorem of Lax.

Key Words: pollution – propagation – modeling

1 INTRODUCCIÓN

En áreas rurales y urbanas hay fuentes de contaminación del aire, como consecuencia de las actividades humanas. Actualmente la principal contaminación del aire en la Provincia de San Juan es debida a las emisiones vehiculares y en menor escala debida a las industrias. Este trabajo se ha focalizado en el estudio del impacto que produce la contaminación de una industria minera localizada a 25 km al norte de la ciudad capital de San Juan, en el departamento Albardón. La mayor parte de los residuos industriales se descargan verticalmente al aire libre, mediante una chimenea. Una vez que el gas contaminado sale del punto de descarga, la columna de humo tiende a expandirse y mezclarse con el aire ambiental donde se diluyen los residuos gaseosos, para finalmente dispersarse y bajar al suelo [1]. Es importante entonces, el estudio y análisis de la estabilidad atmosférica para formular los modelos que permitan predecir las concentraciones en la contaminación del aire. Para el estudio de la contaminación producida por las chimeneas industriales, en una primera aproximación, se usa habitualmente el modelo de Gauss, basado en la solución de la ecuación de balance de masas en derivadas parciales; para cálculos más precisos se usa una combinación de modelos en la que la distribución horizontal es similar a la de Gauss y la distribución vertical sujeta a procesos más complejos tales como advección, asentamiento, transformaciones mutuas [2], este método es conocido como la Aproximación de Euler-Lagrange. Es significativo el estudio del transporte de contaminantes atmosféricos, basado en el modelado de este proceso por medio de la ecuación que describe en forma diferencial la ley de conservación de masa de cualquier sustancia en la atmósfera. Esta ecuación incluye el modelado de ciertos procesos como difusión, transporte por vientos, cambio de cantidad de sustancia debido a reacciones químicas, entre otros. En este proceso de modelado del transporte difusivo en la atmósfera, puede despreciarse la difusión molecular frente a la turbulenta. Es de gran importancia la determinación de los coeficientes de difusión turbulenta para lograr un modelado satisfactorio. La determinación *de* estos coeficientes se basa en la Teoría K de difusión turbulenta (K-Theory).

Los resultados de este estudio aportarán importante información para el análisis de la calidad de vida en las cercanías de una industria.

2 MODELO MATEMÁTICO Y SOLUCIÓN NUMÉRICA

2.1 *Formulación del modelo*

Para planificar y poner en práctica programas de control de la contaminación del aire, es necesario predecir las concentraciones en el medio ambiente. Un correcto modelo de concentración de contaminación del aire, permitirá predecir las concentraciones y emisiones de contaminantes con una condición meteorológica especificada, durante un periodo determinado. El modelo de Gauss y la Aproximación de Euler-Lagrange, son aptos para el estudio de contaminación en áreas lejos de la fuente de contaminación (Modelo Regional).

Para resolver el problema de advección-difusión, el primer paso es el proceso de discretización, consistente en la conversión de las ecuaciones diferenciales en derivadas parciales a un sistema de ecuaciones algebraicas, también llamado esquema en diferencias finitas. Este proceso introduce errores, es por eso que debe analizarse la aproximación de la solución numérica. El segundo paso es el estudio de la estabilidad del esquema numérico, por medio del método de Von Newman.

Ambas propiedades, aproximación y estabilidad, resultarán en la convergencia de la solución numérica a la solución exacta.

2.1.1 *Parámetros del modelado matemático*

Para modelar el proceso de difusión-advección en la atmósfera, es necesario tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Parámetros de estabilidad de la atmósfera.
- Flujo de emisión de cada contaminante.
- Principales características del campo de vientos.
- Coeficiente de difusión horizontal y vertical.
- Velocidad de deposición de cada especie.
- Velocidad de las reacciones químicas.
- Densidad de cada especie.
- Concentración inicial de cada especie.

Es por ello que se analizaron las principales características meteorológicas de la región bajo estudio como frecuencia y velocidades

predominantes de los vientos y variación de la temperatura. Estos estudios fueron hechos en base a datos anuales, proporcionados por la estación meteorológica de la fuerza aérea, ubicado en el aeropuerto D.F. Sarmiento. Se determinó que en la provincia, la dirección predominante de los vientos es desde el sur al norte, con velocidades variables de acuerdo a la estación del año, con un promedio de 10 km/h. Las principales características del campo de viento pueden obtenerse con el procedimiento desarrollado por Samarskaya [3], método que asume en términos generales que la componente vertical del viento es igual cero, donde el campo de viento satisface la ecuación de balance de masas. Además las componentes u y v pueden ser obtenidas por interpolación. Asume también que la influencia de la difusión horizontal puede ser despreciada frente a la componente horizontal del viento. Considera además que el movimiento del viento durante un episodio no tiene fluctuaciones y se aplican las ecuaciones de balance de momento (Fórmula de Navier-Stokes).

Se tuvo en cuenta también que la industria analizada explota la dolomita, trabajando en forma continua las 24 horas. Las piedras procesadas, que se traen de las montañas vecinas, son de aproximadamente 120 a 200 *mm* y poseen un 93 % de CO_3Ca. El tiempo de calcinación en el horno es de unos 48 *minutos*. La altura promedio de las chimeneas es de 25 o 30 *m*, con un diámetro de 600 *mm*.

Se analizó el combustible usado en la industria, para determinar el flujo de gases emitidos por la chimenea, como así también la velocidad de deposición de las sustancias que lo componen.

Los valores de las diversas constantes usadas fueron tomados de un trabajo previo de difusión de contaminantes atmosféricos en la periferia de la ciudad de San Juan, desarrollado por el grupo de investigadores [4].

2.2 *Modelo para la distribución de contaminación del aire.*

Se introduce la ecuación de difusión-convección sin interacciones mutuas entre contaminantes. Debido al movimiento de las moléculas, la difusión produce una disminución de la concentración. Basándose en las ecuaciones de balance pueden describirse los procesos de difusión atmosférica, donde despreciando la termodifusión y la barodifusión se obtiene la ecuación de difusión convectiva, aplicada a fluidos incompresibles en los que ρ es constante, por lo que resulta la ecuación de difusión-convección:

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} + div(C_i \vec{u}) = div(D \nabla C_i) \qquad (1)$$

Para varias sustancias se introducen concentraciones parciales C_i, donde i representa el número de sustancias, obteniendo un sistema de ecuaciones diferenciales parciales (PDEs) para describir la evolución de las concentraciones. La ecuación (1) describe la dispersión de los contaminantes en la atmósfera sin interacción entre los gases, pero dichas interacciones químicas juegan un rol importante por lo que deben ser consideradas, entonces para $i = 1,...,n$ especies químicas la ecuación de balance para cada una será:

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uC_i) + \frac{\partial}{\partial y}(vC_i) + \frac{\partial}{\partial z}(wC_i) = \\ = \frac{\partial}{\partial x}\left(K_H \frac{\partial C_i}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(K_H \frac{\partial C_i}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(K_v \frac{\partial C_i}{\partial z}\right) + E_i + R_i \qquad (2)$$

Donde:

K_H y K_V son los coeficientes de difusión horizontal y vertical respectivamente en m^2/seg.

u, v, w son las componentes de la velocidad del viento en cada dirección en *m/seg*.

E_i: corresponde a la emisión (fuente puntual) en *kg/h*.

R_i: representa los términos de producción y pérdida de gases en la fase química.

2.2.1 *Condiciones de frontera*

La región bajo estudio es un paralelepípedo cuyas fronteras son:

$\{x = 0, x = L_X\}$; $\{y = 0, y = L_Y\}$; $\{z = 0, z = H\}$.

Las condiciones de frontera son:

$$1) \quad \left.\frac{\partial C}{\partial x}\right|_{X=0} = 0 \quad , \left.\frac{\partial C}{\partial x}\right|_{X=L_X} = 0$$

$$2) \quad \left.\frac{\partial C}{\partial y}\right|_{Y=0} = 0 \quad , \left.\frac{\partial C}{\partial y}\right|_{Y=L_Y} = 0 \qquad (3)$$

$$\left.\frac{\partial C}{\partial z}\right|_{Z=H} = 0 \qquad (4)$$

$$\left.\frac{\partial C}{\partial z}\right|_{Z=0} = -f(x,y,t)/K_y\rho \qquad (5)$$

Las condiciones 1) y 2) consideran que los perfiles de concentración en la frontera lateral son suficientemente suaves, y la primer derivada igual a cero.
La condición 3) significa ausencia de flujo de aire a través de la cara superior.
La condición 4) implica el flujo desde la superficie en contacto con la fuente de emisión.

2.2.2 *Condición inicial*

Se determina la condición inicial para el estudio de la distribución de concentración como sigue:

$C(x=0, y, z) = C_0(y, z)$

Siendo C_o = concentración inicial en ppb.

3 RESULTADOS DEL MODELO

Se aplica el modelo para estimar la concentración de NO_2 emitido por la chimenea industrial a diferentes distancias y bajo diferentes condiciones climáticas. Los cálculos se hacen considerando una altura real de la chimenea de 30 *m* y la altura de la pluma variable de acuerdo a la clasificación de estabilidad atmosférica, con velocidad de viento constante. Se consideraron diferentes velocidades de deposición seca a varias distancias de la chimenea. Los datos de emisión usados en el programa se muestran en la tabla 1.

Tabla 1

Substancia	Emisión (Kg/h)	Densidad (Kg/m)	m (A/F)
N2	2160	1,25	0,22/0,04
CO2	1332	1,96	
NO2	14,8	2,05	
SO3	7,92	3,57	
H2O	108	0,80	
Otras	25,3	2,68	

En la tabla 1, *m* corresponde a la clasificación de estabilidad atmosférica.

Para la representación gráfica se ha considerado el origen del sistema de coordenadas ubicado en la base de la chimenea, tomando el eje horizontal alineado con la dirección del viento. La escala en la dirección horizontal está expresada en número de nodos. En dirección *x* la longitud mostrada es 6000 *m*, en dirección *y* es 600 *m*.
En Fig.1, Fig. 2 se muestra la distribución de la contaminación producida por la chimenea de la industria. La pluma sube a considerable distancia sobre la chimenea, dado que el gas es emitido a mayor temperatura que la atmosférica y con velocidad vertical.
Para los cálculos de la altura de la pluma, se supuso que el gas es emitido desde un punto (0,0,H).
Se presenta en particular la concentración de óxidos de nitrógeno en *ppb*, para una distancia de 6000 *m* de la chimenea, con velocidad del viento de 1 *m/seg* y velocidad de deposición seca de 0.01 *m/seg*, para la misma chimenea y para dos alturas efectivas diferentes, determinadas por las condiciones climáticas.
En Fig. 3 se muestra la distribución de la contaminación para la misma altura efectiva de la representada en Fig. 2, pero con una velocidad del viento de 3 *m/seg*.

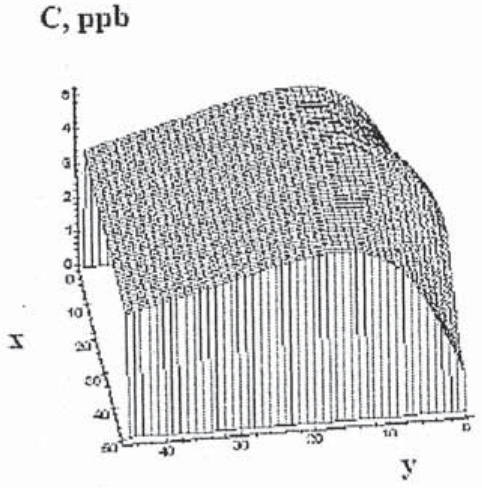


Figura 1. Concentración de Óxidos de Nitrógeno en *ppb* (H =100 *m*, velocidad del viento: 1 *m/seg*).

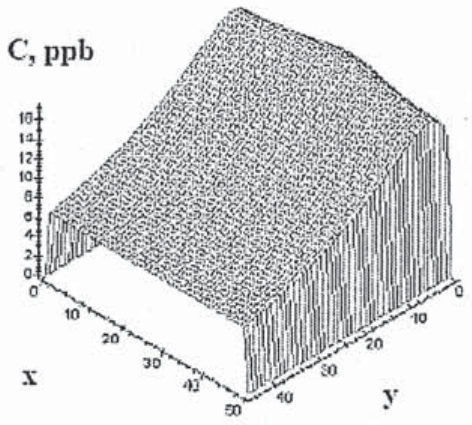


Figura 2. Concentración de Óxidos de Nitrógeno en *ppb* (H = 70 *m*, velocidad del viento = 1 *m/seg*).

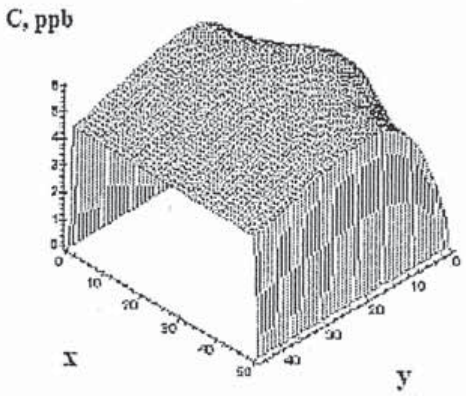


Figura 3. Concentración de Óxidos de Nitrógeno en *ppb* (H = 70 *m*, velocidad del viento = 3 *m/seg*).

Del análisis de las figuras precedentes puede inferirse que un aumento de la altura efectiva de la chimenea resulta en una disminución del pico máximo de concentración.
Se observa también que aumentando la velocidad del viento, disminuye el pico máximo de concentración de contaminante y se aleja de la chimenea.

Se determinó la sección transversal de las concentraciones de NO_2 a diferentes distancias de la chimenea (360 *m* gris suave, 600 *m* gris oscuro). Las que se muestran en Fig. 4 y Fig.5.

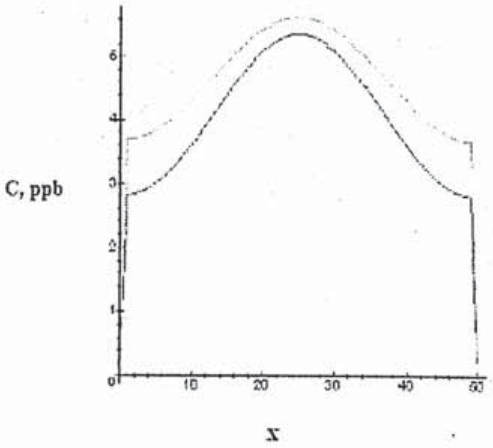


Figura. 4. Concentración de Óxidos de Nitrógeno en *ppb* (H = 70 *m*, L_x = 6000 *m*).

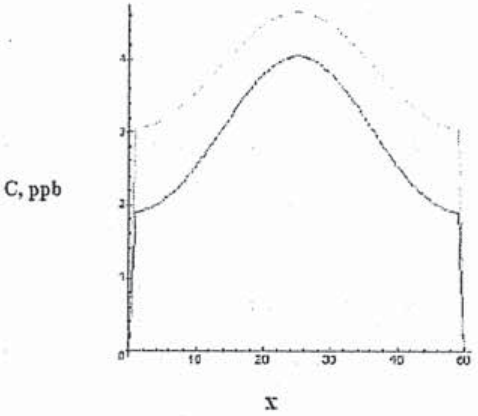


Figura. 5. Concentración de Óxidos de Nitrógeno en *ppb* (H = 70 *m*, L_x = 8000 *m*).

Del estudio de dichas secciones se puede observar que a un aumento de la distancia a la chimenea se

produce una disminución de las concentraciones de contaminante emitido.

4 CONCLUSIONES

El modelo desarrollado permite predecir las concentraciones de gases emitidos por una chimenea a diferentes distancias y bajo diferentes condiciones climáticas.

Analizados los resultados se observa que se produce una disminución del máximo pico de concentración en las cercanías de la chimenea si se aumenta: ya sea la altura efectiva de la chimenea, o la velocidad de deposición seca, o la velocidad del viento o la distancia a la chimenea.

Estos resultados contrastados con los de un estudio previo [4], en el que se consideró la emisión vehicular de una ciudad como una chimenea (fuente puntual) frente a las distancias regionales, arrojan comportamiento similar.

El modelo desarrollado, puede aplicarse a otras industrias en la provincia, aportando información útil tanto para organismos gubernamentales, como empresas, sobre la calidad de vida en las cercanías de la industria para determinar la conveniencia o no de construcción de viviendas en las adyacencias.

REFERENCIAS

[1] M.L. Davis & S.J. Masten, Ingeniería de las Ciencias Ambientales. Mc Graw Hill Interamericana. 2004.

[2] T.D. Lev., N.N.Talerko, A.G. Tarnopolskiy, V.A. Shnaldman, Dry deposition of atmospheric pollutants over the Sea of Azov and the northern Black Sea. Meteorology and Hydrology. N° 6, 1995

[3] E.A. Samarskaya, Mathematical model of contamination propagation in atmosphere. Mathematical Modeling. V9, N°11, 1977.

[4] M.A. Clemente, C.O. Gil García, E. Ortega, N.I. Pugliese, A. Núñez, S. Loiácono, N. Alonso, M. Pereyra, & M.F. Gil. "Propagación de contaminantes a distancias regionales" XII EMCI Nacional-IV Internacional. Facultad de Ingeniería, U.N.S.J. 2005.

Una propuesta para optimizar el aprendizaje del Análisis Matemático

M. P. Garrido & A. Schilardi

patrigarrido@yahoo.com.ar & aschilardi@frm.utn.edu.ar
Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional

RESUMEN: En el cursado semestral adoptado por la Facultad Regional Mendoza de la UTN para materias, como por ejemplo Análisis Matemático I, se pone en evidencia que el tiempo destinado es insuficiente para que los alumnos que cursan primer año durante el primer semestre, alcancen un verdadero aprendizaje, que sea significativo y de calidad, Es por esto que se ven en la necesidad de buscar nuevas herramientas que permitan al estudiante reforzar las instancias de aprendizaje, contribuyan a dar cumplimiento a los temas propuestos y además permitan la integración de los conocimientos. En este trabajo se utilizan las nuevas tecnologías de la información como estrategia, para fortalecer el aprendizaje de los estudiantes en la asignatura Análisis Matemático I, de primer año de las carreras de ingeniería. En particular se muestra un entorno virtual de aprendizaje como un instrumento que potencia y amplía el trabajo del alumno en el aula, facilitando el seguimiento académico, disminuyendo la tasa de abandono y promoviendo situaciones de comunicación permanente, tendientes a aminorar la sensación de soledad y favorecer la retención del estudiante en el sistema.

Palabras clave: tecnologías - EaD – Análisis Matemático

ABSTRACT: The six month-tem regime adopted by Facutad Regional Mendoza (UTN) is not really suitable for subjects like Mathematical Analysis I, which is to be attended by students during the first half of their first year at University. This is the reason why it is extremely necessary to think of new strategies that will enable students in these circumstances to achieve a deep and integrated understanding of the subject as well as an integration of acquired concepts. The present piece of work concentrates on the use of information technology as a tool to enhance the learning of Mathematical Analysis for students who are attending the first year at the mentioned University in the Engineering Programme. The focus of this work is on the use of virtual tools which will expand and improve students' work in the classroom and foster immediate communication between them and teachers. Such academic monitoring will diminish the students' feeling of frustration and loneliness and improve their academic results; achievements which will, undoubtedly, decrease desertion rate at University.

Key Words: technology – EaD (education at distance) – Mathematical Analysis.

1 INTRODUCCIÓN

Los procesos de innovación relacionados con la utilización de las tecnologías de la información y la comunicación en la docencia universitaria, suelen partir, la mayoría de las veces, de las necesidades con las que se encuentra en el desarrollo de los programas de la currícula.

En este momento se encuentra con alumnos de 1° año de las ingenierías que poseen una formación humanístico-cultural y científica deficitaria en contenidos, y poco capaces de hacer significativos los aprendizajes de su paso por la Universidad. Todo esto se da a pesar de que las facultades de Ingeniería han transformado sus programas de estudio, tendiendo a incluir, desde los primeros años, áreas transversales de desarrollo tecnológico e incluso social, en temas como Ingeniería y Sociedad o materias integradoras. Es difícil incluir en el alumno, con la significación suficiente, el concepto de que su formación tecnológica está basada en el desarrollo y aplicación de las Ciencias Básicas.

A pesar de que las Ciencias Básicas han cobrado un impulso tremendo en la investigación fundamental ante la revolución informática, puede decirse que ahora hay mucha más Ciencias Básicas para estudiar y menos horas cátedra y un estudiante menos capacitado para enfrentar su complejidad. Ello conlleva a que en las materias aplicadas falten reales capacidades instrumentales de estas ciencias para hablar de aptitudes creativas e innovadoras en la tecnología posible de ser generada por nuestros ingenieros.

Es por eso que la Universidad debe diseñar e implementar un conjunto coordinado de proyectos destinados a optimizar toda actividad académica apoyados en la potencialidad de las tecnologías educativas. Por eso debe enfrentarse a un reto tan importante como el de transformar la enseñanza y el aprendizaje: el comprometerse con sus resultados. Tendrá que establecer su "nivel mínimo" por el que deberán responder ante la sociedad. También deberá enfrentar el desafío de reformular su oferta académica, y en sintonía con los cambios de la demanda, procurar dar respuesta a una mayor diversidad de intereses y posibilidades a partir de la promoción de estudios de alto nivel.

Los procesos educativos tienen la clave de su éxito en la calidad de sus docentes, en la calidad de sus contenidos y en la habilidad de los primeros para la utilización de los medios de enseñanza a su alcance. La educación es en realidad la adquisición de una "segunda naturaleza", de un hábito mental, como decían los antiguos maestros, que impregna toda la conducta y todo el saber. El hábito de aprender es lo que distingue al hombre civilizado.

La educación tradicional deberá abandonar definitivamente el aislacionismo en el que se ha enquistado, renunciar a privilegios anacrónicos e integrarse debidamente en la sociedad abierta.

Se debe reconocer que los cambios globales de las últimas décadas han sido tan prodigiosos, que la enseñanza formal no ha logrado todavía incorporarlos con acierto. Una manera de hacerlo sería hacer uso de algunas herramientas que nos brinda la educación a distancia mediatizadas con las nuevas tecnologías de la información y la comunicación, las Ntic, las que cambian la visión del mundo real, las que implementan otra manera de enseñar para lograr integrarse a los nuevos contextos. Con la incorporación de las Ntic, los medios tecnológicos brindan nuevas posibilidades a la educación presencial, complementándola y optimizándola. Nacen de esta manera, programas de tecnología abierta o entornos virtuales de aprendizaje (EVA) que, accesibles a través de Internet, integran una serie de herramientas que permiten que docentes y alumnos se comuniquen eficazmente. A estos programas se los denomina genéricamente "Plataformas virtuales".

La educación "presencial", establecida desde hace siglos, ha sufrido recientemente grandes cambios, muchos de ellos provocados por las crecientes exigencias de una población que requiere mayor cultura y capacitación profesional. Uno de los grandes cambios producidos ha sido la disminución en semanas del dictado de las materias.

Si bien la cantidad de horas de clase que se les imparte a los alumnos es la misma, en la actualidad, el proceso de semestralización de las materias ha llevado a que para las asignaturas como por ejemplo el Análisis Matemático que se dicta en el 1° semestre de 1° año, se disponga sólo de 16 semanas para su desarrollo. Debido a esto, la experiencia muestra que es diferente el aprendizaje que realiza un alumno cuando se ve sometido a un proceso de asimilación de conceptos que no sea sostenido en el tiempo. En el cursado semestral no se adquieren significativamente los conceptos debido a que es necesario un cierto tiempo de maduración.

Es por todo esto que se propone esta herramienta para mediar el aprendizaje y originar nuevas modalidades de formación utilizando las potencialidades de las nuevas tecnologías. Esta herramienta contribuirá a elevar la calidad del aprendizaje en los alumnos en el nivel universitario.

2. OBJETIVOS

- Lograr que el alumno adquiera conocimientos en forma significativa, permitiéndole reflexionar y analizar los conceptos incorporados.
- Propiciar un espacio para una comunicación eficaz entre el alumno y el profesor.
- Enfrentar al alumno con situaciones imposibles de presentar en las clases presenciales.
- Proponer evaluaciones que muestren al alumno sus progresos en el aprendizaje.

3. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES

La herramienta que se propone está soportada por una plataforma Moodle. Está orientada al aprendizaje del tema "Límite" ubicado en la primera unidad del programa de Análisis Matemático I.
Cuando el alumno accede a través de un nombre de usuario y una clave a esta plataforma, se le muestra la pantalla de introducción . Ver Fig. 1.

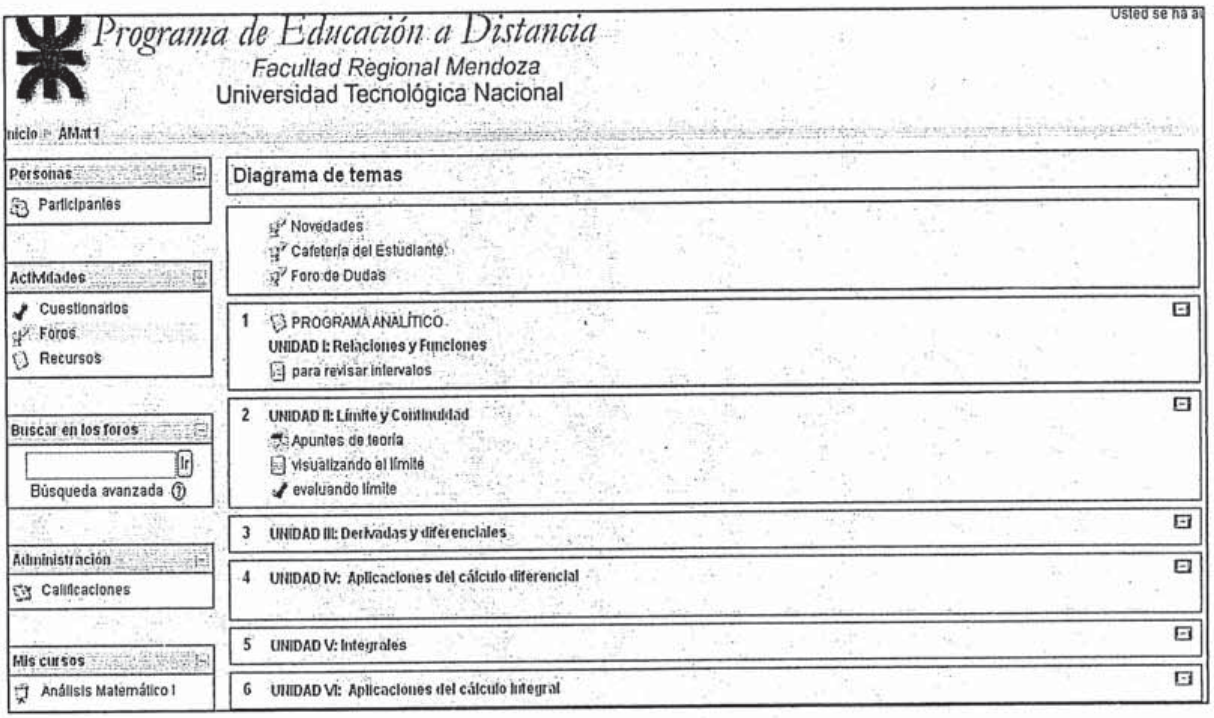


Figura 1. Pantalla de presentación.

En esta pantalla se encuentran presentadas las unidades temáticas y sus correspondientes actividades. Cada módulo o unidad está concebido como una serie de actividades organizadas de tal manera que el alumno logre un aprendizaje significativo del análisis matemático. Algunas de estas actividades son:

A. Apuntes

En este recurso, se le presenta al alumno toda la información referida al tema en cuestión que le permitirá fundamentar sus conocimientos. Esta información está organizada en forma de apuntes elaborados especialmente con este fin y para ser analizado por el alumno en forma personal o grupal si decide estudiarlos con sus compañeros. Ver Fig.2.

Unidad nº 2: LÍMITE Y CONTINUIDAD

Objetivos específicos:

- Definir: límite, límites laterales, continuidad
- Graficar en coordenadas cartesianas y tabular
- Determinar propiedades de las funciones, locales(polos, puntos de discontinuidad) y generales (intervalos de continuidad, intervalos de equivalencia entre funciones) usando límites
- Comparar valores de funciones en un entorno.
- Encontrar límites de funciones vinculadas por operaciones a partir de los límites individuales de las componentes.
- Determinar entornos de aproximación y errores en valores de una función.

Introducción al concepto de límite

Dada la función f(x) = x+3 , ¿ a qué valor se acerca f si nos acercamos con x a 2?

Figura 2. Apuntes

B. Simuladores

Teniendo en cuenta que una de las formas de aprendizaje es el aprendizaje por acción, resulta muy útil para este proceso el uso de simuladores. Estos permitirán al alumno modelar una situación real y realizar, todas las veces que lo desee, simulaciones de esta realidad con el objeto de realizar predicciones [1]. El valor didáctico de esto se halla potenciado en el sentido de brindar imágenes que ayudan al alumno a captar detalles o características del fenómeno analizado [2]. Esto es debido a que los simuladores son estrategias que permiten promover en los estudiantes el desarrollo de modelos mentales sobre situaciones de complejidad y participar activamente en la resolución de problemas.

Estas actividades le permiten al alumno, tomar decisiones en la reproducción de fenómenos semejantes a los que ocurren en la realidad.

Algunas de las ventajas de estos simuladores son, por ejemplo, el descubrimiento, la comprensión, la reflexión sobre los propios conocimientos, ante una situación problemática. El descubrimiento que puedan realizar los estudiantes, sin que el profesor se lo enseñe, provoca una sensación de capacidad, confianza en sí mismo, y también, interés por adquirir nuevos conocimientos que le permitan comprobar lo descubierto y dar explicaciones.

La utilización de simuladores permite:

- No sólo recordar los conceptos enseñados por el docente sino apoyar el aprendizaje constructivo.
- Procesar información significativa.
- Integrar conocimientos previos con otros nuevos y elaborar otros conocimientos.
- Que el alumno reflexione sobre lo que sabe y lo que necesita aprender.
- Apoyar el pensamiento significativo, haciendo que el alumno genere hipótesis y resuelva situaciones concretas.

Una de las actividades basada en simuladores consiste en presentarle al alumno una ventana en la que aparece dibujada una función, indicando también la abscisa y ordenada de un punto. También aparece un botón que le permitirá ir modificando los valores de la abscisa para observar lo que pasa con los valores de la función para dicho punto. Ver Fig. 3.

LÍMITE DE UNA FUNCIÓN

Estudiemos el comportamiento de esta función en un entorno reducido de 3.

En la siguiente animación está representada la función y las coordenadas de algunos puntos. Er coordenadas de x. Partiendo del inicio de la escena pulsa el botón para acercar el valor de x c la ordenada para cada valor de x.

¿a qué valor se acerca la ordenada cuando nos acercamos por izquierda a x=3 ?

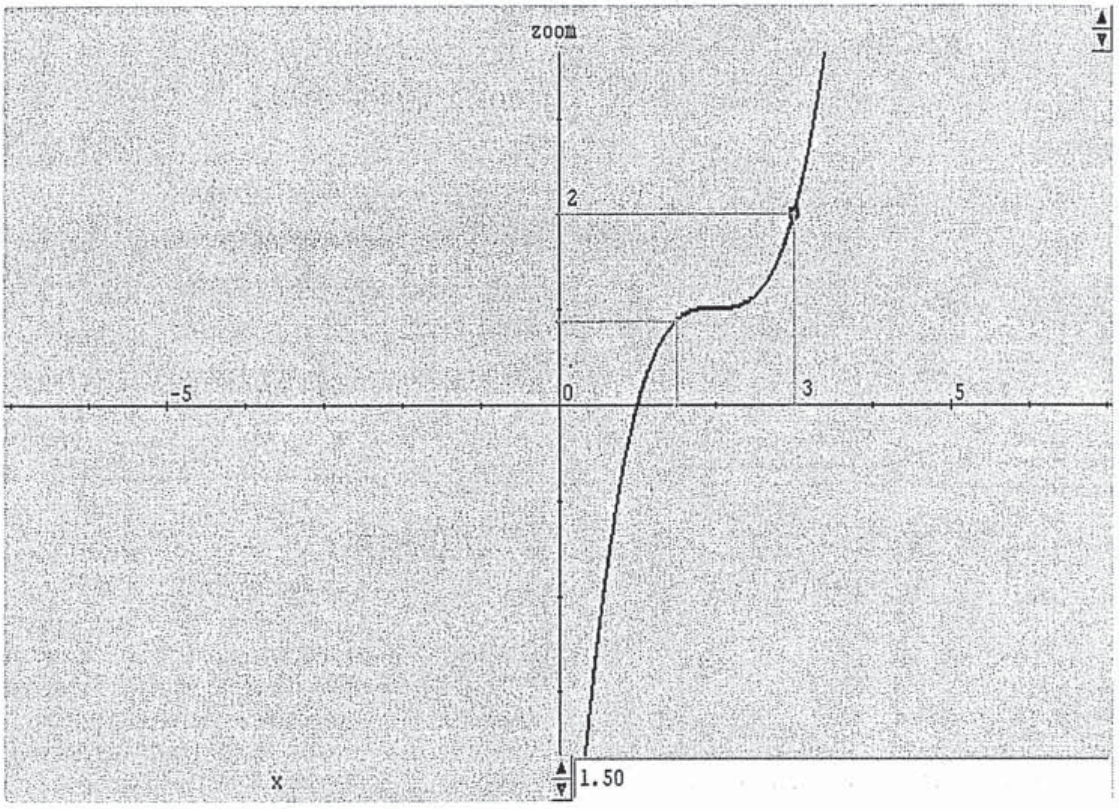


Figura 3. Simulación

C. Evaluaciones

Esta otra actividad está orientada a presentarle al alumno ejercicios de opción múltiple que le permitirán controlar el avance de su aprendizaje y ponerlo en situación de evaluación proporcionándole el lenguaje correcto acorde a la temática considerada. Ver Fig.4.

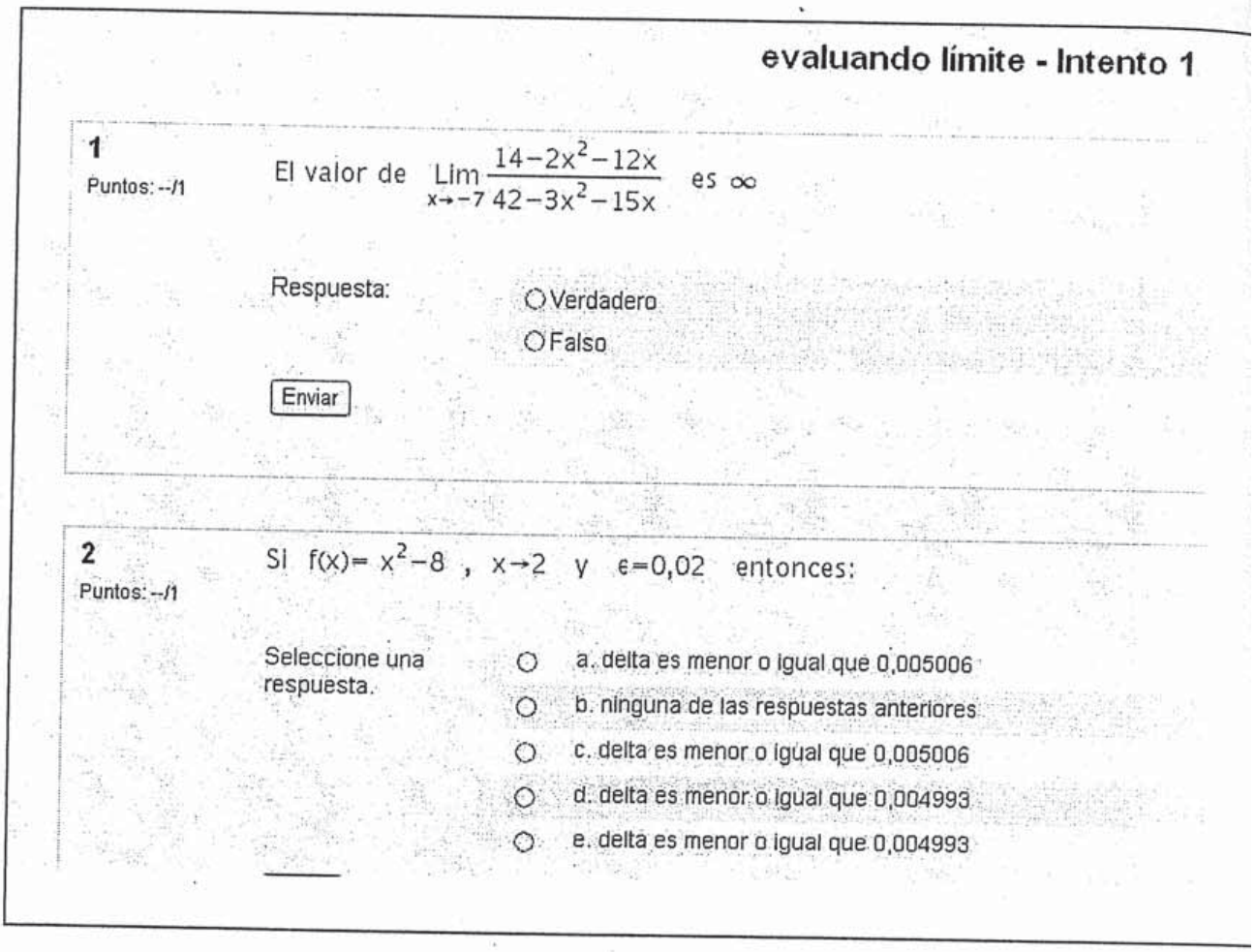


Figura 4. Evaluación

4. CONCLUSIONES

El aprendizaje en el aula y a distancia se pueden complementar extrayendo de cada una las ventajas que posibilitan un mejor aprendizaje y sin olvidar que éste es individual, se da sólo en el individuo. Una herramienta que permite esta complementación son los entornos virtuales basados en plataformas de educación a distancia. Estas permiten aumentar la interactividad entre el docente y el alumno, promoviendo la participación activa de éste último en su proceso de aprendizaje de tal modo que se alcance un aprendizaje cognitivamente eficiente. Esta participación se pone en evidencia por la intención de este entorno de que el alumno "aprenda a saber aprendiendo a hacer". Por eso es que el trabajo que puede realizar un alumno en un entorno virtual le permite abordar nuevas situaciones de aprendizaje reorganizando su pensamiento matemático y permitiéndole dar significación a los conocimientos adquiridos, como así también, integrar conceptos y aplicarlos a situaciones concretas.

Entonces se espera, que con estas estrategias el alumno pueda dinamizar su aprendizaje convirtiéndose en protagonista de la construcción de sus conocimientos como también estimular su actividad exploratoria y enriqueciendo el pensamiento matemático.

REFERENCIAS

[1] A. Schilardi. Categorías de predicción para la resignificación de la función periódica. Tesis de Magíster. Universidad Católica de Valparaíso. Chile, 2007

[2] Descartes. http://descartes.cnice.mecd.es.

[3] J.L. Córica. Fundamentos del diseño de materiales para la Educación a Distancia; Editorial Virtual, Argentina , 2007.

[4] L.García,Aretio, Fundamentos de la Educación a Distancia, Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED) España, 2001.

[5] G.Thomas & R. Finney, Cálculo, una variable, Addison Wesley Longman; México, 1998.

Herramienta Educativa Editor SQL GreatSQL

S. Perez, M. Cajeao, E. Guerra, D. Fratte, D. Atala, G. Mion, G. Puntons, S. Santa María, G. Irrutia & J. Rotella

santiagocp@frm.utn.edu.ar & marcocajeao@hotmail.com &danielfratte@gmail.com & guillermopuntons@hotmail.com &sebastiansantamaria@smn.com
Grupo de Investigación y Desarrollo en TICs (GRID TICs), Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional

RESUMEN: El objeto del presente trabajo es estudiar una herramienta software de uso académico para facilitar el proceso de enseñanza aprendizaje del lenguaje SQL (Structured Query Language). La herramienta es un prototipo avanzado que permite y tiene previsto incorporar todas las funcionalidades necesarias para la edición, manipulación y ejecución de sentencias SQL, sobre los objetos (tablas, índices, etc.) de una Base de Datos. Además, mejora los mecanismos de entendimiento y entrenamiento, dado que pueden observarse los códigos que resuelven cada operación del lenguaje SQL, aspecto que no se puede lograr desde la mayoría de los editores SQL que se encuentran incorporados prácticamente de manera indivisible con los DBMS (Database Managment System). Finalmente, y dado que se trata de un instrumento académico y nativo, las especificaciones, ayudas y guías se encuentran en castellano, generando así otra ventaja adicional como recurso educativo.

Palabras clave: SQL – DBMS – Traductor – Interprete – Educación

ABSTRACT: The purpose of paper is to study a software tool for academic use to facilitate the process of teaching and learning of language SQL (Structured Query Language). The tool is a advance prototype that allows and intends to incorporate all the features necessary for editing, handling and execution of SQL commands, on objects (tables, indexes, etc.) of a database. In addition, improving the mechanisms of understanding and training, as can be seen codes to solve each operation of SQL language, which can not be achieved since most editors SQL that are incorporated so virtually indivisible with DBMS (Database Management System). Finally, given that this is an academic and native tool, specifications, aid and guides are in Castilian, and thus generating another added advantage as an educational resource.

Key Words: SQL – DBMS – Translator – Interpreter – Education

1 INTRODUCCIÓN

1.1 *Antecedentes: SQL, el Modelo Relacional de Bases de Datos y los traductores*

SQL (Structured Query Language) se ha convertido en el lenguaje de base de datos estándar y todos los productos DBMSs (Database Management Systems) lo soportan, ejecutándose en computadoras personales hasta en mainframes. Su creciente uso es una de las tendencias más importantes en la industria informática de las Bases de datos.

Específicamente SQL permite interactuar con un tipo de base de datos llamada base de datos relacional. Y el programa informático que controla la base de datos se denomina Sistema de Gestión de Base de Datos o DBMS. Por lo tanto, SQL no es un DBMS; es parte integral de un sistema DBMS. Es un lenguaje y una herramienta para comunicarse con el DBMS, y a través de él a los datos de las Bases de Datos. Es decir, SQL estará soportado como lenguaje en productos como DB2, SQL Server, Oracle, Informix, Ingres, Sybase, etc. El nombre SQL es una abreviatura de Structured Query Language ó Lenguaje de Consultas Estructuradas.

Cuando se necesita recuperar datos de la base de datos, se utiliza el lenguaje SQL para efectuar la petición. El DBMS procesa la petición SQL, recupera los datos solicitados y los devuelve. Este proceso de solicitar datos de la base de datos y de recibir los resultados se denomina consulta (query). De aquí el nombre Structured Query Language.

A pesar de ello este nombre resulta inapropiado puesto que SQL es mucho más que una herramienta de consulta, aunque este fue su propósito original y una de sus funciones más importantes. SQL se utiliza para controlar todas las funciones que un DBMS proporciona a sus usuarios tales como: definición, recuperación, manipulación, compartición e integridad de datos, así como control de acceso de usuarios y administración de concurrencia, entre otros aspectos.

Como suele ser común en los lenguajes de acceso a bases de datos de alto nivel, el SQL es un lenguaje declarativo. O sea, que especifica qué es lo que se quiere y no cómo conseguirlo, por lo que una sentencia no establece explícitamente un orden de ejecución

Los DBMSs organizan y estructuran los datos de tal manera que puedan ser recuperados y manipulados por usuarios de modo interactivo, o a través de programas de aplicación. Las estructuras de datos y las técnicas de acceso proporcionadas por un DBMS se denominan su modelo de datos.

SQL es un lenguaje de base de datos para base de datos relacionales y utiliza el modelo de datos relacional.

Una base de datos relacional es una base de datos en donde todos los datos visibles al usuario están organizados estrictamente como tablas de valores, y en donde todas las operaciones de la base de datos actúan sobre estas tablas, y a su vez, dan como resultados tablas.

Bajo esta perspectiva, la herramienta software educativa (que se llama GreatSQL) para la edición, manipulación, y ejecución de sentencias SQL que se propone, constituye una opción, útil y económica para la enseñanza y/o capacitación del lenguaje.

Se trata de un prototipo, con un grado de madurez, fácilmente transportable, que permite mejorar los mecanismos de entendimiento y entrenamiento, dado que puede observarse el código que resuelve cada operación del lenguaje SQL, al disponerse de todos los programas fuentes, y sus comentarios en castellano, aspecto que no se puede lograr desde la mayoría de los editores SQL que se encuentran incorporados prácticamente de manera indivisible con los DBMSs (Database Managment System) comerciales y de libre acceso. Y por lo tanto, aún cuando se puedan acceder a algunos productos open source, para disponer del código fuente que soporta funcionalmente las sentencias SQL, esto aparece como una documentación fuera de línea, que puede consultarse, y aún así, con un gran esfuerzo en horas de enseñanza-aprendizaje para su entendimiento, y que depende de la legibilidad de los programas para cada caso.

Además, dentro de la herramienta se ha incluído especialmente una opción "Explicación y Rendimiento" que describe las acciones que se llevan adelante, desde el punto de vista operativo y sus implicancias en el rendimiento, a partir de una sentencia SQL, de acuerdo a los objetos de bases de datos disponibles y sus características, para cada una de las operaciones que se ejecute.

El alumno en el proceso de enseñanza aprendizaje de SQL, y en base a los objetivos de la Cátedra, debe asociar el conocimiento adquirido de las operaciones de bajo nivel sobre las estructuras de archivos, con las requeridas cuando se ejecuta una sentencia SQL. Este objetivo se logra parcialmente, en la medida

que el alumno aprende, por ejemplo, como construir un índice árbol B en bajo nivel, y lo que sucede cuando aplica una sentencia SQL del tipo CREATE INDEX, con un grado importante de abstracción. Con la herramienta se pretende facilitar su entendimiento general y consolidar los conocimientos adquiridos, visualizando con facilidad todas las tareas involucradas en dicha acción, y las consideraciones de funcionalidad y de rendimiento, con sencillez, de manera narrada descriptiva, y alternativamente, mostrando los códigos fuentes en línea asociados, especialmetne para los alumnos avanzados.
Y finalmente, dado que se trata de un instrumento software académico y desarrollado localmente, las especificaciones, ayudas y guías se encuentan en castellano, generando así otra ventaja adicional como instrumento educativo.
Todos estos aspectos de la herramienta han sido evaluados comparativamente con los recursos disponibles en la Cátredra en la actualidad, para determinar la calidad del proceso de enseñanza aprendizaje de SQL, y su mejora.

1.2 *El Lenguaje SQL*

Los orígenes del SQL están ligados a los de las bases de datos relacionales. En 1970 E. F. Codd propone el modelo relacional, y asociado a este un sublenguaje de acceso a los datos basado en el cálculo de predicados, y el cálculo o álgebra relacional. Basándose en estas ideas, los laboratorios de IBM definieron el lenguaje SEQUEL (Structured English QUEry Language), que más tarde sería ampliamente implementado por el DBMS experimental llamado System R, desarrollado en 1977 también por IBM. Sin embargo, fue Oracle quien lo introdujo por primera vez en 1979 en un programa comercial.
El SEQUEL terminaría siendo el predecesor de SQL, siendo éste una versión evolucionada del primero. El SQL pasa a ser el lenguaje por excelencia de los diversos DBMSs relacionales surgidos en los años siguientes, y es por fin estandarizado en 1986 por el ANSI, dando lugar a la primera versión estándar de este lenguaje, el SQL-86 o SQL1. Al año siguiente este estándar es también adoptado por la ISO.
Sin embargo, este primer estándar no cubrió todas las necesidades de los desarrolladores e incluyó funcionalidades de definición de almacenamiento que se suprimieron. Así que en 1992 se lanzó un nuevo estándar ampliado y revisado del SQL llamado SQL-92 o SQL2.
En la actualidad el SQL es el estándar de facto de la inmensa mayoría de los DBMSs comerciales. Y, a pesar de la diversidad de particularidades que incluyen las distintas implementaciones comerciales del lenguaje, el soporte al estándar SQL-92 es general y muy amplio.

1.2.1 Evolución de SQL

El ANSI SQL sufrió varias revisiones y agregados a lo largo del tiempo
En 1986, SQL-86 (ó SQL-87) fue la primera publicación hecha por ANSI; en 1989, SQL-89 con una revisión menor; en 1992 SQL-92 (ó SQL2) con una revisión mayor; en 1999 SQL:1999 (ó SQL2000) agregó expresiones regulares, consultas recursivas, triggers y algunas características orientadas a objetos; en 2003 SQL:2003 introdujo algunas características de XML, cambios en las funciones, estandarización del objeto sequence y de las columnas autonumericas, en 2006 SQL:2006 define las maneras en las cuales el SQL se puede utilizar conjuntamente con XML.

1.3 *Operaciones SQL Básicas*

A continuación, se indican a modo ejemplificativo, las principales operaciones básicas que normalmente se conocen del lenguaje SQL

1.3.1 Creación de tablas

La sentencia CREATE TABLE permite definir una nueva tabla y la prepara para aceptar datos. Su sintaxis es la siguiente:

> CREATE TABLE *nombre de tabla*
> (definición de columnas)

Las columnas de la tabla recién creada se definen en el cuerpo de la sentencia CREATE TABLE. Las definiciones de columnas aparecen en una lista separada por comas y encerrada entre paréntesis.

1.3.2 Inserción de datos en una tabla

La sentencia INSERT permite añadir una nueva fila a una tabla. Su sintaxis es:

> INSERT INTO nombre tabla (Lista de columnas) VALUES (Lista de valores)

La cláusula INTO especifica la tabla que recibirá la nueva fila y las columnas que almacenarán los datos

insertados. La cláusula VALUES especifica los valores de los datos que la nueva fila contendrá. Los nombres de columna y los valores de los datos se separan utilizando comas.

1.3.3 Modificación de datos de una tabla

La unidad más pequeña que puede modificarse es una columna de una única fila.
La sentencia UPDATE permite modificar los valores de una o más columnas de las filas seleccionadas de una tabla. Debe respetarse la siguiente sintaxis:

UPDATE nombre de tabla SET nombre de columna =expresión WHERE condición

El nombre de tabla identifica la tabla en que se realizará la actualización. La condición que acompaña a la cláusula WHERE sirve para seleccionar las filas de la tabla que serán modificadas. La cláusula SET es una lista de asignaciones separadas por comas. Cada asignación identifica una columna destino a actualizar y especifica cómo calcular el nuevo valor para dicha columna.

1.3.4 Supresión de datos de una tabla

La unidad más pequeña de datos que puede ser suprimida es una única fila.
La sentencia DELETE permite eliminar filas seleccionadas de una sola tabla. La sintaxis de la sentencia DELETE es como sigue:

DELETE FROM nombre de tabla
WHERE condición

La cláusula FROM especifica el nombre de la tabla de la que se eliminarán filas. La condición de la cláusula WHERE selecciona las filas que serán suprimidas. Obviamente si ninguna de las filas satisface dicha condición, ninguna de ellas será eliminada.

1.3.5 Consultas de datos

Las consultas de selección se utilizan para obtener información de las bases de datos, esta información es devuelta en forma de tabla o conjunto de registros.
La sintaxis básica de una consulta de selección es la siguiente:

SELECT Lista de campos FROM
Nombre de tabla WHERE Condición

En donde Lista de Campos es la relación de campos que se desean recuperar y Nombre de Tabla identifica a la tabla, origen de los mismos.
El resultado de una consulta SQL es siempre una tabla de datos, semejante a las tablas almacenadas en la base de datos. Generalmente los resultados de la consulta generarán una tabla con varías columnas y varias filas. Las consultas más sencillas solicitan columnas de datos de una única tabla en la base de datos.

1.3.6 Eliminación de tablas

Cuando se quiere destruir una tabla existente que ya no es necesaria se debe utilizar la sentencia DROP TABLE cuya sintaxis es:

DROPTABLE
nombre de
tabla

El nombre de la tabla en la sentencia identifica la tabla a eliminar.

1.4 *Traductores, Compiladores e Interpretes*

Un traductor es cualquier programa que toma como entrada un texto escrito en un lenguaje, llamado fuente y da como salida otro texto en un lenguaje, denominado objeto.
En el caso de que el lenguaje fuente sea un lenguaje de programación de alto nivel y el objeto sea un lenguaje de bajo nivel (ensamblador o código de máquina), a dicho traductor se le denomina compilador.
Un intérprete no genera un programa equivalente, sino que toma una sentencia del programa fuente en un lenguaje de alto nivel y la traduce al código equivalente y al mismo tiempo lo ejecuta, es decir que se realiza una operación de compilación paso a paso. Luego se repite el mismo proceso con la sentencia siguiente.
Un intérprete se divide en tres partes:
a. Analizador Léxico
El analizador léxico, también conocido como scanner, lee los caracteres uno a uno desde la entrada y va formando grupos de caracteres con alguna relación entre si (tokens), que constituirán la entrada para la siguiente etapa del traductor. Cada token representa una secuencia de caracteres que son tratados como una única entidad. Por ejemplo, en SQL un token es la palabra reservada SELECT.
Ya que es el que va leyendo los caracteres del programa, ignorará aquellos elementos innecesarios

para la siguiente fase, como los tabuladores, comentarios, espacios en blanco, etc.

b. Análisis Sintáctico

El analizador sintáctico, también llamado parser, recibe como entrada los tokens que le pasa el Analizador Léxico (el analizador sintáctico no maneja directamente caracteres) y comprueba si esos tokens van llegando en el orden correcto (orden permitido por el lenguaje SQL). Así pues, sus funciones son:

- Aceptar lo que es válido sintácticamente y rechazar lo que no lo es.
- Hacer explícito el orden jerárquico que tienen los operadores en el lenguaje de que se trate.
- Guiar el proceso de traducción (traducción dirigida por la sintaxis).

c. Analizador Semántico

El análisis semántico es posterior al sintáctico y mucho más difícil de formalizar que éste. Se trata de determinar el tipo de los resultados intermedios, comprobar que los argumentos que tiene un operador pertenecen al conjunto de los operadores posibles, y si son compatibles entre sí, etc. En definitiva, comprobará que el significado de lo que se va leyendo es válido.

2 GREATSQL

2.1 *Visión General*

GreatSQL es un Editor SQL (Structured Query Language), que comenzó a desarrollarse durante el primer semestre de 2008, con fines académicos, por estudiantes de la Cátedra Gestión de Datos (web.frm.utn.edu.ar/gdatos), de la carrera de Ingeniería de Sistemas de Información, de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza.

La herramienta es un prototipo de traductor-interprete que permite y tiene previsto incorporar todas las funcionalidades necesarias para la edición, manipulación y ejecución de sentencias SQL, sobre los objetos (tablas, índices, etc.) de una Base de Datos, a través del aporte desinteresado de los primeros autores que permanezcan vinculados al proyecto y/o los futuros estudiantes de la Cátedra de Gestión de Datos que quieran participar de la iniciativa.

La programación de la herramienta se dividió básicamente en 3 módulos (aunque los nombres no se hayan mantenido, originalmente fue así): un módulo "analizador" encargado del "escaning, parsing" y verificación de las consultas que se realizan; un módulo "motor" encargado de la creación de las tablas, del catálogo, y del índice del catálogo; y un módulo "principal" o "general" que es el que nuclea toda la aplicación en un único paquete de software.

2.2 *Operaciones básicas*

En esta etapa inicial, la herramienta soporta funcionalidades básicas de un Editor SQL simple, contando con un acotado rango de consultas u operaciones que pueden realizarse sobre las tablas. Tales operaciones son:

- CREATE [DATABASE | TABLE]
- DROP [DATABASE | TABLE]
- SELECT
- INSERT
- CONNECT TO DATABASE

Esta trabajo acerca del producto GreatSQL v2.08, no pretende ser exhaustivo en cada detalle o funcionalidad en particular, y deberá complementarse a través de la ayuda de la propia herramienta. En caso de tenerse consultas, dudas o inquietudes, se podrá consultar a los autores

2.3 *Herramientas y recursos utilizados*

Para el desarrollo de la aplicación se utilizaron diversas herramientas y recursos, que se resumen a continuación:

Nombre: GreatSQL
Versión: 2.08
Release: 0.1
Lenguaje de Desarrollo: C / C++

- Bloodshed Software – Dev C++.
- Turbo C++ 4.5.
- Borland C++ Builder 6.0 Enterprise Edition.
- Sistema Operativo: Windows XP SP2.

2.4 *Creación de Bases de Datos y Consultas*

GreatSQL provee una interfaz gráfica sencilla de utilizar para la creación de bases de datos y para la ejecución de consultas. Luego de haber lanzado la aplicación, se cuenta con diversos elementos que componen el cuerpo principal de la interfaz gráfica. Del lado izquierdo se tiene un "pool" que muestra las bases de datos que han sido creadas o que se van creando en el transcurso de tiempo que se usa la aplicación, como se observa en la Fig. número 1.

A la derecha del pool de bases de datos, se tiene el área de consultas donde se escriben nuestras consultas o sentencias SQL a realizar sobre las bases de datos. Cabe destacar que antes de realizar cualquier operación sobre una base de datos, debemos ejecutar una sentencia CONNECT TO DATABASE previa, para evitar inconsistencias
Como se puede visualizar en la Fig. número 2, luego de ejecutar una sentencia CONNECT, el status bar de la parte inferior de la pantalla cambia de NO CONECTADO a CONECTADO A: "Nombre de la Base de Datos".

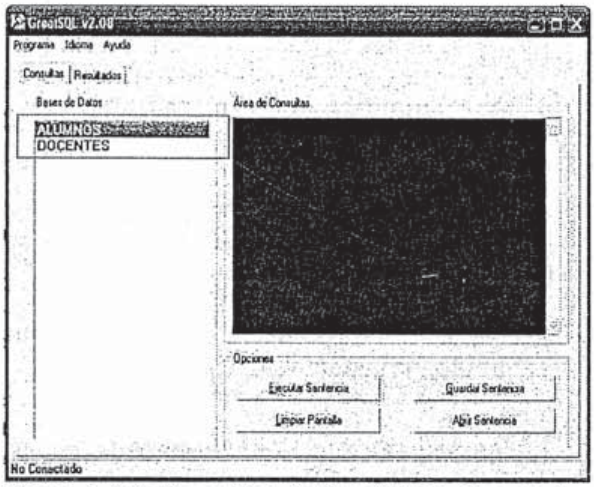


Figura 1. Interfaz gráfica de GreatSQL indicando las Bases de Datos existentes.

El Panel de Opciones que también se puede observar en la Fig. número 2, cuenta con 4 botones iniciales que sirven, respectivamente, para "Ejecutar la Sentencia" que está escrita en el Área de Consultas; para poder "Guardar las Sentencias" en un archivo externo, en cualquier localidad del sistema de archivos, bajo la extensión *.sql ó *.grt. Y también para "Limpiar la Pantalla" de todas las consultas que hayan sido escritas; y finalmente, así como se pueden guardar las sentencias, está la opción "Abrir Sentencia" para que puedan ser levantadas desde un archivo, en caso de que estuvieran escritas de antemano

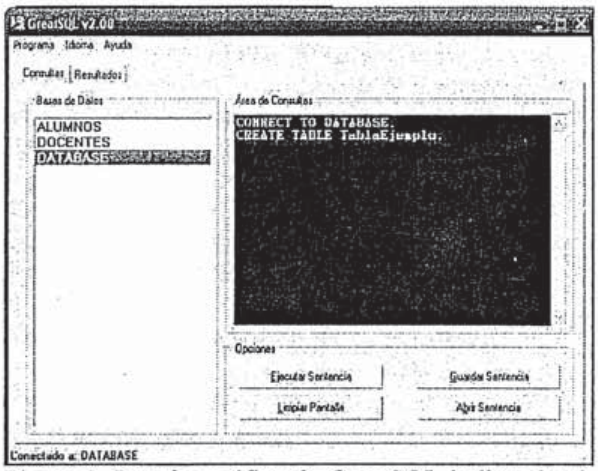


Figura 2. Interfaz gráfica de GreatSQL indicando el Área de Consultas y el Panel de Opciones.

2.5 *Resultados de Consultas*

Los resultados de las consultas se despliegan en la pestaña RESULTADOS, en la cual hay un objeto grid (malla o grilla) que se expande o contrae según la información solicitada en la consulta.

3 EL SISTEMA

3.1 *Análisis Sintáctico*

El analizador sintáctico es un módulo independiente y programado totalmente aparte del programa principal. El mismo se encarga de verificar y chequear que las sentencias escritas en el área de consultas son válidas en los siguientes sentidos:

- Sintaxis y Semántica de la expresión SQL: Esto quiere decir que se chequean errores tipográficos o de sintaxis en la expresión (por ejemplo, SELEC en vez de SELECT), así como también, una semántica coherente (por ejemplo, no debería tener sentido "CONECTARSE" a una tabla, sí a una base de datos).
- Verificación de los datos sobre los que se realizan las consultas en el catálogo: Dado que podemos ingresar atributos y tablas que no existen (o que creíamos que existían), el parser debe ser capaz de no autorizar dichas consultas.
- Devolver OK o NO OK, según se obtengan resultados satisfactorios o no luego del análisis o parsing.

El módulo del analizador sintáctico fue desarrollado en el lenguaje de programación C, para luego unirse a todo el paquete de software.

3.2 *Estructura y formato del almacenamiento de archivos*

El modulo (llamado en sus orígenes "motor.c") encargado de realizar las tareas de creación de tablas, archivos de registros de encabezado, catálogo y su respectivo índice, de una manera no interactiva, fue también desarrollado en paralelo junto con el módulo del analizador sintáctico, y posee la particularidad de guardar en la carpeta de la aplicación, con un formato especial, los archivos previamente mencionados.
El formato de estos archivos está condicionado por las funciones del lenguaje C utilizadas en el código fuente, pero la mayoría de ellos son archivos de textos, que guardan metadatos o datos de las bases de datos, tablas, y demás objetos con los que la aplicación funciona.

3.3 *Interfaz Gráfica*

La interfaz gráfica de usuario de la aplicación, fue revisada y modificada varias veces, hasta lograr el diseño final de este prototipo. Cuenta con varias herramientas a pesar de su simplicidad.
Como toda aplicación tiene una Barra de Menús; posee un pool de bases de datos, y un Área de Consultas donde las mismas puedan ser desarrolladas. GreatSQL también cuenta con su Panel de Opciones o panel de comandos, desde el cual se realizan las operaciones básicas del Editor; y también podemos observar que la aplicación cuenta con una barra de estado que nos indica el estado actual de las conexiones a las bases de datos. En la Fig. número 3 se puede ver una imagen ilustrativa de los componentes recién descriptos.

4 CONCLUSIÓN

Los autores asumen que GreatSQL se trata de un prototipo inicial, fácilmente transportable, y que está previsto mejorar, incorporando nuevas características.
Sus aspectos funcionales, como herramienta educativa, se han comparado satisfactoriamente con indicadores de aprendizje, con respecto a los recursos actuales, para determinar la calidad del proceso, y por lo tanto, su dterminar la incorporación de la misma como recurso didáctico en la Cátedra.

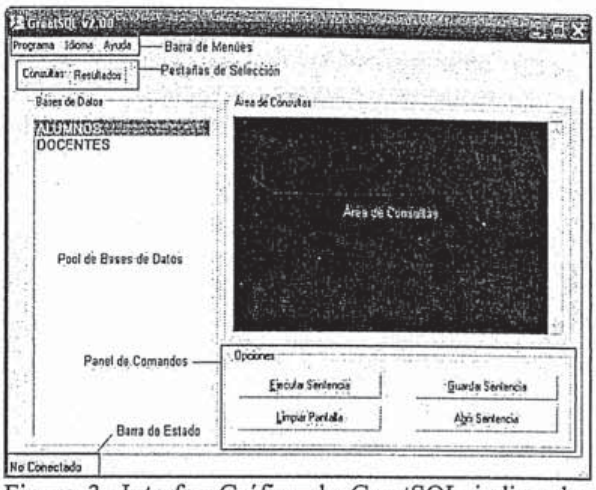


Figura 3. Interfaz Gráfica de GreatSQL indicando sus áreas de trabajo.

REFERENCIAS

[1] A. Eisenberg & J. Melon, SQL:1999, formerly Known as SQL3, ACM SIGMOD Record 28, nº 1, 1999.

[2] C. Date, A Critique of the SQL Database Language, ACM SIGMOD Record 14, nº 3, 1984.

[3] C. Date & H. Darwen, A Guide to the SQL Standard, Adisson-Wesley, 1997.

[4] International Organization for Standardization (ISO), Information Technology-Database languages-SQL, Document ISO/IEC 9075, 1999.

[5] J. Melton & A. Simon, SQL 1999, Understanding Relational Components, Morgan Kaufmann, 2002.

[6] D. Rozenshtein & A.Abramovich & E. Birger, Optimizing Transact, SQL, Advanced Programming Techniques, SQL Forum Press, 1995.

[7] A. Aho & R. Sethi & J. Ullman, Compilers: Principles, Techniques and Tools, Addison-Wesley, 1986.

[8] A. Holub, Compiler design in C, Prentice_Hall, 1990.

[9] R. Mak, Writeing compilers and interpretes, Wiley, 1981.

[10] J. Tremblay & P. Sorenson, The theory and practice of compiler writing, McGraw-Hill, 1985.
[11] A. Garrido & J. Iñesta, Diseño de compiladores, Universidad de Alicante, 2002.
[12] http://ftp.software.ibm.com/ps/products/db2/ /info/ vr6/htm/db2s0/index.htm

Estrategias sistémicas para la resolución de problemas en carreras de ingeniería

C. A.Bello, M. G. Scardigli, G. A. Cuadrado A.
cab@frm.utn.edu.ar & mgscard@hotmail.com & a gac@frm.utn.edu.ar
CIEMI, *Facultad de Regional Mendoza. Universidad Tecnológica Naciona.l*
Facultad Regional Buenos Aires.. Universidad Tecnológica Naciona.

RESUMEN: Esta investigación buscó determinar estrategias y una sistémica de resolución de problemas para aplicacar en física, matemática y la ingeniería. Se buscó en bibliografía actual de física y de matemática sobre la resolución de problemas y de diseño mecánico, encontrandose avances en la sistémica de resolución de problemas ingenieriles. Los métodos que van apareciendo en la bibliografía no tienen un desarrollo importante pero existe un avance en el análisis de los procesos en la resolución de problemas por la psicología cognitiva, tipificandose dentro de la estructura del método científico y la generación de modelos matemáticos. Estos métodos usan los registros de representación semiótica de Duval para la generación, tratamiento y uso de los modelos y con mucho énfasis en el registro gráfico. El cognitivismo permite entender como el tratamiento semiótico eficiente facilita la resolución de algunas situaciones problemáticas que se presentan en la ingeniería e incluso permite objetivar propiedades emergentes de los modelos. Estos métodos son utilizados en la experiencia piloto que se lleva adelante en el anexo Rivadavia en el proyecto Santaló, que propone la cátedra "Integradora I", donde se hace énfasis en la sistémica del actuar ingenieril y se aplican estrategias de resolución de problemas.

Palabras clave: registro – semiosis – metodo – problema – objetivación

ABSTRACT: This investigation thought about how to determine strategies and a systemic problem-solving for the application in physics, mathematics and engineering. We sought background in literature specifies where some references appear on problem solving and bibliography of mechanical design which has been making progress in systemic problem-solving engineering. It was found that the proposed methods that appear in the literature not have an important development but if there is a breakthrough in the analysis of the processes that occur in problem solving by cognitive psychology and can be classified within the structure of the scientific method and the mathematical models. These methods use the records of representation symptomatology of Duval for the generation, treatment and use of the models and with emphasis the graphic record. The cognitivismo allows understand how the treatment semiotic facilitates the efficient resolution of problematic situations that arise in engineering and even allows objetivar emergent properties of the models. These methods are use in the pilot project to be carried out in Annex Rivadavia Santaló through the draft proposed by the chair "I integrity" which emphasizes the systemic of engineering and applied problem-solving strategies.

Key Words: records – semiotic – method – objectification

1 INTRODUCCIÓN

En el desarrollo de las currículas de las carreras de ingeniería de la UTN se utilizan ejercitaciones y resoluciones de problemas. Estas estrategias tan usadas tienen un impacto diferenciado que es importante gestionar para obtener el aprendizaje deseado. Este trabajo expone algunas estrategias importantes para resolver problemas y los aportes que producen las ejercitaciones.

Hay una diferencia entre una ejercitación y la resolución de problemas, pero es común ver que se utilizan como si fuera lo mismo. En la actividad de resolución de uno y otro se despliegan y desarrollan funciones cognitivas de distinto modo con un impacto diferenciado, pero despliegan actividades cognitivas complementarias.

La Ingeniería toma los problemas de la realidad y para su resolución desarrolla modelos representativos mediante simplificaciones. En la construcción de estos modelos se introducen las formalizaciones matemáticas que en un proceso de transformación permiten obtener relaciones convenientes para el análisis, tratamiento y resolución de las situaciones representadas.

Un modelo describe un hecho real con funciones, es más esquemático y simple que el caso concreto, sólo capta los aspectos que elije el constructor. Se trata de un *sistema semiótico* constituido por expresiones matemáticas, gráficos, tablas, diagramas, textos, que representa, especifica y facilita la comprensión de un *sistema real* formado por elementos de otro dominio de existencia, por ejemplo objetos naturales, tecnológicos o abstractos, Ref. [1].

El resolvente de problemas al construir un modelo encara la situación con un entramado conceptual que le permite abstraer de la realidad interpretaciones mediante teorías conocidas. El conocimiento preexistente de teorías y la sistémica del método científico juegan entonces un papel importante en el proceso. Aunque hay quienes consideran como Feyerabend que no existe un método y que en ciencia todo vale, esta es una idea extrema (anarquista) que no representa la realidad de la ciencia ni el pensamiento científico, Ref. [2]

La abstracción se vale de conceptos e introduce la formalización de las teorías con relaciones matemáticas, la resolución entonces pasa a ser matemática y para poder objetivarla y resolverla eficientemente el sujeto debe desplegar habilidades matemáticas. Para desplegar habilidades matemáticas es necesario entrenar estrategias de uso y de transformación de registros, de modo de producir impacto en el entramado conceptual y desarrollo cognitivo de los resolventes; esto permite entonces ampliar el horizonte epistémico del sujeto.

Este trabajo muestra cómo la introducción del registro gráfico permite interpretar y significar situaciones problemáticas para su posterior formalización y tratamiento. .El registro gráfico permite relacionar variables mediante una actividad perceptiva; en un grafo se pueden percibir relaciones entre variables abstractas mediante una actividad sensoriogenética, que es la percepción visual, obtener interpretaciones e incluso objetivar conceptos nuevos emergentes del modelo construido.

A partir de un ejemplo se presentarán algunas estrategias usadas para formalizar una problemática y a partir del registro lógico matemático obtenido, hacer transformaciones, resolverla y volver a hacer interpretaciones.

2 DESARROLLO

El uso de problemas es una estrategia que se vale de competencias desarrolladas en la ejercitación; de igual modo, el trabajo con problemas permite la construcción y ampliación de un entramado conceptual a partir de estructuras que se soportan en otras preexistentes y que permite el trabajo con ejercicios en forma efectiva.

2.1 *Realidad y Modelos*

Un *modelo* o interpretación adecuada de la realidad es un objeto semiótico construido a partir de idealizaciones de un sistema fáctico, en el sentido galileano, que se expresan con los predicados conjuntistas y las fórmulas propias de la teoría, Ref. [3].

Los problemas del mundo fáctico, son resueltos en la ingeniería, haciendo primero una abstracción del objeto o la situación, la abstracción requiere hacer simplificaciones mediante hipótesis (llamadas hipótesis simplificativas o hipótesis de cálculo), que derivan en el objeto modelo sobre el cual se trabajará desde la formalidad con los conceptos de la física y la matemática; a este proceso se denomina comúnmente *modelizar* o generar un modelo teórico. El modelo satura entonces las teorías relacionadas al objeto o hecho fáctico analizado, los resultados pueden ser transferidos a él con un porcentaje de certeza que dependerá de la naturaleza y tipo de simplificaciones hechas al construirlo. El modelo interpreta eficientemente la realidad dentro de

ciertos límites y éstos definen entonces una validez del mismo y la porción de realidad donde es aplicable.
No existe un método general que permita resolver cualquier tipo de problemas; para ingeniería podemos arriesgar una metodología con ciertas particularidades tratando de que abarque una gran variedad de problemas, pero siempre dentro de la sistémica particular de la disciplina.

2.2 *Aportes bibliografía Técnica*

Sears incorpora en su texto de física una metodología, Ref. [4], con los siguientes pasos: a) identificar *los conceptos relevantes,* identificar la incógnita del problema, en ocasiones, la meta será hallar una expresión matemática para la incógnita o incógnitas. b) plantear *el problema,* resulta apropiado dibujar la situación descrita en el problema e *Identificar* las ecuaciones que usará para resolver el problema y decida cómo las usará. c) ejecutar *la solución,* en este paso, se resuelven o las variables meta o las incógnitas de las ecuaciones. d) evaluar *la respuesta,* la meta de la resolución de problemas en física no es sólo obtener un número o una fórmula; es entender mejor, revisar el trabajo y modificar la resolución según sea necesario.
Gettys en su curso de física, Ref. [5], también introduce una sistémica como "*técnicas de resolución de problemas*" donde se expone que esto sirve para organizar la forma de pensar y ayudar a encontrar por dónde comenzar en la tarea. Sintetiza los siguientes pasos: a) hacer un dibujo que permite poner explícitamente las condiciones del problema, si es posible, identificar en el dibujo los valores desconocidos. b) elegir una ecuación, normalmente lo mejor es usar la ecuación más general que se adapte al problema; c) Resolver las ecuaciones, primero simbólicamente (sin dar valores a las variables) de forma que el álgebra sea lo más simple posible, después dar valores a las variables y comprobar la consistencia de las unidades; d) considerar la respuesta. Comparar la respuesta con el dibujo. Comprobar la respuesta con intuición y sentido común.
Se puede observar que ambos autores introducen y le dan importancia a la confección de un gráfico. Esta estrategia tiene la característica de utilizar el medio sensoriogenético más poderoso que tiene los seres humanos para inspeccionar e interpretar la realidad que es la percepción visual.
Para Shigley", Ref. [6], las fuentes personales de creatividad de un diseñador, la habilidad para comunicarse y la destreza para resolver problemas están entrelazadas con el conocimiento de la tecnología y sus principios fundamentales: "Las herramientas de la ingeniería, como la matemática, la estadística, la computación, las graficas y el lenguaje se combinan para producir un plan.
Por otro lado Delgado Rubí, Ref. [7], sostiene que no es posible separar el *saber*, del *saber hacer* y señala la necesidad de saber utilizar lo que denomina el 'sistema básico de habilidades matemáticas' (SBHM), que involucra Lógica y Matemática, sin exclusión de otras ciencias. En este sistema, *razonamientos* y *procedimientos* para resolver problemas se unifican. El SBHM se sustenta en los verbos *definir* y *demostrar* y se expande a: *identificar, interpretar, recodificar, graficar, algoritmizar, calcular, modelar, comparar, resolver, aproximar y optimizar.*
El desarrollo de habilidades matemáticas y dentro de ellas, de representación gráfica viene entonces a gravitar en la capacidad de interpretar relaciones entre variables durante el proceso de resolución de un problema y con mayor importancia en problemas de ingeniería donde interviene la física.
Como la representación es la *forma bajo la cual puede describirse una información y tomarse en cuenta en un sistema de transformación* Duval, Ref [8], asigna al grafismo la categoría de registro junto con el lógico matemático y el textual, cuyas estrategias de uso y transformación deben entrenarse en el contexto del desarrollo de las SBHM.

2.3 *Diversidad de Registros*

La diversidad de los registros de representación semiótica es la constante del desarrollo de los conocimientos; el uso de un determinado registro puede permitir efectuar ciertos tratamientos de una manera mas económica y potente que otro registro, Duval expresa que en el cálculo numérico o algebraico el registro lógico matemático es más económico que el textual y para la resolución de problemas físicos o geométricos recurrir a registros analógicos (figuras, esquemas, diagramas...) es más simple y potente que recurrir a registros del lenguaje. Las figuras y los esquemas permiten representar la totalidad de las relaciones entre los elementos que constituyen un objeto o una situación, Ref. [9].
La transformación entre registros tiene dificultades importantes; en una transformación se necesita que

se cumplan al menos tres criterios de congruencia: a) correspondencia semántica, que se puedan asociar a cada unidad de un registro una del otro; b) univocidad semántica; c)organización de las unidades significantes, implica que las unidades de correspondencia ingresan en el mismo orden. Para desarrollar estrategias de transformación deben tenerse en cuenta estos tres criterios, el trabajo de resolución de problemas explicita el uso de los mismos y un contexto donde se puede entrenar esta habilidad.

Como la actividad conceptual implica la coordinación entre registros de representación, no puede estar aislada de la actividad semiótica, en la actividad de resolución de problemas de ingeniería los modos de trabajo que privilegian las funciones de interpretación y tratamiento permiten desarrollar una actividad centrada en la función de objetivación. Entrenar este modo de trabajo permite la construcción de conocimiento a partir de la formación y tratamiento de las representaciones semióticas, Ref. [8].

El entramado conceptual que se despliega durante la resolución de un problema de ingeniería requiere de una diversidad importante de conocimientos integrados y del manejo eficiente de registros semióticos, hemos hecho énfasis en este caso, en el uso del registro gráfico porque en él pueden representarse en forma completa muchas variables y sus relaciones cuando se modeliza una porción de la realidad, se trate de objetos o de situaciones.

2.4 *Método propuesto*

Se propone un plan de trabajo para resolver problemas que permita trabajar ordenadamente; en alguna de las etapas descriptas, puede ser necesario volver atrás y revisar lo actuado, cambiar algo a la luz de nuevas interpretaciones y luego avanzar nuevamente en un proceso iterativo. A veces algunos pasos de este plan pueden obviarse si no son de aplicación; según sea el tipo de problema que se intenta resolver, estas estrategias han sido tomadas de la experiencia en la resolución de problemas de matemática, física y de la practica ingenieril:

Hacer la lectura comprensiva del enunciado del problema o la descripción de la situación problemática.

□ Determinar las incógnitas y los datos pertinentes y establecer las condiciones teóricas ⟨*físicas, matemáticas*⟩ que los vinculan e identificar *los conceptos relevantes.*

□ Plantear hipótesis simplificativas que permitan definir las variables pertinentes y describir matemáticamente el problema y planificar el trabajo de resolución.

□ A partir de las simplificaciones introducidas por las hipótesis, hacer representaciones gráficas que muestren las variables relacionadas ⟨*registro gráfico*⟩, significarlas en texto a partir de las hipótesis simplificativas ⟨*registro textual*⟩ y plantear las relaciones lógico matemáticas que emanan de allí ⟨*registro lógico matemático*⟩.

□ Si es necesario utilizar sistemas de referencias (sistemas de coordenadas por ejemplo), justificar y argumentar su elección ⟨*elegir sistemas que simplifiquen el análisis y transformación del registro lógico matemático y la justificación en el registro textual*⟩.

□ Resolver ⟨*ejecutar el plan*⟩ haciendo verificaciones para evaluar el desarrollo del plan explicitando completamente todos los pasos que se hacen en el registro lógico matemático; esto sirve luego para revisar todo el proceso y refuerza la habilidad de argumentación en el registro textual, de ser necesario volver al inicio o al punto tres.

□ Hacer todos los análisis dimensionales para las ecuaciones utilizadas y usar estrategias de verificación mediante los mismos y sus cantidades ⟨*las cantidades deben ser consistentes con las condiciones teóricas y/o empíricas*⟩. De no darse las condiciones de verificación de los análisis dimensionales o las cantidades no son consistentes, retroceder al punto uno o al tres ⟨*lo que el análisis de verificación aconseje*⟩.

□ Calcular para obtener resultados.

□ Presentar resultados en forma clara y ordenada.

Obtener conclusiones de lo actuado y los resultados y relacionar el conocimiento adquirido con otros conocimientos y situaciones.

2.5 *Ejemplo de aplicación*

Se muestra un ejemplo para trabajar en el primer año de ingeniería donde mostrar la integración de conceptos sistémicos y este modo de trabajo que permita interpretar y generar alternativas de solución a un problema de ingeniería. Este ejemplo muestra como propiedad emergente, la definición de conceptos de normalización y explicar la fuente de estándares internacionales:

En la ingeniería el objetivo del análisis estocástico, donde intervienen el esfuerzo y la resistencia mecánica, consiste en determinar la confiabilidad de

diseño con distribuciones de esfuerzo y resistencia conocidas en el diseño de un componente crítico, como puede ser una parte estructural o un elemento de maquinas.

Se supone que las variables esfuerzo "σ" y resistencia "S" son variables que responden a distribuciones gaussianas, por lo tanto pueden expresarse como, Ec. (1) y (2)

$$\sigma \sim \mathcal{N}(\hat{\alpha}_\sigma, \hat{\sigma}_\sigma) \ldots S \sim \mathcal{N}(\hat{\alpha}_\sigma, \hat{\sigma}_\sigma) \qquad (1)$$

$$\sigma \propto \mathcal{N}(\hat{\alpha}_\sigma, \hat{\sigma}_\sigma) \ldots S \propto \mathcal{N}(\hat{\alpha}_\sigma, \hat{\sigma}_\sigma) \qquad (2)$$

donde $\hat{\alpha}$ y $\hat{\sigma}$ son la media y la desviación estándar, respectivamente de las variables esfuerzo y resistencia.

Como el comportamiento del material es del tipo aleatorio, se encuentra una dispersión de los resultados obteniéndose un histograma que representa en un gráfico la recurrencia de resultados del ensayo.

Entonces el ingeniero se encuentra con una disyuntiva importante, no puede definir valores límite de respuesta del material ante la solicitación porque el comportamiento tiene características de aleatorio pero necesita definir un valor mínimo para utilizar en sus modelos; debe definir un valor de referencia mínimo y luego utilizar alguna estrategia para mantenerse del lado de la seguridad, y obtener una elevada confiabilidad en el comportamiento del componente diseñado.

Interesa entonces conocer qué porcentaje de casos de la variable aleatoria deben estar incluidos al elegir un valor minino de respuesta del material. El uso representativo que el registro grafico muestra (el histograma) permite utilizar conceptos de matemática para desarrollar un plan de trabajo, esto es, analizar el histograma obtenido y buscar algún modo de encontrar un valor relativo de certeza para la respuesta del material a partir de un valor mínimo elegido.

El proceso se puede resumir en un encadenamiento de pasos: Histograma, "Figura 1" → Curva de función que puede ajustarse al histograma, "Figura 2"→ superposición de los registros gráficos que permite relacionar una función con el histograma "Figura 3"→ Objetivación → planteo del problema matemático → dentro del problema matemático, objetivación a partir del registro gráfico → no hay solución simple→ método numérico aproximado → uso de una serie → interpretación de valores → Solución matemática → Interpretación sobre el histograma → objetivación→Determinación de parámetros para elegir valores →solución de ingeniería.

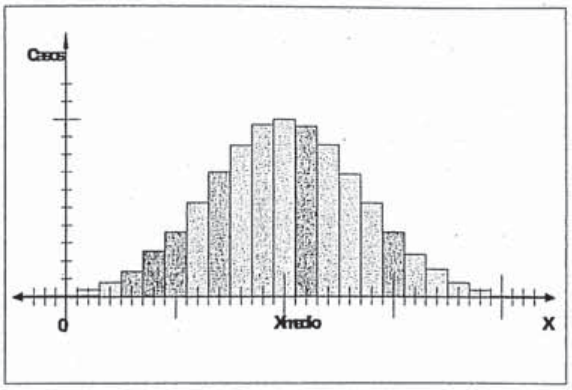


Figura 1. Histograma de ensayos.

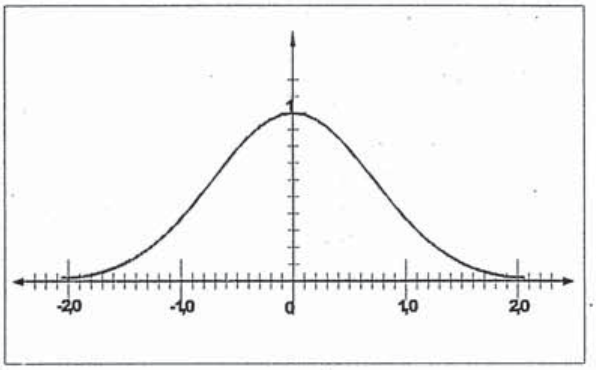


Figura 2. Función que representa una distribución normal Gaussiana.

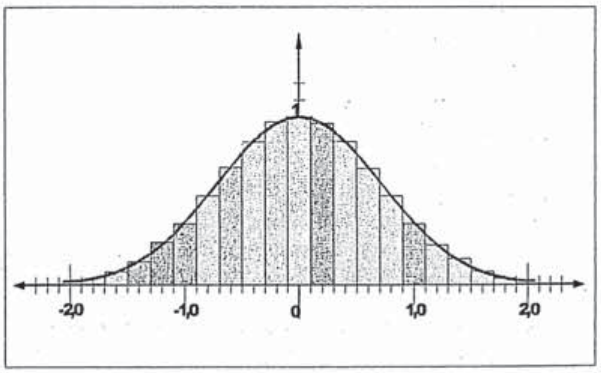


Figura 3. Superposición de la función al histograma.

Las curvas de ajuste utilizadas corresponden a la familia de campanas de Gauss. Por esta razón resulta de utilidad introducir modelos más simples, pero que se aproximan y pueden ser abordados con conocimientos del curso de Análisis Matemático I
Entonces un modo de representar este problema seria: A partir de la función, Ec. (3)

$$f: \Re \rightarrow \Re / \cdot \ln\left[f(x)\right] + x^2 = 0 \qquad (3)$$

Hallar el área del recinto limitado por su curva representativa, el eje de abscisas y las rectas, Ec (4)

$$x = 0, \quad x = 5 \qquad (4)$$

La resolución de este problema, aunque está planteado por ahora en este nivel inicial, con valores fijos (la variable está entre 0 y 0.5) requiere que (el alumno) en principio determine la función a tratar, efectuando un tratamiento algebraico, para luego, apoyándose en la objetivación que emerge del registro gráfico, pueda situar la región del plano cuya área debe calcularse. Llegado a este punto, debe decidir de qué modo tratar una integral que no se resuelve por los métodos clásicos. El entramado conceptual del sujeto que está resolviendo debe permitirle elegir entre expandir en serie la función o aplicar otros métodos combinando uso de tablas, utilización de software matemáticos, etc. Finalmente se podrá corroborar la verosimilitud del resultado obtenido por cálculo en planilla excel o con algún otro soporte informático.
Este proceso muestra cómo se pueden ir construyendo estrategias que, en cursos superiores, permitan resolver problemas similares pero de mayor complejidad, como el del modelo estocástico mencionado con anterioridad

3 CONCLUSIONES

La actividad conceptual implica la coordinación entre registros de representación y no puede ser aislada de la actividad semiótica. El funcionamiento cognitivo requiere la diferenciación entre lo representado y la representación misma.
Es necesario disponer de varios sistemas representativos heterogéneos del objeto representado y poder coordinarlos, esto introduce un grado de libertad que permite al sujeto hacer el tratamiento cognitivo, la objetivación y la interpretación de propiedades emergentes del modelo (de la representación).

Entonces el manejo eficiente de los registros de representación semiótica es indispensable para el trabajo ingenieril y está encuadrado dentro del desarrollo del 'sistema básico de habilidades matemáticas' (sbhm). Los procesos de resolución de problemas requieren de un entrenamiento mediante resolución de ejercicios y un entramado conceptual a partir del cual interpretar las porciones de realidad sobre la que trabaja la ingeniería; por esto solo es factible introducir modelizaciones muy sencillas a modo de ejemplo en el primer año de las carreras de ingeniería.

Repercusiones:

La actividad integradora que se despliega cuando se resuelven problemas produce cambio conceptual, en esto se basa la introducción de estas estrategias y justifica la actividad que impulsa el tronco integrador en las carreras de ingeniería que se introdujo en el desarrollo curricular de la UTN.
El entramado conceptual que tienen los alumnos en el ciclo básico impone un trabajo importante en conocimientos sistémicos y no específicos de las especialidades que solamente estarían presentes recién en los años superiores.
Reubicación de la investigación en las generalizaciones.
La sistémica de estrategias de resolución de problemas, el desarrollo de estrategias de uso y transformación de y entre registros semióticos, desarrolla competencias de tratamientos cognitivos y justifica la unificación generalizada de la integradora de primer y segundo año que impulsa el proyecto Santaló y que desarrolla la experiencia piloto en primer año a través de "Integradora I.
Apertura de nuevas líneas de trabajo: Es importante introducir entonces la integración en el segundo curso del ciclo básico con estos conceptos e investigar estrategias de introducción y tratamiento de métodos informáticos que respondan a la realidad actual del trabajo profesional para que puedan ser usados en el ciclo superior con eficiencia por las cátedras.
Hay una relación directa de estos procesos con las herramientas de que se sirve la ingeniería mediante el uso de simulaciones de realidades. Al desarrollarse eficientemente la competencia de diferenciar lo representado de la representación misma, se adquiere la capacidad de visualizar la validez de los modelos que simulan lo representado

REFERENCIAS

[1] BUCH, T. (1999). Sistemas tecnológicos, contribuciones a una teoría general de la artificialidad. Buenos aires, Aique grupo editor.

[2] CHALMERS, A. (1999). *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?.* Buenos Aires, Siglo Veintiuno de Argentina Editores.

[3] Moulines, C. U. (1982). *Exploraciones Metacientíficas.* Madrid: Alianza Editorial.

[4] SEARS, F.; ZEMANSKY, M,; YOUNG, H.; FREEDMAN, A. (2004). *Física universitaria. Volumen I, décimo primera edición.* México, editorial Pearson, 864 paginas. ISBN 970-26-0511-3

[5] GETTYS, E.; KELLER, F.; SKOVE, M. (1994). *Física clásica y moderna.* Mexico D.F., editorial Mc' Graw Hill. 1241 paginas. ISBN 84-7615-635-9

[6] J. E. Shigley (2004). *Diseño en ingeniería mecánica.* México D.F., edit. Mc'Graw Hill. 1258 pag.

[7] J. R. Delgado Rubí, "Los procedimientos generales matemáticos" en: H. Hernández Fernández, et allii, Cuestiones de didáctica de la matemática, Rosario, Homo Sapiens, 1998.

[8] DUVAL, R (1999). *Semiosis y pensamiento Humano, registros semióticos y aprendizajes intelectuales.* Cali, edit. Arte Graficas Univalle, 214 páginas. ISBN958-8030-23-4

[9] BRESSON, F. (1987). *Les fontions de representation et de communication. In Piaget, Mounoud et BroncKart (Eds.), Psychologie.* Paris, edit. Enciclopédie de la Pleyade. Pp. 933-982

Evaluación estadistica de un sistema de confirmación metrologica

J. Ortigala. G. Cuadrado, C. Bello, Amico, A.

Julioortigala@yahoo.com.ar
Centro de Investigación Educativa en Matemática para Ingeniería (CIEMI), Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional

RESUMEN: El control de calidad de los procesos, tanto industriales como de laboratorio, es una tarea estratégica para cualquier organización. En toda actividad donde se desarrollen mediciones, la calidad de estas debe ser monitoreadas con herramientas estadísticas que permitan asegurar su confiabilidad, es decir que respondan a las necesidades de los clientes internos y externos de la organización. Para esto se debe contar con un sistema de confirmación metrológica y el mismo debe ser evaluado en tiempo real. En este trabajo se ha llevado adelante la evaluación de un instrumento de medición, en este caso un densímetro y de los analistas participantes del proceso de medición. Para dicha evaluación se empleó la técnica del análisis de la varianza y el control estadístico de procesos, utilizándose la carta de control de promedios móviles ponderados exponencialmente. Se encontró que el efecto analista es estadísticamente significativo y que contribuye notablemente a la variabilidad total de las mediciones. A su vez, se observa que variabilidad del proceso (muestras) es siete veces mayor que la variabilidad del sistema de medición, por lo que se asume que el instrumento es adecuado para controlar el proceso

Palabras clave: metrología – calidad – densímetro – variancia – proceso

ABSTRACT: The control of quality of the processes, so much industrial as of laboratory, it is a strategic task for any organization. In all activity where mensurations are developed, the quality of these it should be that is to say monitoreadas with statistical tools that allow to assure their dependability, that they respond to the necessities of the internal and external clients of the organization. For this should have a system of confirmation metrológica and the same one should be evaluated in real time. In this work it has been taken the evaluation of a mensuration instrument, in this case a densimeter and of the participant analysts of the mensuration process. For this evaluation it was used the technique of the analysis of the variance and the statistical control of processes, the letter of control of mobile averages pondered exponentially being used. It was found that the effect analyst is statistically significant and that it contributes notably to the total variability of the mensurations. In turn, it is observed that variability of the process (samples) it is seven times larger that the variability of the mensuration system, for what is assumed that the instrument it is adapted to control the process

Key Words: metrological – quality - densimeter - variance - processes

1 INSTRODUCCIÓN

1.1 *Confiabilidad de procesos*

La confiabilidad de los procesos industriales y de los procesos en laboratorios de ensayo y calibración se sostiene en un sistema de medición que comprende fundamentalmente a los técnicos responsables del proceso y los instrumentos de medición empleados en él. De este modo, la capacidad del proceso que analizamos, nos permite evaluar el desempeño del sistema de medición

En el caso de los laboratorios de ensayo y/o calibración, la Norma ISO 17025 otorga un marco referencial al cual deberían acogerse los laboratorios a fin de garantizar la calidad de las mediciones. [Ref. 1]

Esta Norma contiene todos los requisitos que deben cumplir los laboratorios de ensayo y calibración si desean demostrar que poseen:

- Un sistema de aseguramiento de la calidad
- Una competencia técnica adecuada
- Alta confiabilidad en lo resultados que generan

El alcance de esta norma cubre los ensayos y calibraciones, incluido el muestreo, cuando se utilizan métodos normalizados, métodos no normalizados y métodos desarrollados por el propio laboratorio. Esta Norma es utilizada por los laboratorios, los clientes del laboratorio, las autoridades regulatorias y los organismos de acreditación. No contempla el cumplimiento de requisitos regulatorios y de seguridad relacionados con el funcionamiento del laboratorio

1.2 *Equipos.*

El laboratorio debe estar provisto con todos los equipos para el muestreo, la medición y el ensayo, requeridos para la correcta ejecución de los ensayos o de las calibraciones (incluido el muestreo, la preparación de los ítems de ensayo o de la calibración y el procesamiento y análisis de los datos de ensayo o de calibración)

Se deben establecer programas de calibración para las magnitudes o los valores esenciales de los instrumentos cuando dichas propiedades afecten significativamente a los resultados.

1.3 ***Aseguramiento de la calidad de los resultados de ensayos y calibraciones***

En este punto la norma indica que el laboratorio debe de disponer de sistemas de control, basados en un análisis estadístico, para comprobar la validez de los resultados de ensayos y calibraciones. Estos controles pueden incluir, entre otros, el uso habitual de materiales de referencia o la participación programada y periódica en ejercicios de comparación o en ensayos de aptitud.

Por otro lado las proposiciones de calidad que han aparecido en el mercado , en los últimos tiempos, como son Calidad Total y Seis Sigmas[Ref. 2,3], establecen que la toma de decisiones no puede basarse en suposiciones ni conclusiones a priori, sino que debe estar sustentada por una medición reproducible e independiente.

Toda organización en la cual las mediciones jueguen un papel preponderante, debe contar con un sistema de confirmación metrológica, el objetivos es reducir al riesgo de que el equipo de medición de resultados con errores, que coloquen las unidades fuera de tolerancias y que aquellas se mantenga dentro de los límites aceptables. Otro objetivo del sistema es reconocer la capacitación de los analistas que participan del proceso de medición, para conocer si trabajan con el mismo grado de precisión. Para lograr estos objetivos deben usar las herramientas estadísticas que permitan la correcta verificación de los procesos.

1.4 *Objetivo*

El objetivo principal de esta experiencia es la evaluación del sistema de confirmación metrológica, en la magnitud densimetría, de un laboratorio de ensayos y calibraciones de la ciudad de Mendoza. Para esta evaluación se seleccionan las herramientas estadísticas más significativas que permiten confirmar el desempeño dentro de especificaciones del sistema de medición.

La metrología se puede definir como la ciencia de las mediciones. Incluye todos los aspectos, tantos teóricos como prácticos, independientemente de la incertidumbre y de la rama de la ciencia y la tecnología en donde ella ocurran

La acción de medir establece una comparación entre lo que se quiere medir, el mensurando, con otra cantidad de referencia de la misma clase que se adopta como unidad.

El proceso se puede llevar adelante de dos maneras [Ref.4]: una, haciendo intervenir directamente en el proceso, patrones o materiales de referencia que proporcionen valores de la magnitud (medida materializada). Otra forma es empleando un

instrumento comparador (método de medida diferencial o por comparación) o aplicando exclusivamente un instrumento de medida sobre el mensurando (método de medida absoluta o directa).
No hay una diferencia sustancial entre las dos opciones, ya que en la segunda el instrumento de medición que actúa sobre el mensurando tubo que ser comparado a su vez con patrones o materiales de referencia. Es decir que aunque la comparación se realiza sobre la escala del instrumento, inicialmente se utilizaron patrones para definirla. Y a su vez se utilizan patrones o materiales de referencia cada vez que se lo calibra.
En el sistema que interviene en la medición siempre están presente el mensurando (lo que se mide), el instrumento o sistema de medida (lo que mide) y el operador (el que mide). En este último caso puede tratarse de una persona o un dispositivo automático, como un manipulador o un robot.
El sistema mensurando-instrumento-operador está sometido a la influencia del medio ambiente que lo rodea. Existen magnitudes que influyen sobre el sistema y deben ser tenidas en cuenta para garantizar la calidad metrológica de la medida
Por ejemplo, si se mide por comparación una masa de acero del orden de 1 kgf en una balanza utilizando una masa patrón de 1 kgf en el aire, y las densidades de ambas masas difieren en el orden del 10 %, no es preciso considerar el empuje del aire siempre y cuando se decida expresar el resultado en el orden del gramo, pero si habrá que considerarlo si el resultado se expresa en el orden del miligramo.
Para que el proceso de medición sea confiable, aparte de considerar las magnitudes de influencia, habrá que tener en cuenta una especificación adecuada del mensurando, que el método de medición sea el adecuado y que los instrumentos de medición actúen correctamente y bajo especificaciones.
En la práctica, la definición o especificación del mensurando está dictada por la exactitud de medición requerida. Por ejemplo, si el largo de un metro nominal de una barra de acero, debe determinarse con la exactitud de un micrómetro, su especificación debe incluir la temperatura y la presión, a las cuales se realiza la medición. Sin embargo, si la longitud debe determinarse con una exactitud de un milímetro, su especificación no requiere un valor definido de temperatura o presión o de cualquier otro parámetro

1.5 *La medida del mensurando como variable aleatoria*

Siempre que damos un valor de referencia para un mensurando determinado, aplicamos un intervalo de valores o un límite inferior o superior especificado. Si queremos controlar una temperatura a través del tiempo en 73 °C, por ejemplo, daremos un intervalo y diremos que el sistema está bajo control cuando registremos valores como 73 ± 1 °C (si esta es la tolerancia requerida por el proceso). En este caso se dice que las magnitudes de influencia se encuentran bajo control cuando se emplean los medios necesarios para que sus valores se sitúen dentro del intervalo [Ref.2].
En este caso podemos afirmar que en cualquier instante, el mensurando está dentro de la tolerancia establecida, pero nada se afirma del valor particular que posee el mensurando en un punto y en el tiempo. Si se realizan reiteradas mediciones del mensurando, no todos los valores serán idénticos, ya que se producen pequeñas modificaciones en las medidas de influencia y en el sistema mensurando-instrumento-operador. Por lo tanto y a pesar de que las magnitudes de influencia se encuentran bajo control, es inevitable la variabilidad de las mismas, lo cual se traduce en una cierta diferencias entre si, de las medidas del mensurando.

2 MATERIALES Y METODOS

2.1 *Muestras*

Para llevar adelante el objetivo de este trabajo se tomaron dos muestras de un crudo petrolero, ubicado en un tanque de almacenamiento, con la finalidad de medir su densidad. Esta magnitud tiene una gran importancia, ya sea cuando se la mide para conocerla directamente, como una propiedad de la sustancia, o cuando se la calcula para conocer la concentración de otra sustancia. En el caso de los líquidos tiene un uso difundido para la determinación de la calidad de un producto, como es el caso de los crudos de petróleo y lubricantes, el control de un proceso de fermentación; como en de la industria vitivinícola, el control del contenido de alcohol de productos destilados en porcentaje de volumen, el contenido de azúcar en bebidas carbonatadas, la composición de productos farmacéuticos, la preparación de pinturas, barnices y materiales de recubrimiento, entre otros.

En la experiencia se utilizó un densímetro marca ATEX DMA 35n, portátil a batería, con compensación de temperatura integrada.
Características del densímetro:
Repetibilidad: 5×10^{-4} g/cm^3.
Exactitud: 1×10^{-3} g/cm^3
Rango de medición: 0 a 1999 g/cm^3
Se midió la densidad de las dos muestras de crudo con un densímetro digital, automático, calibrado por un laboratorio nacional, el cual cuenta con trazabilidad a patrones internacionales. Se realizan cinco mediciones por cada muestra, y la media de la valores ($\bar{x}_a$ y $\bar{x}_b$) se toman como el "valor verdadero" de densidad de cada una de las muestras de crudo.
Una de las finalidades del sistema de confirmación metrológica es verificar que el proceso de medición se halle dentro de control estadístico, y por lo otro lado estimar la capacidad del sistema de medición. Uno de los pilares de esta evaluación descansa en el análisis de la repetibilidad y la precisión intermedia de medición. Siempre teniendo en cuenta que factores se varían durante los ensayos, se pueden obtener tres tipos distintos de precisión: la reproducibilidad, la repetibilidad y la precisión intermedia [Ref.5] Según el Vocabulario Internacional de Metrología VIM 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". Tradicionalmente en el estudio de precisión a la repetibilidad se la conoce como la variabilidad interna a la condición.
Siguiendo la definiciones del 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 [Ref.5]. La precisión intermedia se obtiene cuando dentro de un laboratorio se varían uno o más factores entre cada uno de los 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 y si se hacen variando el analista y el día se obtiene la precisión intermedia de días y analistas diferentes. En el supuesto caso que se varíen todos los factores que pueden afectar los resultados en un laboratorio tales como: día, analista, instrumento, calibrado, etc., se obtiene la precisión intermedia de días, analistas, instrumentos calibrados, etc.

2.2 *Trabajo experimental*

En este trabajo, la evaluación de sistema de confirmación metrológica se realizó con el empleo de la técnica del análisis de la varianza y el control estadístico de procesos. Con estas herramientas de base estadística podemos evaluar el desempeño de los analistas y el comportamiento del equipo de medición.

2.3 *Estudio con análisis de variancia.*

Para estudiar la variabilidad de un sistema de medición, cuando hay más de un analista, que miden con un mismo instrumento las muestras que genera un proceso, podemos seguir un modelo de análisis de la varianza, en donde la respuesta es la medición y los factores son, las muestras y los operadores [Ref.6]. Para la realización de este estudio, se lleva adelante un experimento balanceado, con dos factores: muestras y analistas. El experimento está balanceado porque se realiza el mismo número de mediciones por muestra. Se toman K mediciones, y_{ijk}, donde el subíndice i representa la muestra, el subíndice j al analista y el subíndice k, la medición.
Es un modelo de efectos aleatorios, porque los I analistas son una muestra aleatoria de la población

de analistas que usan el instrumento de medición. En este caso el modelo de medición es:

$$y_{jjk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (1)$$

Donde μ es una constante desconocida y los efectos α_i (de las muestras), β_j (de analistas), $\alpha\beta_{ij}$ (interacción entre muestras y analistas) y el término del error ε_{ijk}, se consideran variables aleatorias con distribución de probabilidad normal con media cero, esto es $\alpha_i \sim N(0, \sigma_\alpha^2)$, $\beta_j \sim N(0, \sigma_\beta^2)$, $\alpha\beta_{ij} \sim N(0, \sigma_{\alpha\beta}^2)$ y $\varepsilon_{ijk} \sim N(0, \sigma^2)$. Además los efectos y el término de error se consideran independientes. Cuando tenemos un modelo de medición como el anterior, estimamos sus parámetros μ, σ^2, $\sigma_\alpha^2, \sigma_\beta^2$ y $\sigma_{\alpha\beta}^2$, por medio de un análisis de la varianza.

El valor obtenido de repetibilidad, representa la variabilidad del instrumento, mientras que la precisión intermedia indica la variabilidad debida al operador. Estos parámetros se obtienen a partir de las estimaciones de las varianzas del instrumento y del efecto operador según las siguientes igualdades:

$$\hat{\sigma}_{repet} = \hat{\sigma}, \quad \text{(repetibilidad)} \quad (2)$$

$$\hat{\sigma}_{pr.\text{int}} = \sqrt{\hat{\sigma}_\beta^2 + \hat{\sigma}_{\alpha\beta}^2} \quad \text{(precón interm)} \quad (3)$$

Dado que la variabilidad del sistema de medición tiene dos componentes, que son el instrumento y el analista, entonces la variabilidad del sistema de medición esta dada por,

$$\hat{\sigma}_{R\&P} = \sqrt{\hat{\sigma}_{repet}^2 + \hat{\sigma}_{pr.\text{int}}^2} \quad (4)$$

Las muestras obtenidas del proceso, pueden no tener un media muestral ($\bar{x}$) idénticas pero este estudio no analiza si esa diferencia entre la medias muestrales es estadísticamente significativa, por lo que la variabilidad de las muestras, es una componente que no está incluida en la repetibilidad del sistema de medición, sino que expresa la variabilidad del proceso de elaboración. La estimación de esta fuente de variabilidad es:

$$\hat{\sigma}_{mues}^2 = \hat{\sigma}_\alpha^2$$

Si se disponen de límites especificados, superior e inferior, se puede comparar la precisión del sistema de medición con el intervalo de especificación o tolerancia. La relación entre precisión y tolerancia puede calcularse a partir de las estimaciones de varianzas y el intervalo de especificación

$$\frac{P}{T} = \frac{k\hat{\sigma}_{R\&P}}{(LSE - LIE)} \quad (5)$$

2.4 *Ejemplo*

Para la evaluación del sistema de confirmación metrológica, se hicieron 10 réplicas a las dos muestras de crudo de parte de dos analistas, elegidos aleatoriamente y que trabajaron con el mismo densímetro.

Tabla 1. Valores de mediciones de dos muestras por parte de dos analistas con el mismo instrumento.

Analista	Muestra 1	Muestra 2
A	0,819	0,8055
	0,821	0,8055
	0,8155	0,8045
	0,823	0,8095
	0,8175	0,8095
	0,8165	0,8075
	0,819	0,8115
	0,8255	0,8065
	0,8255	0,8010
	0,821	0,8135
B	0,8215	0,8075
	0,8215	0,8085
	0,8195	0,8095
	0,8185	0,8095
	0,8155	0,8035
	0,821	0,8055
	0,8265	0,8135
	0,8245	0,8075
	0,8155	0,8095
	0,8265	0,8115

La Tabla 2 contiene los resultados del análisis de la varianza y aparecen las sumas de los cuadrados (S.C.), grados de libertad (G.L), cuadrados medios (C.M.), el valor de la distribución F calculado (F) y el valor P(P), para las diferentes fuentes de error,

como lo son, las muestras, los operadores y su interacción.

Tabla 2 Tabla de análisis de la variancia.

Fuente	S.C.	G.L.	C.M.	F	P
Analista	1,8062E-06	1	1,8062E-06	0,166	0,69
Muestra	0,001482	1	0,001482	130,9	1,5E-13
AnxMra	7,5625E-07	1	7,5625E-07	0,067	0,79
Error	0,00040738	36	1,1316E-05		
Total		39			

2.5 *Estimación de los componentes de la variancia.*

Aplicando las ecuaciones 2,3 y 4, obtenemos las estimaciones de los componentes de la varianza

$$\hat{\sigma}_{repet} = \sqrt{0{,}000011316} = 0{,}003369$$

$$\hat{\sigma}_{pr.\text{int}} = \sqrt{0{,}000001806 + 0{,}000000756} = 0{,}004337$$

$$\hat{\sigma}_{R\&P} = \sqrt{(0{,}003369)^2 + (0{,}004337)^2} = 0{,}00549$$

$$\hat{\sigma}_{muestras} = \sqrt{0{,}001482} = 0{,}03849$$

$$\frac{\hat{\sigma}_{muestras}}{\hat{\sigma}_{R\&P}} = 7{,}01$$

La precisión intermedia es el 80 % de la variabilidad del sistema de medición, lo cual implica que se puede disminuir su variabilidad, reduciendo la variabilidad del efecto analista, llevando adelante un entrenamiento de los mismos que pase fundamentalmente por un conocimiento mayor del aparato y de su funcionamiento.
A su vez, se observa que variabilidad del proceso es siete veces mayor que la variabilidad del sistema de medición, por lo que se asume que instrumento es adecuado para controlar el proceso.

2.6 *Estudio con cartas de control.*

Para analizar el desempeño de los analistas, se ha trabajado con cartas de control EWMA [Ref. 7, 8,9]. Este tipo de cartas tiene varias ventajas. Por un lado se las puede considerar como un promedio ponderado de todas las observaciones pasadas y actuales y por esto es insensible al supuesto de normalidad de la variable aleatoria. Por esto es una carta de control ideal para usarse con observaciones individuales. Además tiene la característica de poseer una longitud media de carrera (LCM) más grande que las cartas Shewhard tradicionales, lo que conlleva a tener menos falsas alarmas.
El promedio móvil ponderando exponencialmente se define como:

$$Z_i = \lambda x_i + (1-\lambda) Z_{i-1} \qquad (6)$$

Donde λ es una constante cuyo valor varía entre 0 y 1. El valor inicial, requerido para la primera muestra es el objetivo del proceso, de tal modo que:

$$Z_0 = \mu_0$$

Si se sustituye Z_{i-1} en la ecuación (6), se observa que Z_i es un promedio ponderado de todas las medias anteriores:

$$Z_i = \lambda x_i + (1-\lambda)[\lambda x_{i-1} + (1-\lambda) Z_{i-2}]$$

$$Z_i = \lambda x_i + \lambda(1-\lambda) x_{i-1} + (1-\lambda)^2 Z_{i-2}$$ Al continuar la sustituciones para Z_{i-j} , j=2,3,...t, se obtiene

$$Z_i = \lambda \sum_{j=0}^{i-1} (1-\lambda)^j x_{i-j} + (1-\lambda)^i Z_0 \qquad (7)$$

Si las observaciones x_i son variables aleatorias independientes con varianza σ^2, entonces la varianza asintótica de Z_i es

$$\sigma_{z_i}^2 = \sigma^2 \left(\frac{\lambda}{2-\lambda} \right) \left[1-(1-\lambda)^{2i} \right]$$

La línea central y los límites de control para la carta de control EWMA son los siguientes:

$$LSC = \mu_0 + L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)} \left[1-(1-\lambda)^{2i} \right]}$$

$$LC = \mu_0$$

$$LIC = \mu_0 - L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)} \left[1-(1-\lambda)^{2i} \right]}$$

En las ecuaciones de los límites de control, el factor L es la anchura de los límites de control.
En las Figuras 1 y 2 se observan las cartas de control para dos analistas.

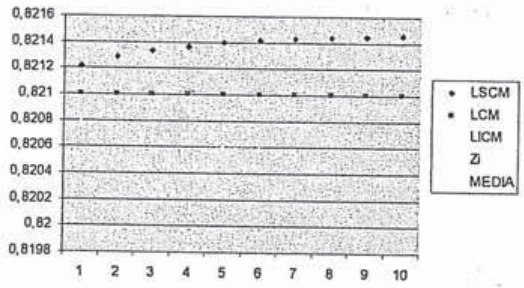


Figura 1 Carta de control Analista A

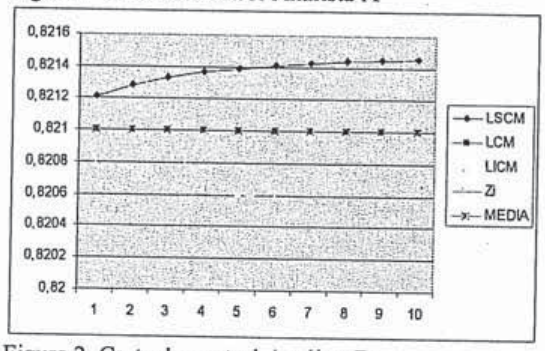


Figura 2 Carta de control Analista B

Del análisis de las cartas de control, se observa que el analista B ha trabajado con mayor precisión y veracidad que el analista A, dado que este último tiene varios puntos por debajo y por encima de los límites de control y está fuera de control estadístico de proceso

3 CONCLUSIONES

La evaluación estadística del sistema de confirmación metrológica comprendió el análisis del instrumento de medición y el trabajo de los analistas. Se trabajó en condiciones de precisión intermedia ya que no se cambiaron todos los factores que aportan variabilidad a los ensayos, por lo que no se reprodujeron condiciones de reproducibilidad, según las definiciones de las normas ISO 5725. Se realizó un análisis de la varianza de dos factores, con efectos aleatorios para discriminar las fuentes de variabilidad de las mediciones. Se encontró que la precisión intermedia es el 80 % de la variabilidad del sistema de medición. Esto indica que se puede mejorar la calidad de las mediciones si se reduce variabilidad del efecto analista. Para lograr esto se recomienda llevar adelante un plan de entrenamiento de los analistas, fundamentalmente en el uso del aparato de medición. A su vez, se observa que variabilidad del proceso (muestras) es siete veces mayor que la variabilidad del sistema de medición, por lo que se asume que instrumento es adecuado para controlar el proceso.

La precisión y veracidad de los resultados de los analistas se analizó con cartas de control. Se eligió las cartas de promedios móviles ponderados exponencialmente, porque presenta ventajas respecto a las cartas Sheward tradicionales. Del análisis de las cartas de control, se concluye que el analista B trabajó con mayor precisión que el analista A, el cual obtuvo puntos fuera de control, con evidencias de errores sistemáticos que deben disminuirse para mejorar globalmente el proceso y disminuir la incertidumbre de medición

REFERENCIAS

[1] IRAM 301. ISO/IEC 17025 Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración. Cuarta Edición(2005)

[2] Feigenbaum, A.V. Total Quality Control: Engineering and Management, Mac Graw Hill, N.Y. 1998

[3] Harry, M.J., Six Sigma : A Breakthrough Strategy for Profitability,Quality Progress, Vol.31, Num. 5,1998,60-64

[4] Sanchez Perz; A.M.y Carro,J: Consideraciones sobre los errores de medida, Novamáquina 2000, Nº 62, 16-20

[5] Internacional Organization for Standarizacion, Accuracy (Trueness and Precision) of Measurement Methods and Results ISO Guide 5725-3 ISO, Geneva(1994)

[6] Montgomery, Douglas C. Design and Analisis of Experiments 5TH Edition John Wiley EEUU 1997

[7] Montgomery, Douglas. Control Estadístico de la Calidad. Limusa Wiley Tercera Edición 2006

[8] MacGregor, J.F. y T.J. Harris "The Exponentially Weighted Moving Variance" Journal of Quality Technology, Vol 25. Num 3, 1999, 30-34

[9] MacGregor, J.F. y T.J. Harris " Discussion of Exponentially Weighted Moving Average Control Schemes: Properties and Enhancements", Technometrics, Vol. 32, Num.4, 2000, 45-50

Experimentos de física básica con NTICs y su conceptualización

E. A. Jaime[1] & C. Escudero[2]

ejaime@unsj.edu.ar & cescude@unsj.edu.ar
[1] *Departamento de Física. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de San Juan.*
[2] *Departamento de Física. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de San Juan. Departamento de Biología. Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. Universidad Nacional de San Juan.*

RESUMEN: En este trabajo se presentan los resultados de una investigación llevada a cabo en la Facultad de Ingeniería de la UNSJ, sobre los conocimientos que manifiestan los estudiantes de primer año durante su trabajo en laboratorios experimentales de Física Básica. Los mismos se presentan bajo dos modalidades, con o sin inclusión de NTICs. La teoría de los campos conceptuales de Vergnaud se utiliza como marco teórico para analizar logros y dificultades a la hora de interpretar gráficamente movimientos bajo aceleración constante a partir de la información registrada y su procesamiento en tiempo real. Es una investigación de tipo cualitativa, donde los datos se agrupan en categorías que no son provistas a priori por el marco teórico. El análisis de los datos ha permitido construir distintos grupos de dificultad vinculados al modelo concebido, la simbolización y la experimentación según dicen y hacen los estudiantes. Los resultados sugieren, aun en su carácter incipiente, la potencialidad del marco teórico para exponer una evolución conceptual en los estudiantes y acciones remediales.

Palabras clave: trabajo experimental – modelo físico – conceptualización – nuevas tecnologías

ABSTRACT: In this work the findings carried out in the ability of engineering of the UNSJ are presented, on the knowledge that the first year students manifest during its work in experimental laboratories of Basic Physics. The same ones are presented under two modalities, with or without inclusion of NTICs. The theory of the conceptual fields of Vergnaud is used like theoretical mark to analyze achievements and difficulties when interpreting movements graphically lowers constant acceleration starting from the registered information and its prosecution in real time. It is a qualitative type investigation, where the data group in categories that are not provided a priori by the theoretical mark. The analysis of the data has allowed to build different groups of difficulty linked to the conceived pattern, the symbolization and the experimentation as they say and they make the students. The results suggest, even in their incipient character, the potentiality of the theoretical mark to expose a conceptual evolution in the students and remedial stocks.

Key Words: experimental work – physical model – conceptualization – new technologies

1 INTRODUCCIÓN

La incorporación de recursos a la enseñanza de la Física ha permanecido durante décadas en el campo de las aspiraciones. Prácticamente, en nuestro País, no se han producido modificaciones que se puedan llamar innovadoras hasta fines del siglo XX. Actualmente podemos decir que somos participes del nacimiento de una perspectiva diferente.

Por otro lado son múltiples los diagnósticos realizados a nivel de aula que dan cuenta de la persistencia de las dificultades en la enseñanza de las ciencias –particularmente de la Física– y de la recurrente problemática del alumno inactivo, casi inerte frente a los esfuerzos del profesorado. Pero en este afán de construir nuevos sustentos didácticos han comenzado a generarse trabajos que integran investigaciones acerca de la cognición humana con el uso de las nuevas tecnologías.

Es variada la bibliografía que aborda el rol del trabajo experimental en los procesos de enseñanza y aprendizaje. [1] Advierten sobre el papel asignado a los trabajos prácticos de laboratorio y presentan una propuesta que pretende insertarlos en una orientación constructuvista y operacionalista sobre el aprendizaje de la Física. [2] Señala diversas limitaciones, entre las que destacamos la visión desproblematizada y acientífica de los enunciados destinados a guiar la labor de los estudiantes en el laboratorio y la naturaleza limitada e inadecuada del proceso y del producto del quehacer científico y [3] destaca –entre otros– objetivos: agregar significado a las abstracciones; mejorar el recuerdo de información; intensificar el aprendizaje de los conocimientos científicos; asistir a un aprendizaje con profunda comprensión de hechos y explicaciones.

A pesar del tiempo que ha pasado, poco se ha avanzado en la exploración de la esfera del uso de las actividades del hombre con instrumentos contemporáneos y en la comprensión de los procesos de aprendizaje involucrados en la observación y explicación de resultados experimentales complementados con dichos instrumentos (nuevas tecnologías). Sin embargo, sí se ha logrado ir reconociendo la influencia que tiene la forma de presentar los trabajos prácticos de laboratorio a los estudiantes [4], [1]; así como el peso que tiene como fuente de conocimiento frente a situaciones nuevas al enriquecer vínculos entre forma y contenido [5], especialmente en recursantes y complementado con simulaciones [6].

Nuestro objetivo es estudiar las decisiones que toman los alumnos cuando participan en las primeras situaciones problemáticas experimentales en las que la utilización de NTICs se hace presente en la universidad, buscando avanzar en las relaciones entre forma y contenido [7].

Este estudio es parte de uno más amplio que venimos desarrollando, cuyo propósito está orientado a la búsqueda de indicios que revelen la presencia de invariantes operatorios durante el desarrollo de actividad experimental en Física y su relación con las representaciones mentales y el aprendizaje. El referencial principalmente utilizado es la teoría de los campos conceptuales (TCC) [8], [9], [10]. En el apartado siguiente se describen algunos elementos teóricos relevantes para el subsiguiente análisis.

2 MARCO TEÓRICO

La teoría de los campos conceptuales de Vergnaud es una teoría psicológica de los conceptos [8], una teoría cognitivista del proceso de conceptualización de lo real. Se trata de una teoría pragmática en el sentido que presupone que la adquisición de conocimientos es moldeada por situaciones, problemas y acciones del sujeto en esas circunstancias [9]. Además es una teoría de la complejidad cognitiva, que contempla el desarrollo de situaciones progresivamente dominadas, de los conceptos y teoremas necesarios para operar eficientemente en esas situaciones y de las palabras y símbolos que pueden eficazmente representar esos conceptos y operaciones para el individuo, dependiendo de su nivel cognitivo.

Gérard Vergnaud amplía y redirecciona, en su teoría, el foco piagetiano de las operaciones lógicas generales, de las estructuras generales de pensamiento hacia el estudio del funcionamiento cognitivo del "sujeto-en-situación". Además de eso, Vergnaud toma como referencia el propio contenido del conocimiento y el análisis conceptual de dominio de ese conocimiento [11]. Dirige así el centro de atención hacia la comprensión del funcionamiento cognitivo de los sujetos en situación, considerando también las variables que afectan a dicha situación.

Dado que es la actividad del sujeto la que se adapta, se hace necesario un cuadro teórico para analizar dicha actividad. Esto es lo que ha conducido a Vergnaud a retomar y a desarrollar el concepto de

esquema y a definir mejor aquello a lo que se dirige un esquema: las situaciones[1].

En general, los esquemas pueden contener varios componentes [8]:

- objetivos y anticipaciones, que permiten identificar situaciones,
- invariantes operatorios (conceptos-en-acción y teoremas-en acción) mediante los cuales se puede reconocer los elementos pertinentes de la situación y la información relevante de la misma,
- reglas-de-acción del tipo "si ... entonces" que permiten generar una secuencia de acciones, e
- inferencias o razonamientos que se efectúan durante la actividad frente a la situación.

La teoría de Vergnaud es una teoría pragmática en el sentido que presupone que la adquisición de conocimientos es moldeada por situaciones, problemas y acciones del sujeto en esas circunstancias [9]. Es decir, que por medio de su resolución es que un concepto adquiere significación. En este sentido, hace un aporte que multiplica las posibilidades de conocer la génesis y la comprensión de los conceptos. Considera que un concepto es un triplete de conjuntos:

C = (S, I, L) donde:

- las situaciones, S, dan sentido al concepto (el referente). En ellas el concepto resulta útil y significativo.
- los invariantes operatorios, I, son las propiedades específicas del concepto (el significado), que permiten analizar las diferentes clases de situaciones y actuar frente a las mismas.
- las representaciones externas utilizadas en física (simbólicas, gráficas, gestuales, equipos y materiales de laboratorio[2]), L, que se emplean para hacer explícitos los invariantes operatorios. Representan las propiedades, funciones, situaciones a las que él se aplica y los procedimientos que de él se nutren (el significante).

Entre los individuos lo que se desarrolla son formas de organización de la actividad. El problema de la enseñanza suele ser en gran parte el de llevar al aprendiz a desarrollar sus competencias; siendo el primer acto de mediación de la enseñanza –en efecto– la elección de la situación a proponer a los alumnos. En la zona de desarrollo próximo existen filiaciones y rupturas. Si no se desestabiliza a los alumnos no tienen ninguna razón para aprender. También es verdad que si se lo desestabiliza demasiado, no aprenden más. La sensatez es el criterio a poner en juego. Además, la idea misma de desarrollo próximo incita a la moderación.

Por otro lado, las múltiples referencias al concepto de modelo en disciplinas como Física son una clara expresión de su papel fundamental en este campo de conocimiento. [11] expresan: "Los modelos científicos en física constituyen una representación teórica de la realidad que es de segundo orden. El llamado sistema físico es una representación de primer orden que da estructura al mundo de los fenómenos, transformando los datos crudos en evidencias dentro de un padrón. El modelo, a su vez, respeta la estructura sintáctica de este sistema físico, modelándolo con términos teóricos y planteando relaciones funcionales y estructurales entre ellos".

En un mundo en perpetuo cambio, es necesario identificar bien, objetos y propiedades que permanezcan estables. Por ello Vergnaud le da al concepto de invariante operatorio un sentido más amplio a como fue entendido por Piaget. Esto es muy importante para el estudio del aprendizaje de las Matemáticas y de las Ciencias, ya que la ciencia, en efecto, busca comprender las transformaciones de lo real, considerando sistemáticamente lo que varía y lo que no y, en qué condiciones ocurren dichos cambios.

3 INTERVENCIÓN DIDÁCTICA

El trabajo de laboratorio se puede considerar una actividad cognitiva compleja ya que la solución de una situación problemática experimental implica la utilización de una variedad de conceptuaciones y modelizaciones. En nuestro caso, se busca su utilización no sólo con fines de aprendizaje sino –sobre todo– como mediación de aprendizaje [6].

Los conocimientos que manifiestan los estudiantes de primer año de ingeniería durante el trabajo experimental en Física Básica se han recogido desde dos modalidades implementadas, con o sin inclusión de NTICs para el registro, procesamiento en tiempo real y graficación de información a partir de muchos datos en entornos amenos. Ello ha permitido variar las condiciones de contorno y tener flexibilidad en la extracción de la información, entre otros aspectos. Sin embargo, se suele asumir con bastante

---

[1] Se entiende una *situación* como una tarea compleja, o combinación de subtareas, a las cuales se enfrenta el sujeto.

[2] Comprender el objetivo desde el comienzo del trabajo experimental contribuye a que el equipo e instrumental de laboratorio se "vea"; por un lado, como un medio de comunicación (mediación) que sirve para responder al planteo generado y; por otro, como sistema de signos que refleje la conciencia organizada de una cultura [7].

frecuencia que la información provista por el software "explica" el fenómeno físico, relaciona los distintos gráficos, extrae conclusiones, realiza inferencias, etc. Ese aspecto se encuentra inmerso en una cultura acrítica de uso de la computadora donde sus productos son considerados auto-explicativos.

Las actividades de la modalidad innovadora están planteadas como resolución de problemas experimentales desde el mismo inicio. Veinte (20) comisiones de estudiantes que incluyen 103 individuos constituyen nuestra muestra intencional "A". No contaron con una guía experimental escrita: La consigna de trabajo se dio en forma verbal al comienzo de la clase, buscando que los estudiantes comiencen a plantear la necesidad de estudiar la realidad con la Física como herramienta. Se les solicitó la elaboración de un informe grupal, bajo un formato flexible, que incluya conclusiones, respuestas a preguntas surgidas, justificaciones y otros aspectos oportunos. El trabajo práctico seleccionado (ver Anexo 1) para este estudio trata sobre movimientos de traslación, en este caso, rectilíneos y bajo aceleración constante.

Se ha contado con un equipo "Pasco sistema dinámico" que incluye dispositivos de interfase y software "date studio", que permite graficar "directamente": x(t), v(t), a(t) en tiempo real. La ventaja de su incorporación habría sido la de liberar al estudiante de cálculos tediosos y de su posterior graficación manual, buscando precisamente contar con más tiempo para su interpretación y análisis. Dejando al "sistema informático" las tareas más reproductivas y de cálculo, a la vez las más "concretas" y determinísticas.

Mientras el laboratorio tradicional consiste fundamentalmente en la verificación de las ecuaciones que describen un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado a partir de mediciones de posición y tiempo, donde ya viene pre-establecida la información única a extraer y un cuestionario a responder. Se provee de una guía que contiene un breve marco teórico sobre la temática y la metodología del trabajo experimental. A la muestra intencional "B" la constituyeron 30 alumnos distribuidos en 6 comisiones.

4 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

Se presentan los primeros resultados de una investigación cualitativa tras la implementación de una intervención que busca el desarrollo de procesos de aprendizaje a través del trabajo experimental con asistencia de TICs. La investigación fue realizada en situación real de aula durante el segundo semestre de 2007 con un total de 133 estudiantes de primer año de ingeniería que se encontraban cursando Física I.

Esta es una investigación de tipo interpretativo donde los agrupamientos se definen durante las sucesivas miradas al corpus [13]. Las observaciones y los informes (o memorias) elaborados por las distintas comisiones han permitido analizar concepciones implícitas (y explicitables) de los estudiantes, más precisamente algunos aspectos ignorados por ellos, u objeto de imprecisiones. Esto supone un trabajo de inmersión que posibilita conocer por comparación constante una o más cualidades que describan los efectos del trabajo en el laboratorio. Se trata de entender cómo el alumno va construyendo sus conceptos a través de la observación participante y el análisis de la organización de la actividad frente a las distintas instancias de aprendizaje y evaluación.

En función del marco teórico de la investigación se consideraron fuentes de información a los discursos (oral y escrito) que provienen de producciones individuales, grupales y de procesos de interacción social en el aula y de sus modos de hacer. Para ello se recolectaron: registros escritos de consultas que realizan los alumnos durante el desarrollo mismo del trabajo experimental; informes grupales sobre las actividades realizadas; registros escritos de las dificultades manifestadas al realizar las correcciones de los informes, entre otros.

Se encuentran regularidades y singularidades en el uso convencional y funcional que hacen los alumnos de la noción de modelo físico, tanto desde el punto de vista descriptivo como formal, así también como sus limites de validez.

5 ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Un grupo de estudiantes para resolver esta situación problemática experimental necesitan captar que el movimiento rectilíneo de un objeto bajo aceleración constante evoluciona en el tiempo y cómo evoluciona, reconocer y relacionar los gráficos provistos por el programa graficador (ver Anexo 2). Además de explicitar las relaciones formales que existen entre x(t), v(t), a(t) desde el cálculo diferencial.

El análisis del corpus ha permitido identificar y clasificar datos, explicitar las concepciones y competencias de los alumnos. Remontándonos a los

aspectos analizados en la bibliografía consultada y dada la complejidad del trabajo experimental con intenciones de aprendizaje; los aspectos principales tenidos en cuenta para elaborar las agrupaciones han sido:

1– contenidos locales específicos y
2– la noción de modelo físico.

Los conocimientos que ponen en juego grupos heterogéneos de estudiantes en 27 comisiones, pueden ser:

5.1 *A- En el caso de participación en el Laboratorio Innovador*

grupo A-1 – Modelización cinemática inicial de movimientos rectilíneos de traslación desde experimentación asistida (40%)

Los estudiantes agrupados muestran logros y dificultades más distribuidos y asociados a esquemas elementales. Privilegian la "forma" de la solución en situación experimental en relación con la idea de tarea terminada. Realizan una descripción de la situación física sin mucho sustento desde el cálculo diferencial. No explicitan relaciones entre variables: x(t), v(t), a(t), a pesar de contar con las gráficas provistas por el software. En términos de invariantes operatorios el esquema puede contener:

Conceptos-en-acción: sistema de referencia, desplazamiento, velocidad variable, aceleración, vector, proyecciones, recta tangente, pendiente.

Teoremas-en-acción: "En el punto más alejado al que llega el móvil (en un movimiento con retroceso) la velocidad es nula". "Tanto al subir como al bajar, a lo largo de un plano inclinado, el móvil continúa acelerado". "El movimiento variado necesita de una fuerza no necesariamente en el mismo sentido".

Una de las comisiones en su informe escribe:

"(...) en el punto xf la velocidad es nula y por efecto de la aceleración que provoca la gravedad, el móvil continúa acelerado, obligándolo a volver a su posición inicial. (...) El experimento se realizó aplicando una fuerza inicial y dejando el móvil libre durante el resto del tiempo, de esat forma se logró un movimiento variado, con el primer intervalo desde t=1 hasta t=3, un movimiento retardado y desde t=3 hasta t=4,9; un movimiento acelerado." Comisión Nº 3 (2007)

Aunque queda un largo camino aún por recorrer, la movilidad parece haber comenzado.

grupo A-2 – Modelización cinemática emergente de movimientos rectilíneos de traslación desde experimentación asistida (40%)

Los estudiantes agrupados se diferencian del grupo A-1 en que describen e interpretan las gráficas del movimiento real obtenidas por el software utilizado. Hacen una básica interrelación coherente sin incorporar intrínsecamente el sustento formal. Dan indicios de que acotan intervalos en estudio.

grupo A-3 – Modelización cinemática en vías de logro de movimientos rectilíneos de traslación desde experimentación asistida (10%)

Estos alumnos han avanzado en la identificación de la pertinencia de contar con un pensamiento propio grupal, uniendo conceptos del cálculo formal a la interpretación física del experimento, tales como obtención de x(t) como área bajo la curva de v(t).

Conceptos-en-acción: partícula, sistema de referencia, desplazamiento, velocidad constante y variable, aceleración, MRV, continuidad del movimiento, función, recta tangente, aceleración constante.

Teoremas-en-acción: "Si la pendiente de la gráfica v(t) en un punto es igual a cero, la aceleración es nula, entonces el movimiento es rectilíneo y uniforme". "Si la pendiente de la gráfica x(t) es un punto es igual a cero, la velocidad es nula, entonces el móvil pasa de un MRR a MRA". "En un movimiento rectilíneo con retroceso, en el instante en que la velocidad es nula, la aceleración no lo es ".

grupo A-4 – Nutrida modelización cinemática de movimientos rectilíneos de traslación desde experimentación asistida (10%)

Ya comienzan a incorporar otras relaciones, utilizando conceptos del cálculo formal a la interpretación física del experimento, implícitamente esgrimen la aceleración como invariante característico del movimiento, aplicando criterios propios para decidir si dos valores distintos pueden considerarse iguales.

Conceptos-en-acción: partícula, sistema de referencia, desplazamiento, velocidad constante y variable, aceleración, zona de estudio, continuidad del movimiento, función, recta tangente, aceleración constante.

Teoremas-en-acción: "La velocidad es nula en el punto que alcanza su mayor distancia (respecto del punto de partida)". "Si la pendiente de la gráfica x(t) en un tramo es constante, la velocidad es constante y al comparar con la obtenida del gráfico v(t), se ve si verifica". "La aceleración es constante durante todo el desplazamiento".

5.2 *B- En el caso de participación en el Laboratorio Tradicional*

Los alumnos –a pesar del despliegue efectuado– manejan las nociones de incertidumbre en la medida

y velocidad instantánea[3] en una forma muy elemental. La ausencia de conceptos-en-acción como: velocidad variable, derivada, valor asignado, propagación de errores, curva de ajuste, error sistemático; ha impedido la centración en aspectos críticos de la situación experimental diseñada (determinación de errores), y por tanto, en captar el objetivo mismo de la actividad. Los estudiantes miden y calculan errores dando escasa importancia al significado físico; siguen trabajando con la nube de datos a pesar de haber provisto el mismo programa la función de ajuste.

Debido a la escasa variabilidad mostrada en los distintos registros recogidos, se agruparon las 7 comisiones en una sola categoría. Los conocimientos-en-acción advertidos son:

Conceptos–en–acción: número, repetibilidad incipiente, exactitud, error, medición directa; rapidez promedio; valor promedio.

Teoremas–en–acción: "La rapidez instantánea como rapidez media". "La velocidad instantánea inicial es el valor que corta la curva de mejor ajuste al tiempo t = 0"[4]. "Mido y calculo errores dando escasa importancia al significado físico". "Un incremento en la toma de datos mejora el error en el estudio del movimiento".

Esto releva dos modalidades con objetivos marcadamente distintos. En la modalidad A la aceleración es constante como hipótesis, mientras en la B es constante como afirmación. Esto puede acarrear importantes consecuencias en el aprendizaje como ya señalamos en parte de otro trabajo (Jaime y Escudero 2008).

6 DISCUSIÓN Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Puede decirse que los conocimientos que los estudiantes ponen en juego al participar en un laboratorio contemporáneo e informar sobre lo actuado y reflexionado, están esencialmente en construcción. Eso ha llevado a otorgar grados en el uso hecho de los mismos. ¿Qué nos indican acerca de concepciones y competencias de los jóvenes?

Se podría afirmar que los resultados sugieren que los alumnos no evolucionan conceptualmente de una forma homogénea, existiendo factores que ejercen influencia. Notar que a pesar de dicha variabilidad en todos los grupos se advierte evolución conceptual en el tiempo corto de estudio.

En el grupo A-1 han sido capaces de identificar la situación física, las condiciones de experimentación (dónde la velocidad es nula en un movimiento con retroceso, que el carrito continúa acelerado tanto en subida como en bajada). Ha faltado relacionar más estrechamente con ideas newtonianas. Estas serán parte de los contenidos que se introducirán en dinámica. Estos "vacíos" (o fragmentaciones) de contenido son propios de enfoques que comienzan con cinemática sin generar vínculos mínimos con la dinámica desde un comienzo. A pesar de que no "visualizan" desde los gráficos lo que sucedió experimentalmente, se puede decir que han comenzado el lento proceso de modelado como representación teórica (de segundo orden) de la realidad.

En el segundo agrupamiento los estudiantes acuden a nociones físicas básicas en el análisis de los gráficos sin integrar globalmente el cálculo diferencial. En cambio, en el grupo A-3, si bien relacionan las magnitudes posición, velocidad, y aceleración, todavía no logran captar plenamente que la aceleración es la magnitud característica del movimiento analizado. Por su parte los estudiantes de la categoría A-4 han ganado en identificar que la aceleración es el invariante que caracteriza dicho movimiento así como logran trascender la cualidad incorporando la cuantitatividad desde lo experimental. Captan ampliamente la consigna.

Este trabajo experimental no se ocupó de la propagación de errores, aunque se discutió sobre el significado de la incertidumbre en las mediciones.

Los estudiantes alcanzan un acercamiento entre teoría (modelos científicos) y fenómenos; el problema experimental se torna comprensible, ya no es, irreal o intrascendente. La resolución está a su alcance. La materialidad del "cotidiano" en el laboratorio funciona para algunos de ellos como un punto de partida (o una referencia) para empezar a pensar en términos más abstractos.

En cambio, en el tradicional queda la duda. Para los estudiantes de la categoría B experimentar, al parecer se reduce a proveer los valores y los errores que den el resultado previsto. No se integra la experimentación a la interpretación de la realidad. Se quedan mayormente en los aspectos sintácticos, sin avanzar hacia los significados. El trabajo de laboratorio se torna, entonces, inaccesible; y desde la perspectiva de los estudiantes se constituye en

[3] Nuestros datos muestran esta confusión muy arraigada en los cursos introductorios de secundaria y universidad. La confusión se centra más en rapidez promedio asociada con la rapidez instantánea, y nos enseñó la gran dificultad que tenían los estudiantes para relacionar velocidad media con el espacio-tiempo [14].

[4] Sólo estuvo presente en algunas comisiones.

inmotivado, fútil y arbitrario. Localmente, siguen confundiendo rapidez media e instantánea.

7 A MODO DE CONCLUSIÓN E IMPLICACIONES

La utilidad que tiene la visualización a través de la computadora para el científico, parecía no tener parangón cognitivo en el estudiante. No la utiliza porque desconoce en buena medida lo que permite.

Las conclusiones muestran, aun en su carácter incipiente, la potencialidad de este marco teórico en dos direcciones: para interpretar la construcción del significado de conceptos aislados que comienzan a integrarse en estructuras más abarcativas y para el diseño y mejoramiento de propuestas instruccionales tendientes a un aprendizaje significativo crítico.

En este estudio, se ha avanzado en la integración de la experimentación a la interpretación de la realidad a través de actividades mediadas por instrumentos. Los instrumentos no son conceptualmente neutros. Frecuentemente se los ha considerado meros accesorios que no afectan los conceptos de los estudiantes. Sin embargo, hay aspectos más básicos que han impregnado todo el proceso: la distinción entre las nociones de información y conocimiento y, las consecuencias de su indiferenciación; así como la noción de realidad que fuera tratada en Jaime y Escudero [5].

Lograr la realización de trabajos prácticos de física en los que el futuro profesional pueda, a partir de una situación problemática, en principio abierta, desarrollar la tarea experimental y avanzar en su modelado en forma personal y/o grupal con más tiempo efectivo interactuando con los materiales, docentes y compañeros parece ser una importante oportunidad para el buen aprendizaje.

Frecuentemente tanto el laboratorio experimental neto como el asistido con tecnologías ha sido concebido como un espacio ausente de enseñanza intencional. Los gráficos al mostrar muchos valores, dejan de lado en parte la precisión, pero resaltan las tendencias.

Varios aspectos son mejorables. Una limitación del programa de graficación es que no permite introducir convenientemente la noción de función de ajuste. Dicho programa une los puntos experimentales con líneas.

Un uso comprometido de las NTICs puede aportar con creces en ese sentido:

La realidad es siempre infinitamente compleja, y no se puede pasar directamente desde la percepción común y del comportamiento práctico espontáneo, a la descripción científica y a la "visión teórica". Pero el trabajo científico comienza confrontando la experiencia espontánea con ciertas otras realidades, cuya relación de analogía hace posible obtener una primera visualización de la estructura posible, la cual hubiera sido, de no mediar ese *modelo*, invisible. [15]

REFERENCIAS

[1] J. Salinas, L. Cudmani, Los laboratorios de Física de ciclos básicos universitarios instrumentados como procesos colectivos de investigación dirigida. Revista de Enseñanza de la Física, 5(2), pp. 10-17, (1992).

[2] J. Salinas, Tesis doctoral (Versión abreviada) Las prácticas de física básica en Laboratorios Universitarios. Revista de Enseñanza de la Física, Volumen Extraordinario, (1996).

[3] D. Petrucci, J. Ure, H. Salomone, "Cómo ven los trabajos prácticos de laboratorio de física los estudiantes universitarios". Revista Enseñanza de la Física, 19 (1), (2006).

[4] Z. Andrés, M. M., Pesa & M. A. Moreira, El trabajo de laboratorio en cursos de física desde la teoría de campos conceptuales. Ciência e Educação, 12(2), pp. 129-142. (2006).

[5] E. Jaime, & C. Escudero, Posibilitar la generación de conocimiento durante el trabajo experimental en enseñanza de la física ¿Para qué? Aceptado en Sief9, Rosario (Argentina) (2008).

[6] C. Figueroa & C. Escudero, ¿Los trabajos de laboratorio en Física Universitaria Básica complemento de las simulaciones? Aceptado en Sief9, Rosario (Argentina). (2008).

[7] C. Escudero, El trabajo experimental como fuente de conocimiento en un campo conceptual. Enviado a publicación. (2008)

[8] G. Vergnaud. La théorie des champs conceptuels. Recherches en Didactique des Mathématiques, 10 (23): 133-170, (1990).

[9] G. Vergnaud, Multiplicative Conceptual Field: What and why, Ghershon and Jere Edit. State University of New York Press, (1994).

[10] G. Vergnaud, Campos conceptuales. Minicurso en 1° Encuentro Nacional de Educación en Matemática (1ENEM), Tandil (Bs. As.), (2007).

[11] A. Franchi, Considerações sobre a teoria dos campos conceituais. En Alcântara Machado, S.

D. et al. Educação Matemática: uma introdução (pp. 155-195). (1999).
[12] A. Aduriz - Bravo & L. Morales, El concepto de modelo en la enseñanza de la física consideraciones epistemológicas, didácticas y retóricas. Cad. Brás. Ens. Fís., 19(1), pp.79-92. (2002)
[13] B. Glaser & A. L. Strauss, The discovery of grounded theory: strategies for qualitative research. (Chicago: Aldine), (1967).
[14] C. Escudero, Inferencias y modelos mentales: un estudio de resolución de problemas acerca de los primeros contenidos de Física abordados en el aula por estudiantes de nivel medio. Tesis doctoral. Universidad de Burgos-Universidad Federal de Rio Grande do Sul. (2005)
[15] J. Samaja, Epistemología y metodología. Bs. As.: Eudeba, (1999).

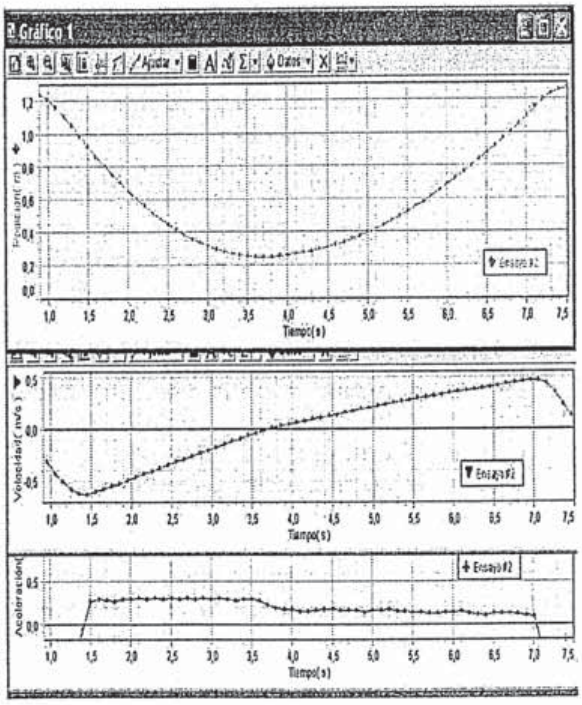
ANEXO 1

Las actividades diseñadas para la modalidad innovadora fueron:

– Determinación y análisis del movimiento de dos móviles sobre dos planos: inclinado y horizontal, que se desplazan en una trayectoria rectilínea incluyendo movimientos con retroceso.

ANEXO 2

Gráficas: $x(t)$, $v(t)$ y $a(t)$ para un ensayo



Estudio de la conceptualización de distintas soluciones de ecuaciones diferenciales ordinarias a valores iniciales

M. R. Castro, L. González, L. Hidalgo & C. Escudero
mrcastro@unsj.edu.ar, lcasas@unsj.edu.ar, lhidalgo@unsj.edu.ar & cescude@unsj.edu.ar
Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de San Juan

RESUMEN: Se presentan los primeros resultados de una investigación sobre concepciones y competencias específicas en estudiantes universitarios acerca de la resolución de situaciones problemáticas en las que deben arribar para su solución a una ecuación diferencial de primer orden y primer grado. Se parte de un cuadro teórico ya elaborado que posibilita el ensamble y entramado de contribuciones teóricas concernientes a la psicología cognitiva, la psicología del desarrollo, la resolución de problemas, la representación lingüística y simbólica de los conceptos y su relación con la didáctica. El corpus está formado principalmente por las respuestas a trabajos escritos. Las cuales han permitido analizar las concepciones implícitas de los estudiantes, más precisamente los aspectos ignorados por ellos, u objeto de imprecisiones. Es una investigación de tipo cualitativa, donde los datos se agrupan en categorías que no son provistas a priori por el marco teórico. Las conclusiones muestran la potencialidad del marco teórico para interpretar procesos de construcción del significado de las ecuaciones diferenciales de primer orden y primer grado, y para el diseño y mejoramiento de propuestas didácticas tendientes a un aprendizaje significativo crítico.

Palabras clave: representaciones internas – invariantes operatorios – razonamientos – ecuaciones diferenciales – campos conceptuales.

ABSTRACT: There appear the first results of an investigation on conceptions and specific competitions in university students it brings over of the resolution of problematic situations in which they must arrive for his solution at a differential equation of the first order and the first degree. It splits of a theoretical picture already elaborated that it makes possible the ensemble and studding of theoretical contributions relating to the cognitive psychology, the psychology of the development, the resolution of problems, the linguistic and symbolic representation of the concepts and its relation with the didactics. The corpus is formed principally by the answers to written works. Which have allowed analyzing the implicit conceptions of the students, more precisely the aspects ignored by them, or objecting of imprecision. It is a qualitative investigation of type, where the information is grouped in categories that are not provided to priori by the theoretical frame. The conclusions show the potential of the theoretical frame to interpret processes of construction of the meaning of the differential equations of the first order and the first degree, and for the design and improvement of offers didactics tending to a significant critical learning.

Key Words: internal representations – invariants operative – reasoning – differential equations – conceptual fields.

1 INTRODUCCIÓN

Este trabajo forma parte de un programa de mayor envergadura, cuyo propósito está orientado a la búsqueda de indicios que revelen la presencia de invariantes operatorios durante el proceso de resolución de problemas de Matemática y Física y su relación con las representaciones mentales.

A medida que avanza la investigación en resolución de problemas, empiezan a componerse los vínculos con el aprendizaje de conceptos y las relaciones implícitas con la significación en su sentido más amplio. En el análisis pormenorizado de una situación problemática puede llegar a inferirse la presencia de algunos conocimientos implícitos, tradicionalmente difíciles de detectar, cuya calidad y organización influyen notablemente en los procedimientos que desarrollan las personas al intentar resolverlas.

Una revisión crítica de los procesos y resultados en la investigación en resolución de problemas y la configuración de la teoría de los campos conceptuales de Vergnaud tanto como marco teórico alternativo para la investigación en resolución de problemas en Ciencias [1] [2] como, referente plausible de integrar los modelos mentales de Johnson-Laird con los esquemas de acción de Vergnaud [3] [4] son los que han permitido arrojar luz sobre el tema.

En investigaciones previas sobre los procesos de enseñanza y de aprendizaje de la resolución de situaciones problemáticas que involucran ecuaciones diferenciales ordinarias a valores iniciales, se han reportado una serie de escollos con la comprensión del problema; específicamente, en las dificultades para aplicar su conocimiento matemático a la solución de problemas de física a pesar de haber llevado uno o dos cursos de cálculo [5], en el complejo mecanismo de las representaciones externas y su nexo con las representaciones internas [6].

La modelización y simulación de sistemas dinámicos se han estado introduciendo en el currículo de cursos de física introductoria en algunos centros (no sin consecuencias) haciendo imprescindible que el estudiante desarrolle habilidades científicas para relacionar un conjunto de objetos conceptuales útiles en el planteamiento y la solución de estos sistemas. Aquí, en el curso de Métodos Numéricos, se introduce la Segunda Ley de Newton con el objeto de estudiar las decisiones que toman los alumnos frente a una situación problemática nueva. La integración de distintos contenidos resulta necesaria para interpretar los fundamentos de diversos desarrollos tecnológicos.

Nuestro objetivo es estudiar en detalle las decisiones que toman los alumnos frente a una situación problemática y, consecuentemente, la búsqueda de conceptos en acción y teoremas en acción sobre los que sería importante intervenir para poder ayudar a mejorar los procesos de aprendizaje en relación a los modelos científicos consensuados.

2 MARCO TEÓRICO

La teoría de los campos conceptuales de Vergnaud es una teoría psicológica de los conceptos [7], una teoría cognitivista del proceso de conceptualización de lo real. Se trata de una teoría pragmática en el sentido que presupone que la adquisición de conocimientos es moldeada por situaciones, problemas y acciones del sujeto en esas circunstancias [8]. Además es una teoría de la complejidad cognitiva, que contempla el desarrollo de situaciones progresivamente dominadas por los conceptos y teoremas necesarios para operar eficientemente en esas situaciones y de las palabras y símbolos que pueden representar eficazmente esos conceptos y operaciones para el individuo, dependiendo de su nivel cognitivo.

Gérard Vergnaud amplía y redirecciona, en su teoría, el foco piagetiano de las operaciones lógicas generales, de las estructuras generales de pensamiento hacia el estudio del funcionamiento cognitivo del "sujeto en situación". Además de eso, toma como referencia el propio contenido del conocimiento y el análisis conceptual de dominio de ese conocimiento [8] [9].

Esta teoría no sólo reivindica la investigación de la estructura del conocimiento previo sino también las filiaciones y rupturas de este conocimiento en la interacción con nuevas clases de problemas. El conocimiento previo es el precursor de nuevos conocimientos, tiene un rol decisivo en el dominio progresivo de un campo de conocimiento, se modifica de modo sucesivo a lo largo del proceso educativo y de la vida y su característica esencial es la de ser dinámico, de aquí la importancia de la investigación dirigida a la identificación, documentación y estructuración de ese conocimiento.

Por otro lado, para Vergnaud "problema es todo lo que, de una forma u otra, implica por parte del sujeto la construcción de una respuesta o de una acción que produce un efecto determinado" [10].

A nuestro entender y siguiendo a Vergnaud considerar la resolución de problemas y la formación de conceptos desvinculada es desacertada, subestima dos aspectos: la parte de representación simbólica y de conceptos presente en la resolución de problemas, por un lado; y la parte de resolución de problemas que comparece en la formación de conceptos, por otra. Ambos elementos forman la misma cosa: la conceptualización.

El estudio de los campos conceptuales realizado en matemática para las estructuras aditivas y multiplicativas por Vergnaud, se ha extendido a las ciencias físicas recientemente por Escudero. En Matemáticas y en Ciencias en general, hay varios campos conceptuales que no pueden enseñarse inmediatamente, ni como sistemas de conceptos ni tampoco como conceptos aislados. Es necesaria una perspectiva evolutiva del aprendizaje. Creemos que nuestro aporte en el tópico de las ecuaciones diferenciales y los métodos numéricos puede ofrecer importantes avances en este sentido.

Entre los individuos lo que se desarrolla son formas de organización de la actividad. El problema de la enseñanza suele ser en gran parte el de llevar al aprendiz a desarrollar sus competencias.

En síntesis, los conceptos claves de la teoría de los campos conceptuales son, además del propio concepto de campo conceptual, los conceptos de esquema, situación, invariante operatoria (teorema en acción y concepto en acción), y su concepción de concepto.

Las invariantes operatorias se refieren a objetos, propiedades y relaciones que se mantiene a través de una serie de variaciones (o situaciones).

Un teorema en acción es una proposición considerada como verdadera sobre lo real; un concepto en acción es una categoría de pensamiento considerada como pertinente [11].

Las representaciones implícitas y simbólicas son muy útiles en situaciones o contextos que requieren respuestas o acciones automatizadas. Las representaciones explícitas permiten abordar tareas más complejas.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

Esta es una investigación de tipo cualitativa donde los agrupamientos se definen durante las sucesivas miradas al corpus [12]. Esto supone un trabajo de inmersión en él que permite conocer por comparación constante una cualidad que lo describa lo más fielmente posible. Se intenta encontrar regularidades en el planteo y solución de situaciones problemáticas que involucren ecuaciones diferenciales ordinarias a valores iniciales y la búsqueda de la solución implementando distintos caminos, la solución analítica y la aproximada utilizando algún método numérico.

En el diseño de la presente investigación podemos distinguir dos momentos, que denominamos fase exploratoria global y fase principal cuyo análisis se realiza en profundidad.

En el estudio exploratorio se analizan las resoluciones escritas de 35 alumnos de primer y segundo año de la asignatura Métodos Numéricos. Ésta es una materia semestral que se dicta en el segundo año (IV semestre) para las especialidades Ingeniería Química, Ingeniería en Alimentos e Ingeniería de Minas, y en primer año (II semestre) para Ingeniería Industrial de la Facultad de ingeniería de la U.N.S.J. Los participantes, son los alumnos regulares de la asignatura anteriormente citada.

La tarea propuesta: "Considera la siguiente situación y contesta los interrogantes:

Un paracaidista militar de masa m se deja caer desde un aeroplano en movimiento, que se encuentra a una altura h medida en metros. Suponiendo que no hay viento, las condiciones iniciales son v (0)=0, la masa del paracaidista es $68.100g$ y el coeficiente de arrastre (o de rozamiento) es de $12.500g/s$.

a) Realiza un esquema que muestre las fuerzas actuantes sobre el paracaidista.

b) ¿Qué ley modela matemáticamente la situación planteada? Realiza el modelado de la situación.

c) Expresar la ley antedicha como una EDO de primer orden. Identifica la variable independiente y la dependiente.

d) Resuelve analíticamente la EDO, teniendo en cuenta las condiciones iniciales v (0) =0.

e) Calcula la velocidad de caída del paracaidista en el intervalo [0,20] en segundos.

f) Emplea alguno de los métodos aproximados que conoces y resuelve la EDO que encontraste.

g) Grafica para el intervalo considerado la velocidad de caída obtenida en forma analítica y aproximada.

h) Calcula los errores absolutos.

i) Escribe tus conclusiones."

Algunas dificultades detectadas en las producciones de los alumnos son: excesiva representación diagramática, disgregación de aspectos matemáticos y físicos en el modelado, marcado apego a la autoridad de la fórmula, confusión en la resolución del método analítico de resolución, falta de criterio en la elección de los métodos aproximados,

dificultad para contrastar los resultados y exponer sus conclusiones.
Posteriormente, una primera base de datos construida con estas respuestas, nos permitió advertir algunas regularidades que empleamos para proponer posibles líneas de acción.
En la medida en que vamos profundizando en este análisis vamos encontrando conceptos, teoremas y reglas de acción que siguen los alumnos al resolver una situación problemática.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Un estudiante para resolver una situación problemática que involucre ecuaciones diferenciales ordinarias a valores iniciales necesita captar que éstas ofrecen poderosas herramientas para explicar el comportamiento de procesos con cambios dinámicos.
La metodología adecuada para encarar la situación problemática comenzaría con la realización del diagrama de cuerpo libre que representa la situación, donde el alumno debería asociar el esquema con las ecuaciones de movimiento de Newton. En el problema planteado debe notar que sobre el paracaidista actúan dos fuerzas, el peso y la fuerza de fricción del aire en sentido contrario al movimiento, donde su ley de fuerzas es igual al coeficiente de rozamiento multiplicado por la velocidad. Recordando la segunda Ley de Newton que dice que la sumatoria de las fuerzas que actúan sobre un cuerpo es directamente proporcional a su aceleración, el alumno podría inferir que el paracaidista al dejarse caer, la Tierra ejerce una fuerza hacia abajo sobre el paracaidista que es igual a su peso multiplicado por la aceleración de la gravedad, con lo cual queda de manifiesto que se hace necesario el uso de una ecuación diferencial ya que la aceleración es variable e igual a la derivada de la velocidad respecto del tiempo.
Trabajando matemáticamente se llega a una ecuación diferencial de primer orden y primer grado a valores iniciales. En esta instancia se debería evaluar el mejor método a implementar para encontrar la solución.
En nuestra asignatura la política de trabajo es llegar a la solución por distintos caminos, analíticamente en el caso de ser posible y/o utilizando métodos aproximados o numéricos.
Luego de decidir que camino se seguirá, utilizando el criterio "formado" se deberá elegir que método numérico se utilizará haciendo hincapié en la precisión deseada, la velocidad de convergencia a la solución buscada y el porcentaje de error que se permite tener.
El último paso sería la comparación entre las soluciones logradas y la evaluación de los errores cometidos.
Todo este procedimiento de trabajo sugiere un conjunto de dificultades y dudas que se pueden evaluar para luego intentar tomar medidas correctivas en el proceso de enseñanza aprendizaje.
Los teoremas que ponen en acción grupos heterogéneos de alumnos cuando resuelven situaciones problemáticas en este campo conceptual, pueden ser: en el caso de interpretar el enunciado del problema, realizar el diagrama esquemático que representa a la situación física, modelarlo matemáticamente y resolverlo.
Categoría 1
Los estudiantes agrupados en esta categoría no lograron interpretar el enunciado de la situación propuesta por lo tanto no realizaron un diagrama de la situación. En términos de invariantes operatorias el esquema en acción puede ser:
Concepto en acción: diagrama de cuerpo libre, ley de fuerzas, vector, derivada.
Teorema en acción: "No logro asociar la información proporcionada por el enunciado del problema con algún diagrama que conozca."
Un ejemplo de esta categoría se puede apreciar en la Fig. 1.

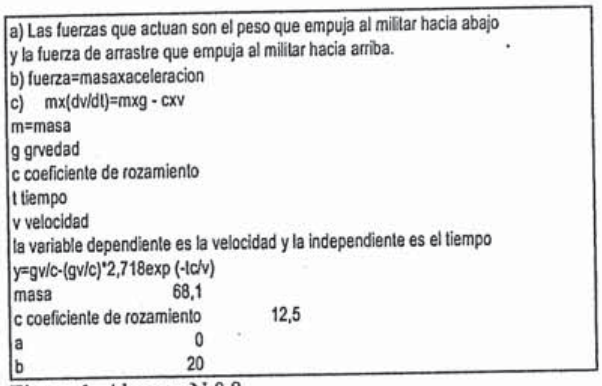

a) Las fuerzas que actuan son el peso que empuja al militar hacia abajo
y la fuerza de arrastre que empuja al militar hacia arriba.
b) fuerza=masaxaceleracion
c) mx(dv/dt)=mxg - cxv
m=masa
g grvedad
c coeficiente de rozamiento
t tiempo
v velocidad
la variable dependiente es la velocidad y la independiente es el tiempo
y=gv/c-(gv/c)*2,718exp (-tc/v)
masa 68,1
c coeficiente de rozamiento 12,5
a 0
b 20

Figura 1. Alumno N ° 8

Categoría 2
Los estudiantes agrupados en esta categoría lograron interpretar el enunciado de la situación propuesta realizando un diagrama pero no llegaron adecuadamente al modelo correcto. En términos de invariantes operatorias el esquema en acción puede ser:

Concepto en acción: diagrama de cuerpo libre, ley de fuerzas, vector, derivada, aceleración, velocidad.
Teorema en acción: "Reconozco que existen dos fuerzas actuando sobre el paracaidista, conozco la ley de Newton, pero no llego a la solución de la EDO."
Un ejemplo de esta categoría se observa en la Fig. 2.

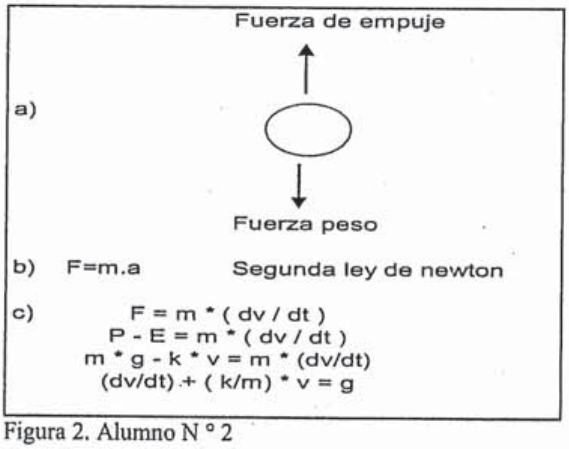
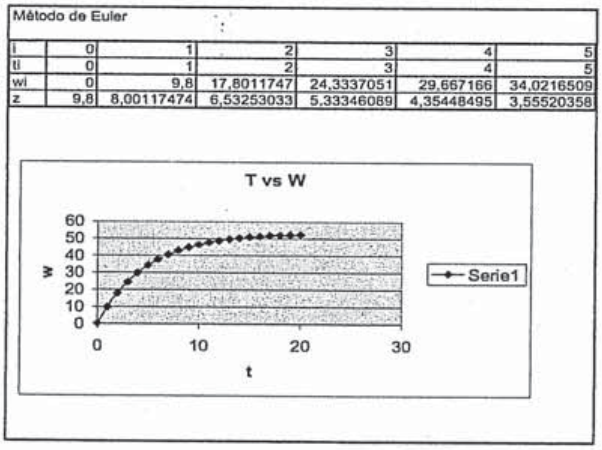


Figura 2. Alumno N ° 2

Categoría 3
Los estudiantes al realizar el diagrama lo asocian con las leyes que lo modelan, arriban a una ecuación diferencial y lo resuelven al menos por un método. El esquema puede explicarse como:
Conceptos en acción: diagrama de cuerpo libre, ley de fuerzas, vector, derivada, aceleración, velocidad, EDO, solución analítica de una EDO de primer orden y primer grado, método numérico de solución de una EDO a valores iniciales.
Teorema en acción: "Planteo el modelo y lo resuelvo por el método que me resulta más sencillo, sin reflexionar si es el más adecuado o no."
El siguiente alumno propone, lo que se muestra la Fig. 3.


Método de Euler

i	0	1	2	3	4	5
ti	0	1	2	3	4	5
wi	0	9,8	17,8011747	24,3337051	29,667166	34,0216509
z	9,8	8,00117474	6,53253033	5,33346089	4,35448495	3,55520358

Figura 3. Alumno N ° 15

Categoría 4
Los estudiantes de esta categoría lograron diagramar, modelar matemáticamente, resolver a analíticamente y numéricamente el problema planteado y exponer sus conclusiones.
Conceptos en acción: diagrama de cuerpo libre, ley de fuerzas, vector, derivada, aceleración, velocidad, EDO, solución analítica de una EDO de primer orden y primer grado, método numérico de solución de una EDO a valores iniciales, error, criterios de selección.
Teorema en acción: "Planteo del modelo matemático y arribo a la solución buscada por distintos caminos, exponiendo y discutiendo los resultados obtenidos."
En la Fig. 4 se observa la forma de trabajo del alumno N ° 21.

t(s)	v(m/s)	Euler	error
0	0	0	0
2	1640,46	1960	319,540822
4	2776,87147	2998,23481	221,363339
6	3564,11014	3717,46197	153,351832
8	4109,46215	4215,69966	106,237517
10	4487,2495	4560,84902	73,5995282
12	4748,95804	4799,94792	50,9898761

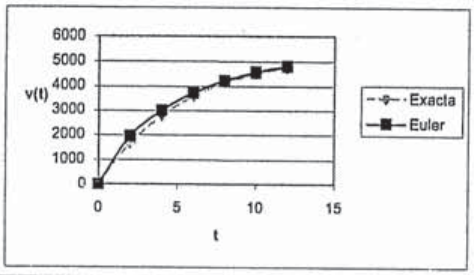


Figura 4. Alumno N ° 21

Del análisis de las cuatro categorías observadas se puede inferir que el primer obstáculo que debieron enfrentar los alumnos fue reconocer e integrar conocimientos previos de Física y Análisis Matemático con los de Métodos Numéricos. Asignaturas que se dictan en el segundo semestre de primer año para las especialidades de Ingeniería Química, Ingeniería en Alimentos e Ingeniería de Minas, y en primer año, primer y segundo semestre respectivamente para Ingeniería Industrial.
Otra característica notoria, consiste en que los alumnos que no pueden traducir del lenguaje coloquial al lenguaje esquemático no pudieron realizar el diagrama del cuerpo libre y por

consiguiente tampoco pudieron lograr el modelado de la situación propuesta.

Los alumnos que obtuvieron la EDO de primer orden y primer grado tuvieron la opción de seleccionar y justificar, entre los distintos métodos que conocían, el mejor para arribar a la solución; solamente fue un pequeño grupo. Los que formaban parte de la categoría cuatro justificaron el método empleado realizando además una breve discusión de los errores cometidos.

Desde nuestro crítico punto de vista concluimos que este estudio sobre la conceptualización de distintas soluciones de ecuaciones diferenciales a valores iniciales es simplemente un punto de partida. Queda aún mucho por profundizar especialmente haciendo hincapié en los complejos procesos de enseñanza y de aprendizaje sobre la integración de distintas ciencias en la solución de situaciones problemáticas, un mejor análisis de las ventajas y desventajas de los diversos métodos numéricos para resolver EDO a valores iniciales y los beneficios de encontrar la solución analítica cuando sea posible para realizar una buena discusión de los errores cometidos.

En la Tabla 1 se presenta una síntesis del análisis descrito, donde figuran las frecuencias de las categorías construidas para interpretar los esquemas de acción.

Tabla 1. Frecuencias de categorías

Categoría 1	14%
Categoría 2	34%
Categoría 3	14%
Categoría 4	12%
No resuelven	26%
TOTAL	100%
Muestra	35

5 CONCLUSIONES

La resolución de situaciones problemáticas nuevas y parcialmente nuevas requiere de significados. Aprender es adquirir información utilizable a modo de instrumental conceptual que facilite dicha resolución de problemas. Un aspecto interesante desde la riqueza conceptual del análisis y de los razonamientos de los estudiantes ha sido la identificación y significación de la dependencia e independencia de la información y la naturaleza integral de la situación.

Nuestros hallazgos sugieren que la capacidad de los estudiantes de generar soluciones se ha debido a la puesta en escena de ciertas representaciones mentales. Como resultado del análisis se han construido cuatro categorías. Lo que se ha desarrollado en los estudiantes son formas de organización de la actividad más eficiente, lo que redundaría en la adquisición de concepciones y competencias específicas. Una competencia general que se busca desarrollar es la resolución de problemas y creemos que una competencia crítica (concepto acuñado por [13]) en este sentido, no ha sido lograda en este estudio introductorio.

Resulta evidente que los alumnos que plantean una resolución correcta y completa no solo han construido los conceptos del campo conceptual, sino que también han podido consolidar y extender sus esquemas específicos. Podría estimarse que se encuentran en una etapa de transición, en la que es necesario trabajar en forma sistemática e intencionadamente, con estrategias especificas de las dificultades detectadas. Una mirada profunda posibilita reconocer algunos focos de dificultades y aun más, algunas direcciones en las que transitar.

Sabemos que el aprendizaje que se construye en un contexto no se "traslada" automáticamente a otro, pero sí constituye un sustento para poder construirlo en otro contexto de mayor complejidad [14].

Contadas veces los docentes y los investigadores e incluso las mismas autoridades educativas aprovechamos el largo camino que conlleva la construcción del conocimiento y la intervención más básica que es necesario realizar en forma sistemática e intencionada y con estrategias específicas derivadas de las dificultades asociadas.

La resolución de problemas muchas veces ha reducido su función a la de un simple instrumento de transposición de información. Se trata de una perspectiva estrechamente tecnocrática, que ha dejado de lado todo el peso que la historia y la cultura científica han ejercido sobre las resoluciones. No obstante, cuando se estudia la historia de la resolución de lo resuelto, nos asombra la importancia que han tenido y tienen estos factores [15].

Aún en su carácter incipiente, los resultados obtenidos muestran que existe la posibilidad de incorporar cambios cualitativos en el aula que, a mediano o largo plazo, pueden influir de manera estructural y/o estructurante en el aprendizaje de los alumnos.

Este tipo de trabajos busca actuar, por un lado, como punto de partida de reflexiones y estrategias que

dirijan especialmente la atención a la enseñanza formal del contenido, incrementando los sustentos teóricos de la mediación en Didáctica de las Matemáticas. Por otro, desde una profundización mayor que permita identificar algunas dificultades medulares que a su vez, con la integración de otros datos, podrían ser objeto de hipótesis en trabajos con un importante grado de especificidad.

REFERENCIAS

[1] Escudero, C, y Moreira, M. A. La investigación en resolución de problemas: una visión contemporánea. Programa Internacional de Doutorado em ensino de Ciências (PIDEC). Texto de Apoio Nº 23 da Universidade de BURGOS/UFRGS. Publicado en Actas del PIDEC, vol. 6, pp.41-90. Publicación en modalidad libro. 2004.

[2] Escudero, C. Inferencias y modelos mentales: un estudio de resolución de problemas acerca de los primeros contenidos de Física abordados en el aula por estudiantes de nivel medio. Tesis doctoral. Universidad de Burgos-Universidad Federal de Rio Grande do Sul. 2005.

[3] Moreira, M. A. A teoría dos campos conceituais de Vergnaud. Investigações em Ensino de Ciências. Brasil, Vol. 7 (1) .Site: http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm 2002.

[4] Greca I., Moreira M. , Alèm da deteccão de modelos mentais dos estudantes. Uma proposta representacional integradora, Investigações em Ensino de Ciências, Porto Alegre. 2002.

[5] Cui, L.; Sanjay, R.; Fletcher, P. y Bennet, A. Transfer of learning from college calculus to physics courses; (Proceedings of the National Association for Research in Science Teaching), April, 3-6. 2006.

[6] Castro, M. R., González, L., Hidalgo, L. Situaciones problemáticas implementadas en métodos numéricos. Presentado en VI Congreso Argentino de Enseñanza de la Ingeniería (CAEDI) "Formando al Ingeniero del Siglo XXI" Salta, Argentina 17, 18 y 19 de septiembre de 2008.

[7] Vergnaud. G. La théorie des champs conceptuels. Recherches en Didactique des Mathématiques, 10 (23): 133-170. 1990.

[8] Vergnaud G. Multiplicative Conceptual Field: What and why, Ghershon and Jere Edit. State University of New York Press. 1994.

[9] Franchi, A. Considerações sobre a teoria dos campos conceituais. En Alcântara Machado, S. D. et al. Educação Matemática: uma introdução (pp. 155-195). 1999.

[10] Vergnaud, G. Actividad y conocimiento operatorio. En Coll, C. Psicología genética y aprendizajes escolares (pp. 91-104). (Madrid, Siglo XXI). 1983.

[11] Vergnaud, G. A comprehensive theory of representation for mathematics educatión. Journal of Mathematical Behavior, 17 82):167-181. 1998.

[12] Glaser, B. y Strauss, A. L. The discovery of grounded theory: strategies for qualitative research. (Chicago: Aldine). 1967

[13] Vergnaud, G. Campos conceptuales. Minicurso en 1º Encuentro Nacional de Educación en Matemática (1ENEM), Tandil (Bs. As.). 2007.

[14] García, R. El conocimiento en construcción. De las formulaciones de Jean Piaget a la teoría de sistemas complejos. España. Gedisa. 2000.

[15] Escudero,C. Moreira, M.A. y Caballero, C. Un estudio sobre la conceptualización en alumnos universitarios de nociones de física referidas a movimientos de rodadura sin deslizamiento. Memorias Sief 8, Gualeguaychú. Corrientes. Argentina. 2006.

Las competencias del Ingeniero desde el área Matemática

S. Lorenzo & M.I.Lecich
slorenzo@unsj.edu.ar & milecich@yahoo.com.ar
Dpto de Matemáticas, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Juan

E. Morales, L. Crescentino, G. Ganyitano, J. Klinsky & V.Vela
emorales@unsj.edu.ar, lauracrescentino@speedy.com.ar, gganyita@unsj.edu.ar, ppklinsky@yahoo.com.ar, verovela@unsj.edu.ar
Universidad Nacional de San Juan.

RESUMEN: Esta investigación se enmarca en el paradigma educativo contemporáneo, el cual centra sus metas en el logro de competencias y capacidades. Se analiza este modelo y el enfoque desde la educación matemática en carreras de Ingeniería. Se trabaja en el contexto del perfil profesional buscado y se desarrollan cuatro competencias básicas, obtenidas del estudio de las competencias profesionales de los Ingenieros. El marco conceptual y las estrategias utilizadas son descriptos. Se presentan los resultados preliminares y se detallan reflexiones y recomendaciones para el análisis y la consolidación del modelo educativo investigado.

Palabras clave: competencias - educación - matemática - perfil profesional.

ABSTRACT: This research corresponds to the contemporaneous educative paradigm, and its goals are in accordance to achieve the competence and ability. This model is analyzed from the Mathematic Educations in the Engendering Carrier point of view. This is based on the professional profile defined. From the main engineer competences the analysis was centralized in four competences of them. The strategy used and the theoric marc are described. Preliminary results and recommendations are included for consolidation purposed..

Key Words: competence - mathematic - education - professional profile.

1 INTRODUCCIÓN

El desarrollo vertiginoso de la ciencia y la tecnología en los últimos cincuenta años y su impacto en los procesos de desarrollo globales, modificaron el escenario de las instituciones educativas, imponiendo nuevos retos y exigencias. La cambiante demanda de los diversos sectores económicos (particularmente el secundario y el de servicios), influyó con diversa eficacia en la oferta académica de las universidades y en muchos casos obligó a un replanteo del modelo curricular vigente. La especificidad de las exigencias del mercado laboral, obligaron a las empresas a desarrollar procesos de capacitación y especialización, para adecuarlos rápidamente a sus requerimientos. Sin embargo, ello no soluciona el problema de fondo, esto es, formar profesionales competentes, capaces de adaptarse a los cambios y de aprender por si mismos.

La formación en competencias, tales como: aprender a aprender, a plantear y resolver problemas reales, a seleccionar información y pensar críticamente, entre otros, constituyen un requisito indispensable para adecuar la formación de los egresados, a las demandas del mercado de trabajo y de la sociedad en su conjunto.

Los nuevos perfiles profesionales exigen a las Universidades modificaciones profundas que incluyan, entre otros, el replantear su estructura organizativo - académica y su concepción curricular, a fin de generar nuevos modelos educativos, donde el eje, sea el alumno como sujeto y objeto de los procesos de cambio. Se requiere, una fuerte vinculación con el mundo del trabajo y una sólida capacitación de los recursos humanos, a fin de generar concepciones curriculares abiertas y flexibles, con el uso de nuevas tecnologías. En resumen, la consolidación de un nuevo paradigma educativo.

2 MARCO CONTEXTUAL

En general la Universidad Nacional de San Juan y en particular su Facultad de Ingeniería responden a un modelo pedagógico, vigente en la mayoría de nuestras universidades, el cual, tiene la finalidad de educar para el desempeño de una función profesional, con incumbencias precisas.

La enseñanza en el ciclo básico, está marcada por una relación docente-alumno que promueve las clases teóricas de tipo magistral y las prácticas áulicas, de gabinete o de laboratorio, realizadas por parte del alumno en forma de observación y no de acción.

Esta situación alcanza a la educación matemática, pues se desarrolla en casi su totalidad, en los cuatro primeros semestres de las carreras de ingeniería.

Con todo, la oferta de ingenieros se adecuó a la demanda laboral hasta fines de los setenta; entre otras causas, por la dependencia tecnológica extranjera, del sector industrial, que no requería expertos en investigación y desarrollo.

Las carreras de Ingeniería, como consecuencia del proceso de acreditación ante CONEAU y de los lineamientos del Consejo Federal de Decanos de Ingeniería (CONFEDI), transitan un camino lento hacia la toma de conciencia de esta problemática. Acciones tales como: reuniones de docentes y autoridades; reuniones de docentes del departamento de Matemática con integrantes de los consorcios del Ciclo General de Conocimientos Básicos (CGCB) en el marco de PROMEI, involucran a docentes del primer ciclo en este nuevo modelo educativo.

El paradigma educativo anterior, puso énfasis en la formulación de objetivos y en la metodología de enseñanza. El contemporáneo, centra sus metas, en el logro de competencias y capacidades que generen un nuevo tipo de profesional capaz de:

- Adaptarse a los cambios del entorno y a situaciones imprevistas,
- Intervenir en funciones de gestión, con habilidad para el liderazgo de equipos.
- Asunción de una fuerte dinámica de aprendizaje.
- Ejecución de trabajos más complejos.
- Participación en procesos de calidad.

Para atender las nuevas tendencias y requerimientos relativos a la definición de profesionalidad de los trabajadores, resulta necesario reformular diseños curriculares, contenidos científicos y tecnológicos, formas de evaluación y formación de los cursos vinculados a este tipo de desarrollos. Ref. [1].

La tendencia internacional actual, usa las competencias como horizonte formativo en el diseño de planes de estudio; sin embargo, éstas constituyen respuestas a requerimientos industriales y sociales variables, particularmente en regiones con fuerte dependencia tecnológica.

El CONFEDI, propone competencias genéricas y específicas, cuya ejecución promoverá cambios. Los nuevos egresados deberán: identificar, formular y resolver problemas; concebir, diseñar y desarrollar proyectos; generar desarrollos e innovaciones tecnológicas; comunicar con efectividad en forma oral y escrita; actuar con ética, responsabilidad y

compromiso social; aprender de forma continua y actuar con espíritu emprendedor.
Para atender las nuevas tendencias y requerimientos relativos a la definición de profesionalidad de los trabajadores, resulta necesario reformular: diseños curriculares, contenidos científicos y tecnológicos, formas de evaluación y formación de los cursos vinculados a este tipo de desarrollos. Ref. [1].

3 MARCO CONCEPTUAL

Los planteos teóricos metodológicos centrados en los diseños curriculares por competencias, lleva a la reflexión sobre diversos aspectos curriculares, que la enseñanza de la matemática plantea a los formadores del área, en las diferentes carreras de ingeniería.
Del análisis teórico del concepto de "competencias", se puede considerar que se trata de un constructo que es entendido de manera variable. Para algunos, opera como metas u objetivos a lograr, como consecuencia del proceso de enseñanza aprendizaje. Otros lo asimilan a ideales a lograr, condicionado por procesos de integración curricular y de vinculación de la universidad al medio productivo.
La definición de competencia ha evolucionado de un concepto normalizado hacia un concepto comprehensivo. En este sentido "las competencias solo son definibles en la acción, no se pueden reducir al saber o al saber-hacer, de ahí que no se encuadren con lo adquirido solamente en procesos de educación formal.
Al respecto Perrenoud y Le Boterf definen: "Competencia es la capacidad de articular eficazmente un conjunto de esquemas (estructuras mentales) y valores, permitiendo movilizar (poner a disposición) distintos saberes en un determinado contexto, con el fin de resolver situaciones profesionales" Ref. [2.].
Se espera que la formación profesional, se oriente a formar trabajadores capacitados que puedan atender las demandas laborales cambiantes, por ello, se orienta al desarrollo de conocimientos, habilidades, capacidades y actitudes mediante el proceso formativo.

4 PROPÓSITO

Este trabajo muestra algunas experiencias didácticas realizadas en el área matemática, las cuales responden a un modelo de formación en competencias. Las experiencias han sido diseñadas rescatando actividades comunes en la educación matemática, las cuales son utilizadas como un medio para contribuir a la adquisición de la competencia comunicacional.

5 METODOLOGÍA

El proceso de investigación, se enmarca en los lineamientos metodológicos propuestos por Kemmis, que implica cuatro fases en el desarrollo: montaje institucional y metodológico de la investigación participativa; estudio diagnóstico previo de la zona y de la población; análisis crítico del problema y elaboración y aplicación del modelo que contribuya a la solución del problema Ref. [3], Ref. [4].
La investigación-acción participativa brinda un enfoque participativo, activo, democrático adecuado para estas tareas.
Se diagraman y efectúan entrevistas semi-estructuradas para obtener información relevante y para contrastar información. Estas se realizan en forma personal e individual, a los equipos docentes de todas las asignaturas del área matemática, jefe del departamento de Matemática y directivos de la Facultad de Ingeniería y de la Facultad de Ciencias Exactas de la UNSJ.
El análisis de los datos y la elaboración de experiencias didácticas, se realizan en talleres internos, a los que se invita a participar a docentes de las asignaturas seleccionadas para realizar las tareas de campo. Estas tareas se desarrollan en asignaturas matemáticas de algunas carreras de la Facultad de Ingeniería y de la Facultad de Ciencias Exactas.
Para analizar y contrastar los datos, se procede a la triangulación según tres puntos de vista diferentes. Se realiza en el transcurso de la investigación, y es aplicada especialmente en las etapas de diagnóstico y de evaluación.

6 FORMACIÓN EN COMPETENCIAS DESDE EL ÁREA MATEMÁTICA

El análisis de las entrevistas y la discusión del grupo sobre los lineamientos de la formación en competencias, dan por resultado, que para el logro del perfil profesional deseado, el aporte significativo desde el área matemática debe basarse en el desarrollo de las siguientes cuatro competencias:

- Abordaje de problemas de manera satisfactoria
- Desempeño de manera efectiva en grupos de trabajo

· Comunicación apropiada.
· Ética, responsabilidad y compromiso

Obviamente, este planteo implica importantes cambios para los profesores, desde el rol que se asigna a los contenidos en los cursos, al manejo de los problemas y los proyectos como estrategias didácticas. La modificación del contrato didáctico, conlleva adecuaciones a las formas evaluativas y una especial atención a la interdisciplinariedad.

El miedo a lo desconocido, lo nuevo o lo diferente dificulta la aceptación de los modelos desarrollados por competencias.

Los cambios en la cultura institucional, generan actitudes y acciones positivas pero también incertidumbre, resistencia, desinterés, incredulidad.

Para neutralizar la resistencia al cambio, es imprescindible que el docente, además de sentir la contención y el compromiso de la autoridad con los proceso de cambio, pueda apoyarse en su experiencia para dar respuesta a nuevas propuestas.

7 EXPERIENCIAS REALIZADAS

El estudio de la zona y de la población, muestra que en la situación áulica, existe (espacio físico, relación docente alumno, planificaciones centradas en contenidos) una escasa integración entre las diferentes cátedras del área matemática, con las de los ciclos de la especialidad, la tibia definición política de planificación por competencias, entre otras, dificulta un trabajo sistemático orientado a la formación en competencias.

Pese a la realidad un tanto adversa, se considera necesario consensuar experiencias didácticas factibles (adecuadas a la realidad existente), orientadas a la formación en competencias.

A continuación se comentan dos experiencias, donde se trabaja sobre la competencia comunicacional. En el desarrollo de las experiencias se siguieron los siguientes pasos: 1) Diagnóstico de la situación, 2) Determinación de algunas variables causales, 3) Determinación de las consecuencias del problema, 4) Diseño y análisis de eficacia de las estrategias, tendientes a la adquisición de determinadas competencias matemáticas, en particular, la competencia comunicacional.

Son propósitos de estas experiencias: verificar la relación existente entre las capacidades de expresión simbólica, gráfica y coloquial y su influencia en el proceso de aprendizaje; analizar la eficacia de las estrategias con relación a la adquisición de determinadas competencias matemáticas; proponer acciones para mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje.

- Una experiencia de catorce semanas, basada en las ideas expuestas por José Murillo y Guillermina Marcos Ref. [5], se realizó con 40 alumnos de Cálculo I y Matemática II, de las carreras de Ingeniería Química, Ingeniería en Alimentos y Bioingeniería de la Facultad de Ingeniería de la U.N.S.J. El tema seleccionado de la Unidad de Límite y Continuidad, fue Continuidad de Funciones. Las actividades propuestas fueron diseñadas teniendo en cuenta que los alumnos estudiaron previamente los siguientes temas: funciones, representación gráfica, definición y determinación de Dominio e Imagen.

Para los fines de la tarea, se definió la acción "hablar matemáticamente", como la frase con la que nos referimos al proceso de producción de discursos escritos, en la que los alumnos explican, justifican y describen el procedimiento que han llevado a cabo para la resolución del problema.

Se presentó la actividad, con la lectura de un texto matemático y discusión del concepto "Qué significa hablar matemáticamente" Ref. [6]. Luego, a modo de toma de conciencia individual y grupal, se pidió resolver un problema, explicar el procedimiento, vincular la solución gráfica y la analítica. Esta actividad, dejó en evidencia las falencias comunicacionales de los alumnos, como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Resultados del diagnóstico.

Diagnóstico			
	Lenguaje Simbólico	Lenguaje Coloquial	Lenguaje Gráfico
Bien	40%	12%	42%
Mal	51%	88%	35%
+/--	9%	0	23%

La actividad siguiente, fue la entrega a los alumnos de una hoja con actividades referidas a cuatro conceptos básicos ya desarrollados curricularmente, para trabajar en forma individual utilizando el lenguaje simbólico, coloquial ó gráfico según correspondiera.

Las guías de aprendizaje de la cátedra, bibliografía y apuntes de clase, sustentó la tarea que el alumno debía hacer de auto corrección del problema resuelto.

La puesta en común, supervisada por el profesor, consistió en escribir en el pizarrón, las respuestas y las soluciones correctas. Luego se analizaron las respuestas incorrectas, justificando las enmiendas y aclarando el por qué de cada error. Esto dio lugar a un debate entre los alumnos, quienes expusieron sus puntos de vista, leyeron nuevamente el material de información, analizaron, compararon, revisaron conceptos previos necesarios, asociaron ideas, infirieron y transfirieron lo aprendido a situaciones nuevas, creando un clima de trabajo y estudio, muy enriquecedor.

Se considera que las producciones escritas, a través de las cuales los alumnos utilizan el lenguaje natural para expresar ideas matemáticas, son parte de la resolución del problema propuesto. Dominar un concepto implica explicarlo con claridad y aplicarlo en el momento oportuno. Cuando los alumnos desarrollan discursos con interacción de lenguajes, logran un aprendizaje que trasciende el campo matemático e invade el comunicacional.



Figura 1. Interacción de lenguajes.

Al finalizar la tarea, se debía entregar ésta en forma individual, prolija y con letra legible a los docentes de la Asignatura. La evaluación consiste en el análisis de los discursos escritos por los alumnos como resolución del problema. Los componentes e indicadores utilizados se detallan en la Tabla 2, Ref. [7].

Los resultados superaron las expectativas; hubo una muy buena respuesta por parte de los alumnos participantes, lo que llevó a pensar que el trabajo realizado fue exitoso. Se advirtió un notable mejoramiento en el discurso escrito, la comprensión de los temas y su aplicación a la resolución de problemas específicos.

Tabla 2. Componentes e indicadores

Componente	Indicadores
Coherencia	
Intratextual	Repeticiones, contradicciones, insuficiencia de ejemplos, insuficiencia de argumentos, desorden, ambigüedad, información insuficiente o excesiva, falta de claridad-inadecuación respecto al objetivo comunicativo
Extratextual	Coincidencia entre el procedimiento descrito a través del texto y el llevado a cabo en la solución gráfica
Ortografía	Uso correcto de las palabras y signos auxiliares, propias del castellano en general y del lenguaje matemático en particular, uso correcto de notaciones.
Vocabulario	Empleo de palabras que no son usuales en el lenguaje habitual del sujeto, precisión en la utilización adecuada de las palabras, oportunidad de su empleo en el desarrollo de su idea o de su situación en la frase.
Creatividad en la solución de problemas comunicativos	
	Utilización de sinónimos cuando no se recuerda una palabra específica. Construcción de definiciones convenientes. Caminos alternativos.

Tabla 3. Resultados de la experiencia

	Experiencia		
	Lenguaje Simbólico	Lenguaje Coloquial	Lenguaje Gráfico
Bien	85%	30%	83%
Mal	11%	51%	6%
+/--	4%	19%	11%

- Dos experiencias didácticas similares se llevaron a cabo en las Facultades de "Ciencias Exactas, Físicas

y Naturales" e "Ingeniería" de la UNSJ, en las carreras Licenciatura en Biología e Ingeniería. Estas experiencias se trabajan como réplica de la anterior, respetando el contexto.

Las actividades curriculares, se desarrollaron en las asignaturas Bioestadística y Estadística, respectivamente, empleando las NTIC (nuevas tecnologías de la información y la comunicación). En cada sesión se utilizo un software específico de Estadística, así como otros recursos tecnológicos apropiados para el desarrollo de los temas elegidos.

El diagnostico de la zona y de la población, el cual se realiza con la técnica e instrumentos expuestos anteriormente, no presenta diferencias significativas con el obtenido en la experiencia realizada en las asignaturas Cálculo y Matemática II, expuesta anteriormente.

La planificación y realización de esta actividad, tiene como propósito observar desde un lugar concreto, el aporte a la adquisición de la competencia comunicacional desde la asignatura Estadística, respetando el entorno.

Se estudiaron y analizaron dos grupos, uno que trabajó en Estadística sin usar NTIC y otro usándolas.

El trabajo de los alumnos, se orientó a la realización de un estudio profundo sobre las variables, fundamentos teóricos de los métodos estadísticos a utilizar y planificación del análisis que pretenden realizar antes de la construcción o recogida de datos. La resolución de problemas, es el medio elegido para la tarea. La evaluación se realizó sobre el análisis de un informe, teniendo en cuenta los componentes e indicadores de la Tabla 2.

La habilidad para producir informes comprensivos y correctamente estructurados, donde la información estadística se incorpore y presente adecuadamente apoyando la argumentación, será de utilidad en su vida profesional y un medio para aprender a comunicarse en forma escrita utilizando los procesadores de texto.

Los temas seleccionados para la experiencia en la Facultad de Ingeniería, en la asignatura Estadística fueron: Estadística Descriptiva, Probabilidad, Variable Aleatoria Discreta y Variable Aleatoria Continua. Distribuciones.

Las clases estuvieron destinadas a un grupo de 50 alumnos de segundo año en Ingeniería Electrónica y Agrimensura, a cargo de un profesor titular, un jefe de trabajos y un ayudante alumno.

Las clases se realizaron en el Gabinete de Computación con el desarrollo teórico – práctico de los contenidos utilizando el cañón de proyección y presentaciones en Power Point. Los temas desarrollados fueron enviados en archivos de texto (Word) vía e-mail a los alumnos, con posterioridad a la clase respectiva. Los alumnos comenzaron a resolver los problemas en forma manual, con calculadora científica y tablas estadísticas, corroborando los resultados utilizando el software Statgraphics. Al aumentar la complejidad fue conveniente resolverlos con el software. El informe de sus trabajos, fue evaluado teniendo en cuenta los componentes e indicadores de la Tabla 2.

Los temas seleccionados para la experiencia en la Facultad de Ciencias Exactas, en la asignatura Bioestadística fueron: Estadística Descriptiva, Inferencia estadística: Estimación y Prueba de Hipótesis, Correlación y Regresión

Se trabajó con un grupo de 25 alumnos a cargo de un profesor adjunto, un Jefe de Trabajos Prácticos y un ayudante alumno.

Las clases teórico-prácticas se desarrollaron en el aula, con tiza y pizarrón, utilizando calculadora científica y tablas estadísticas. Finalizado cada tema, se realizó una clase en el laboratorio de computación, donde en primer lugar se revisaron los contenidos vistos, utilizando el cañón de proyección y presentaciones en Power Point. Posteriormente estas diapositivas fueron enviadas a los alumnos por mail.

Se resolvieron situaciones problemáticas, especificas de la Biología, empleando el software InfoStat. Luego de realizada la puesta en común del análisis y conclusiones, los alumnos debieron elaborar y presentar un informe individual en un archivo de Word. La evaluación para los temas Prueba de Hipótesis, Correlación y Regresión, consistió en la presentación y defensa oral de la solución de una situación problemática, con datos de Biología utilizando todas las NTIC que consideraran adecuadas.

Sorteadas dificultades tales como, infraestructura de los gabinetes, relación docente-alumnos, que merecen un análisis aparte y centrando nuestro análisis en el aporte de estas experiencias, al logro de capacidades comunicacionales podemos decir que se evidenció un gran interés por parte de los alumnos, tanto en el aprendizaje del software, como en la interpretación de los resultados obtenidos y la expresión correcta de los mismos, tanto en informes escritos como en comunicaciones orales.

En Ingeniería, los alumnos evidenciaron capacidad para manejar software y utilizar material escrito, recibido en formato electrónico. Sin embargo, aunque estos alumnos ya habían cursado y muchos

aprobado Calculo I y II o Matemática I y II, presentaron dificultad en la lectura e interpretación de enunciados.

En Ciencias Exactas, si bien la infraestructura del gabinete fue adecuada para la cantidad de alumnos, tuvieron mayor dificultad y requirieron más tiempo, para aprender a manejar el software estadístico y los recursos informáticos necesarios.

La evaluación oral permitió, en la discusión y análisis de situaciones problemáticas concretas, revalorizar la importancia de la comunicación en todas sus formas.

8 RESULTADOS Y RECOMENDACIONES

Rescatar y respetar la situación concreta del grupo humano con el que se trabaja, permite una educación matemática adecuada a su madurez y conocimientos previos, favoreciendo el despertar de las capacidades adquiridas en el los años anteriores.

La resolución de problemas como medio, no como fin, es una estrategia didáctica, la cual contribuye al desarrollo de todas las capacidades, en particular la comunicacional, que desde el área matemática se desea trabajar. Además es factible de implementar y es un paso importante en el camino de la formación por competencias.

Toda actividad de aprendizaje, debe organizarse utilizando diversos materiales escritos, gráficos, informáticos, entre otros. De esta manera, se abordan diferentes modos de comunicación y se aporta al desarrollo de la competencia comunicacional.

Los claustros docentes, aunque deseosos de mejorar el rendimiento de sus alumnos, tanto en el grado como en el posgrado o en el ejercicio de su profesión, mantienen una postura alerta ante este nuevo reto educativo.

Para afrontar este cambio de una manera posible y placentera, en el área matemática sugerimos una reasignación de roles a los contenidos, problemas y proyectos como estrategias didácticas y una reconsideración de los indicadores de logro, con el fin de adecuar los sistemas de evaluación a la formación en competencias.

El fácil acceso a un modelo por competencias, puede iniciarse priorizando una competencia y trabajándola a lo largo de todo el currículo en forma horizontal y vertical.

Abordar la resolución de problemas como un medio, no como un fin, contribuye al desarrollo de diversas capacidades, entre ellas la de comunicarse, y es una actividad de fácil implementación a lo largo del currículo.

La Educación Matemática brinda un espacio de privilegio, para contribuir al logro de competencias genéricas, tecnológicas, políticas y sociales requeridas por el perfil profesional de los egresados de las Carreras de Ingeniería.

REFERENCIAS

[1] A. Catalano, S. Avolio De Cols , M. Sladogna, Diseño curricular basado en normas de competencia laboral: conceptos y orientaciones metodológicas. Buenos Aires: BID/FOMIN; CINTERFOR. 2004S

[2] G. Le Boterf, Ingeniería de las competencias, Gestión 2000 S.A., 2001

[3] De La Torre et al. Bases y Fundamentos de la Investigación Educativa, Barcelona, 1998.

[4] L. Stenhouse, La investigación como base de la enseñanza, Morata (Ed.), Madrid, 1984.

[5] J. Murillo et al, Un modelo de análisis de competencias matemáticas en un entorno interactivo, 2001

[6] P. Nesher, Posibles relaciones entre lenguaje natural y lenguaje matemático en Matemáticas y educación. Retos y cambios dcsde una perspectiva internacional, España:Graó, 2000.

[7] M. Canale, De la competencia comunicativa a la pedagogía comunicativa del lenguaje en Competencia comunicativa, Edelsa (Ed.), Madrid:, 1995.

Diseño de laboratorios remotos

O. L. Marianetti, O. León & C. García Garino
omarianetti@itu.uncu.edu.ar & oleón@itu.uncu.edu.ar & cgarcia@itu.uncu.edu.a
Instituto Tecnológico Universitario, Universidad Nacional de Cuyo

RESUMEN: Los laboratorios remotos pueden constituir una alternativa válida para mejorar la apropiación de conocimientos por parte de los estudiantes. Algunos de los inconvenientes que presentan los laboratorios presenciales en cuanto a los procesos de enseñanza – aprendizaje se deben a que los recursos en los laboratorios suelen estar disponibles en determinados horarios pocas veces en la semana, elevado número de estudiantes en cada sesión o estudiantes que provienen de localidades ubicadas geográficamente distantes. Otra variable a tener en cuenta es la heterogeneidad de los alumnos en cuanto a edades y habilidades motoras, alumnos que provienen de instituciones de nivel medio donde no han tenido suficiente contacto con el uso adecuado de material de laboratorio. Por otra parte, considerando las características intrínsecas de los dispositivos con Internet embebida, los mismos constituyen una alternativa muy interesante en la construcción de laboratorios remotos, ya que facilitan los procesos involucrados en su diseño y puesta en marcha. En el siguiente trabajo se presenta un ejemplo de implementación de laboratorios remotos.

Palabras clave: laboratorios remotos – control embebido – internet

ABSTRACT: The remote laboratories can constitute an alternative valid to improve the appropriation of knowledge on the part of the students. Some of the disadvantages that present the actual laboratories as far as the education processes - learning must to that the resources in the laboratories usually are available in certain schedules not very often in the week, high number of students in each session or students who come from located localities geographically distant. Another variable to consider is the motor heterogeneity of the students as far as ages and abilities, students who come from institutions of mean level where they have not had sufficient contact with the adapted use of laboratory material. On the other hand, considering the intrinsic characteristics of the devices with embeddeb Internet, such they constitute a very interesting alternative in the construction of remote laboratories, since they facilitate the processes involved in its design and beginning. In the following work one appears a model of implementation for remote laboratories.

Key Words: remote laboratories – embedded control – internet

1 INTRODUCCIÓN

La optimización de recursos materiales y humanos es uno de los motivos tenidos en cuenta por aquellas instituciones que han desarrollado experiencias en laboratorios remotos.

Los laboratorios remotos que utilizan una interfase web para su implementación son relativamente nuevos. Algunos ejemplos incluyen verificación de circuitos analógicos, laboratorio de medidas remoto, control de robots, otros. Los componentes de estos sistemas son un usuario remoto con una conexión a Internet, un servidor web y un equipo que controla los componentes de laboratorio sobre los que se experimenta. [1]

En la arquitectura de un laboratorio remoto se requiere un conjunto importante de componentes: herramientas de gestión (administrador de bases de datos para gestionar: datos de usuarios, reserva de recursos, archivos de experiencias o trabajos prácticos), herramientas de apoyo o soporte (páginas dinámicas que permitan seleccionar distintos módulos o experiencias y que posibiliten interactuar con los dispositivos físicos del laboratorio, material multimedial que ayude a la mediación de los contenidos desarrollados en el módulo o la experiencia), herramientas de acceso remoto (hardware y software que permitan el acceso remoto interactivo a las herramientas y dispositivos del laboratorio físico) y hardware de control de los dispositivos físicos del laboratorio. [2]. Ver Fig. 1.

Estos requerimientos hacen de los laboratorios remotos uno de los entornos didácticos que más recursos tecnológicos necesitan, ya que en el caso de los laboratorios virtuales la interactividad del alumno con los recursos virtuales se logra con herramientas de software. En los laboratorios remotos, además de los recursos de gestión, apoyo y acceso se debe considerar la interacción del usuario con los recursos físicos. Se hacen necesarios componentes de hardware para materializar este requerimiento. [3]. Una posibilidad interesante está dada por la tecnología de los sistemas embebidos que ha permitido integrar en una sola pastilla de silicio o en un simple módulo, gran parte de las unidades funcionales de un sistema digital.

Esto significa que en un solo circuito integrado (SOC: system on chip) [4] o en un módulo, se incorpora, además de la electrónica necesaria para la ejecución de instrucciones de lenguaje de máquina, aquel hardware que permite la gestión de operaciones de entrada-salida en diferentes modos de transferencia, ya sea mediante simples registros de almacenamiento temporario (puertos) o interfaces de comunicaciones que soportan diferentes protocolos (interfaces seriales o ethernet).

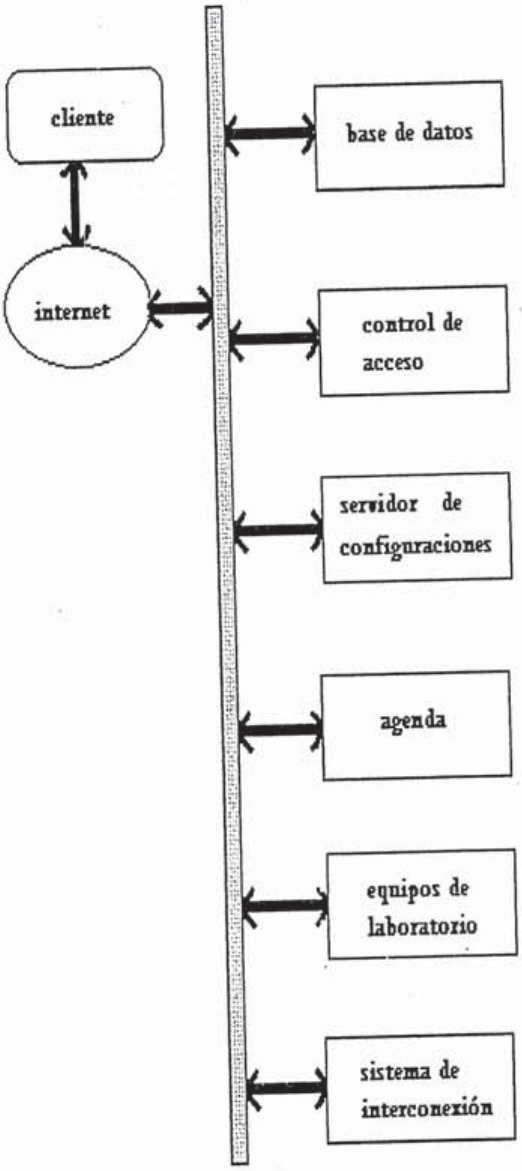


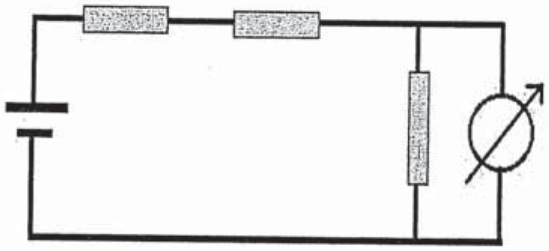
Figura 1. Componentes de la arquitectura de un laboratorio remoto.

También algunos de estos dispositivos cuentan con administración de memoria y sistemas de archivos. Las especificaciones pueden variar según los fabricantes; sin embargo todos tienen en común la integración de las funciones más importantes que necesita un sistema digital que permita interactuar con el medio exterior mediante la adquisición de datos, la toma de decisiones y la actuación sobre

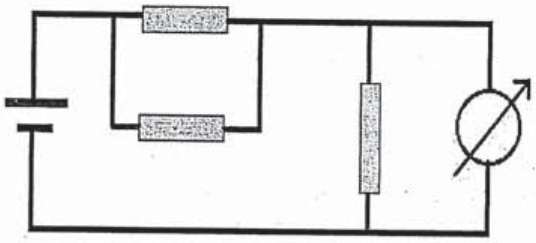
elementos de control que modifiquen las condiciones de su entorno. Actualmente existe una importante oferta de dispositivos con Internet embebida y los costos se tornan accesibles. Algunos ejemplos son los desarrollados por: Rabbitt, Net Silicom, Microchip, entre otros.
Considerando las características intrínsecas de estos dispositivos con Internet embebida, los mismos constituyen una alternativa muy interesante en la construcción de laboratorios remotos, ya que facilitan los procesos involucrados en su diseño y puesta en marcha.

2 EJEMPLO BÁSICO: SIMULACIÓN DE "PRÁCTICAS REMOTAS SOBRE CIRCUITOS ELÉCTRICOS SENCILLOS"

El siguiente ejemplo es una simulación del diseño de un laboratorio remoto para prácticas sobre circuitos eléctricos sencillos. El punto de partida son los recursos físicos.
a) Laboratorio físico:
Los recursos físicos para las prácticas son: resistencias eléctricas, voltímetro y fuente de alimentación. Las prácticas que se realizan tienen que ver con el comportamiento de los circuitos eléctricos serie y paralelo. Ver Fig. 2.



circuito serie



circuito paralelo

Figura 2. Circuitos eléctricos básicos

Localmente la práctica consiste en armar las dos configuraciones y registrar o leer las indicaciones del voltímetro. Conociendo los valores de la tensión de alimentación, las resistencias y la lectura, aplicando la ley de Ohm, se pueden obtener conclusiones respecto del funcionamiento de los circuitos serie y paralelo. Para llevar este ámbito a un entorno remoto, se debe disponer de componentes que permitan modificar la conexión de los elementos del circuito. Ver Fig. 3.

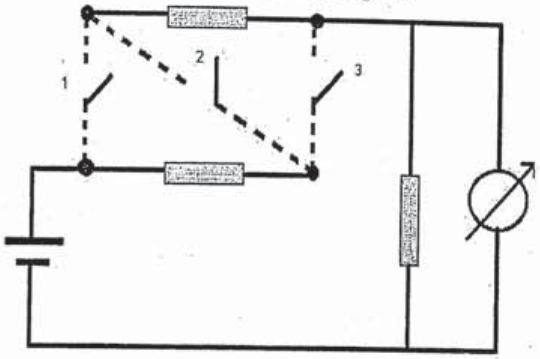


Figura 3. Circuito configurable

Los interruptores 1, 2 y 3 permiten la configuración del circuito en serie o en paralelo. Mientras los interruptores 1 y 3 permanecen abiertos y 2 se encuentre cerrado se está en presencia de un circuito serie. Si 1 y 3 se cierran y 2 se abre se obtiene un circuito paralelo. Mediante la lectura de la tensión de salida en el voltímetro conectado en paralelo con la resistencia de carga se puede analizar el comportamiento de los dos tipos de circuitos. Estos conmutadores pueden ser los contactos de reles. El control de los mismos se puede implementar de modo automático mediante algún sistema digital, como por ejemplo los bits de salida de un registro puerto de un microcontrolador, los que se conectan a la base de un transistor que excita la bobina de los reles. Ver Fig. 4.
El dato escrito en el registro (puerto) del microcontrolador configura la conexión paralelo (dato =101) o serie (dato = 010) del circuito físico. El dato depende del código que se graba en la memoria flash del microcontrolador. Ver Fig. 5. La configuración de la práctica depende del código. Si los diferentes códigos se pueden elegir, se podrán configurar diferentes ejercicios. Si el microcontrolador tiene características de control embebido, los códigos se pueden embeber en el mismo y entonces el alumno podrá seleccionar la práctica y reconfigurar los componentes según lo que desea experimentar.

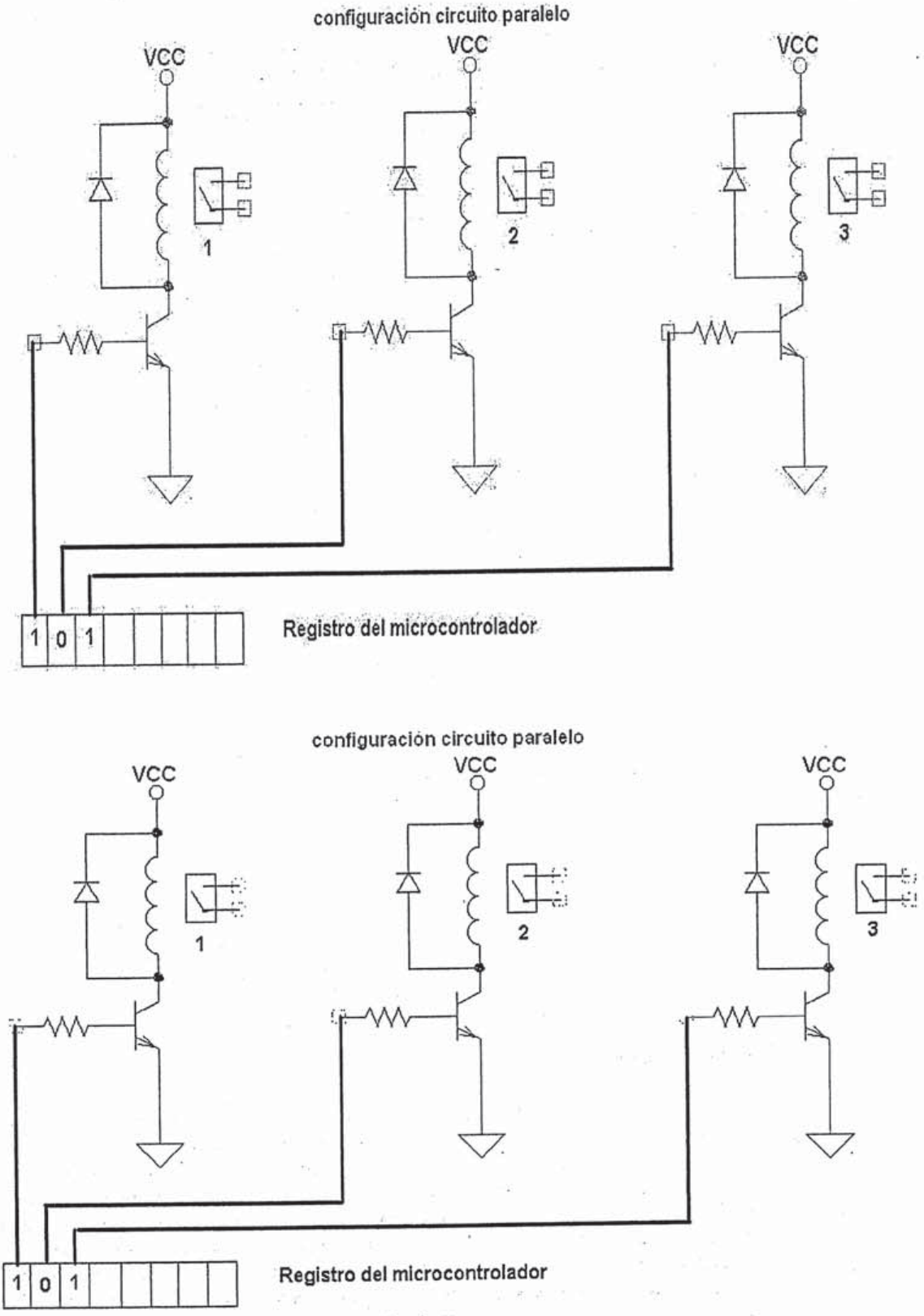


Figura 4. Control de configuración de circuitos básicos

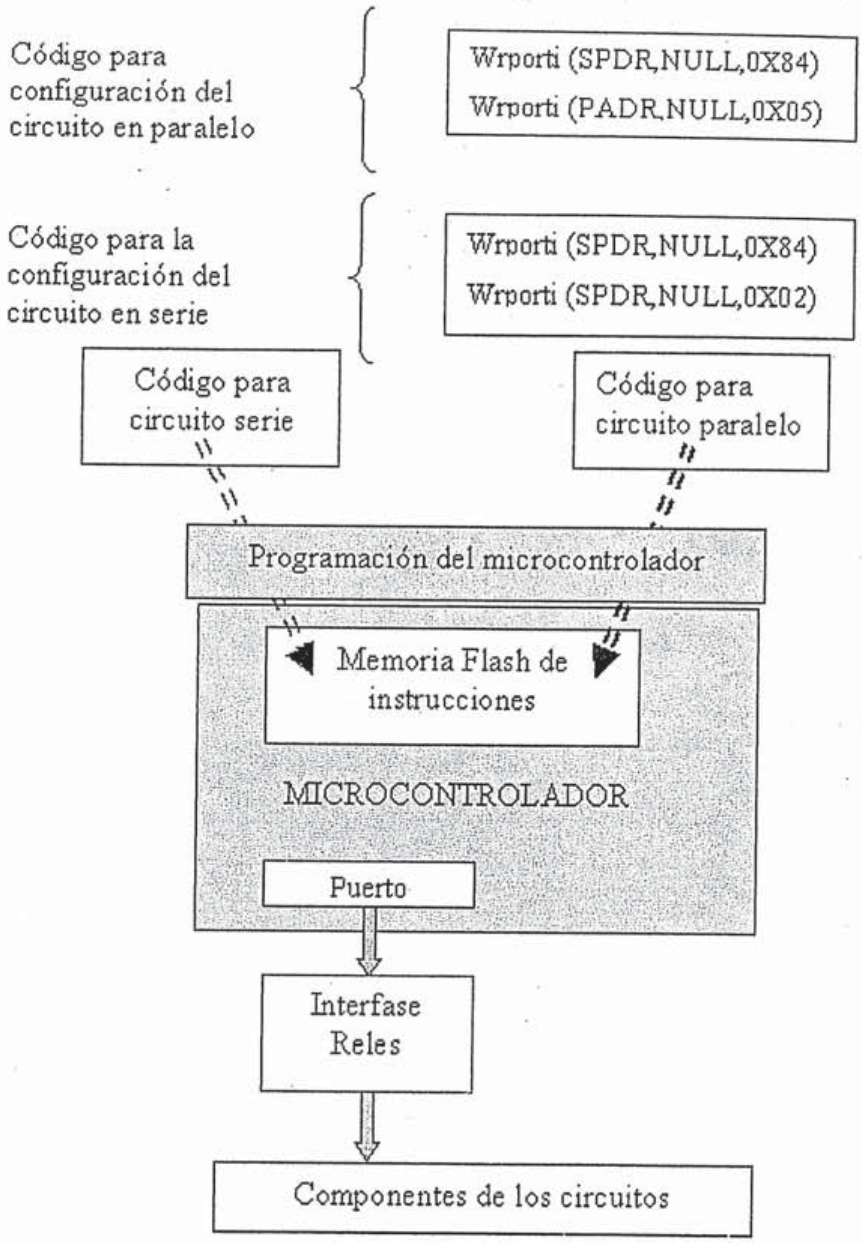


Figura 5. Programación de la configuración

El alumno obtiene la lectura del instrumento mediante un sistema de adquisición de datos, en este caso un conversor analógico – digital. El dato resultante de la conversión que se lleva a cabo en este componente se transfiere a uno de los puertos del microcontrolador para su procesamiento.
Alternativamente, dicha lectura se podrá alcanzar visualmente a través de un sistema de video, como una webcam. Ver Fig. 6.
La aplicación que permite acceder a los recursos físicos se procesa en una computadora localmente o puede ejecutarse de modo remoto con una arquitectura cliente – servidor.
Además del acceso a los dispositivos físicos, se pueden incorporar algunas herramientas para el control de acceso, agenda de actividades y reservas de recursos, ya que se hace necesario administrar el laboratorio, también un sistema de bases de datos para el seguimiento de alumnos y material de apoyo. Para todas estas funciones se puede recurrir a algún sistema de aulas virtuales ya desarrollado, de manera de aprovechar su funcionalidad. [5]

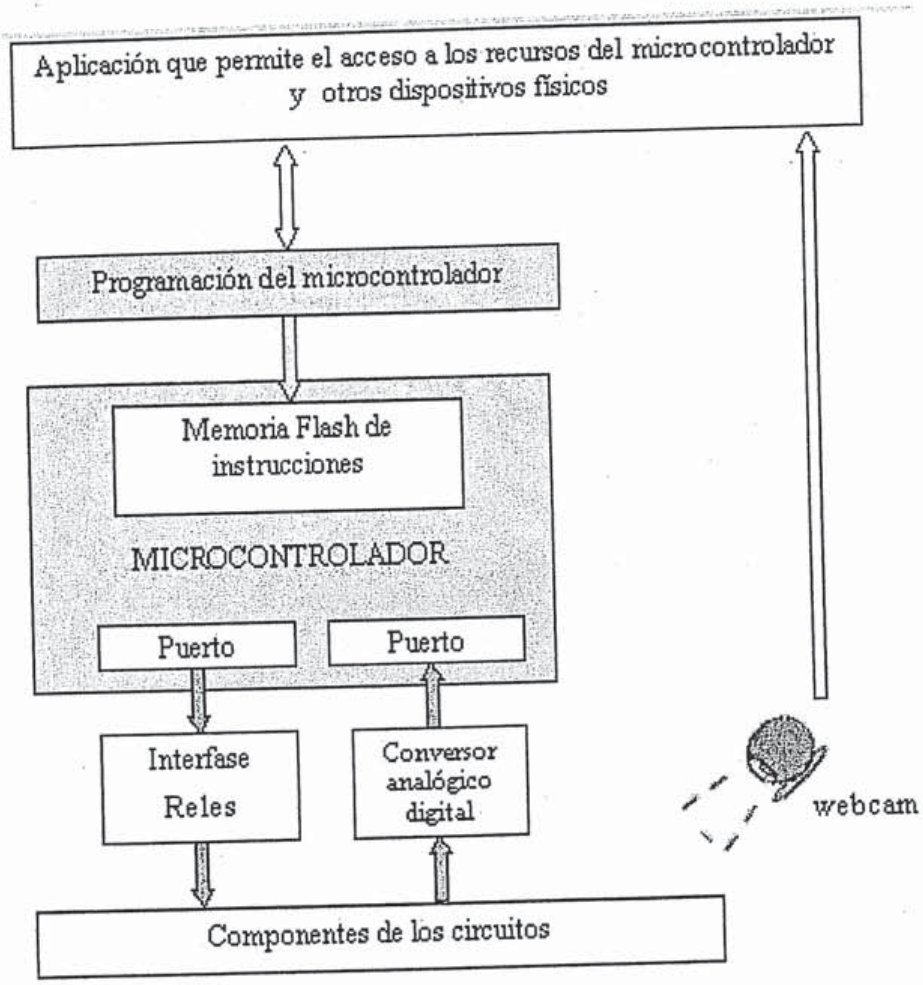


Figura 6. Acceso a los recursos físico

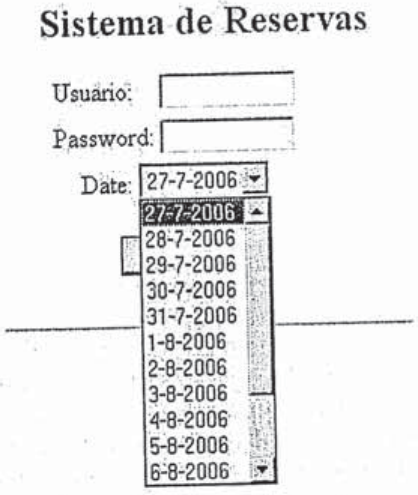


Figura 7. Solicitud de reserva de recursos

En general todos los entornos de aula virtual presentan utilidades que implementen un control de acceso restringido a usuarios registrados, mediante la utilización de una clave de acceso. Para el caso particular de un laboratorio remoto se debe desarrollar un sistema de reservas. Ver Fig. 7. De esta manera el usuario realiza la reserva de los recursos. En el caso que en la fecha y horarios seleccionados los recursos estén reservados, el sistema debe informar para que el usuario intente nuevamente con otra fecha y horario. Si los recursos están disponibles se permite el acceso a la página del laboratorio remoto en la cual se selecciona la práctica que el alumno quiere desarrollar, u otras funciones disponibles (documentos teóricos, ejercicios, enlaces recomendados, foros). Ver Fig. 8. En este caso solamente se elige entre un circuito serie o un circuito paralelo mediante uno u otro hipervínculo.

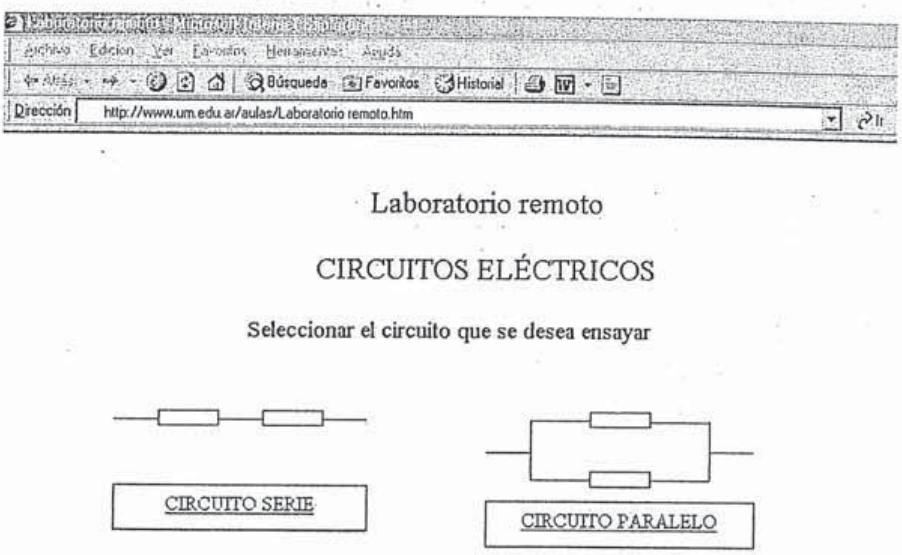


Figura 8. Página de acceso a la ejercitación remota

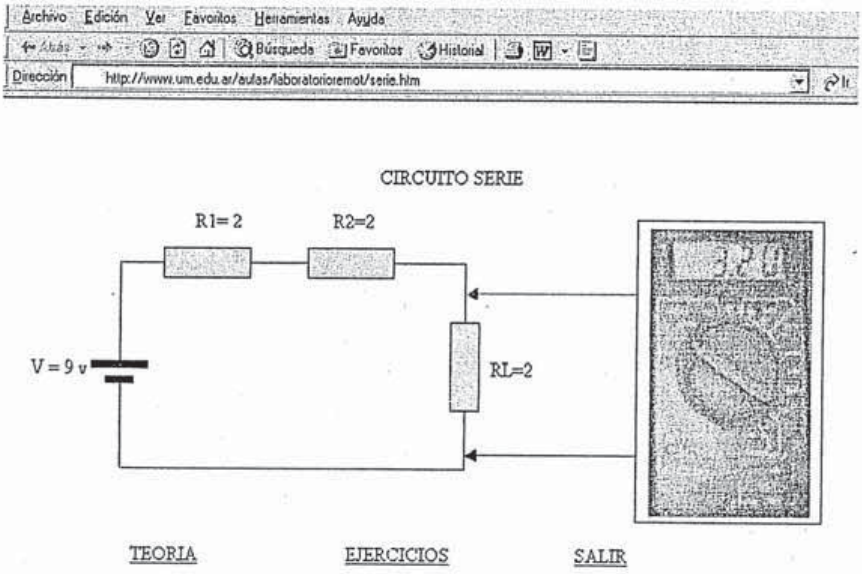


Figura 9. Página de práctica de circuito serie

Cada uno de los hipervínculos dirige a una página html como la que se presenta en la Figura 10. En la misma se representa el circuito ensayado y el resultado de la medición en un instrumento.
Estos hipervínculos pueden llamar a funciones que ejecuta el microcontrolador. De esta manera al seleccionar la página para el circuito serie o el paralelo se configura el sistema de interconexión, proceso que se lleva a cabo en modo transparente para el usuario.

La visualización de la medición del instrumento puede obtenerse de un sistema de captura de video o que el microcontrolador lea la salida de un conversor analógico digital en uno de sus puertos de entrada – salida. También la página ofrece links a material de teoría del tema objeto de estudio y a ejercicios que permitan complementar la experiencia la experiencia de laboratorio.
Integrando todos los componentes descriptos se está en presencia de un entorno remoto multiusuario. En

el diseño de esta simulación se ha seguido un proceso de abajo hacia arriba y se han sumado módulos con distintos servicios, algunos desarrollados especialmente para este entorno en particular y otros que pueden estar implementados previamente. Esta característica es interesante ya que permitiría una implementación modular, de manera de incorporar o modificar funciones al entorno remoto.

La complejidad de esta estructura comparada con la simplicidad de las prácticas sugeridas en la simulación descripta en este artículo pueden poner en dudas o plantear reservas respecto de la validez de este tipo de implementación. Pero se debe tener en cuenta las ventajas de los laboratorios remotos citadas anteriormente y que, con los recursos intrínsecos que contienen los microcontroladores actuales, el tipo de experiencias y ejercicios de laboratorios que se pueden implementar configuran un amplio espectro de posibilidades en relación a la diversidad y la cantidad de las mismas.

3 EJEMPLOS

En el marco de convenios existentes entre el laboratorio LAPIC del ITU y el Instituto de Microelectrónica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Mendoza, se ha desarrollado un sistema para la implementación de prácticas de laboratorio que satisface las condiciones exigidas para un entorno de laboratorio remoto.

Se diseñó un conjunto de experiencias que permiten prácticas remotas tales como programación de microcontroladores en lenguaje C [6] [7], programación de Dispositivos Lógicos Programables utilizando lenguaje VHDL [8] y verificación del funcionamiento de circuitos digitales básicos [9]. Este conjunto de prácticas se puede aplicar a contenidos relacionados con asignaturas como Electrónica Digital, Arquitectura de Computadoras, Programación y Diseño Lógico.

4 CONCLUSIÓN

El objetivo que tiene el proyecto descripto en el artículo es intervenir en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Se espera lograr una mejora en los tiempos de aprendizaje, en la calidad de los conocimientos adquiridos y en las posibilidades de acceso a la tecnología utilizada.

La realidad actual, hace que la retención de los alumnos dentro del sistema educativo, se vea dificultada por razones de muy diversa índole. Mediante el proyecto se espera implementar alternativas de enseñanza, que contemplen las diferencias entre el alumnado, posibilitando la llegada a un número mayor de ellos.

Un entorno de enseñanza como el descripto, no invalida el desarrollo de clases con metodologías tradicionales, sino que es un complemento a fin de contemplar la diversidad de situaciones de aprendizaje que se presentan.

La experiencia llevada a cabo en estos primeros pasos respecto del montaje de prácticas remotas, permite afirmar que la aplicación de los dispositivos con Internet embebida en la construcción de laboratorios remotos es una muy buena opción, ya que facilitan los procesos involucrados en su diseño y puesta en marcha.

REFERENCIAS

[1] E. Bagnasco, A. Scapolla, A Grid of Remote Laboratory for Teaching Electronics. 2nd International LeGE-WG Workshop on e-Learning and Grid Technologies, A Fundamental Challenge for Europe, París, Francia, P. Ritrovano et al. (Eds), BCS, 3 y 4 de Marzo de 2003.

[2] S. Dormido: Laboratorios virtuales y remotos de control automático, Análisis, diseño y desarrollo, Proyecto DPI 2001-1012, Valencia 2004.

[3] Hurley W., Kwan Lee C., Development, Implementation and Assessment of a Web-based Power Electronics Labortory, IEEE Transactios o education, p. 531-546, vol. 48, nº4, Nov. 2006.

[4] Badawy W., Jullien G., System-on-chip for Real-time Applications, Springer, 2002.

[5] Claroline.net. Let´s build knowlegde together. http://www.claroline.net, 2008.

[6] RabbitCore Modules, NetworkingSolutions TCP/IP, Documentation on line, Rabbit Z-World, 2006.

[7] DynamicC Function Reference, Documentation on line, Rabbit Z-World, 2007

[8] http://www.altera.com/literature/lit-index.html, 2006.

[9] O. Marianetti, O. León & C. García Garino, Aplicación con dispositivos con Internet embebida en laboratorios remotos, Experiencias Docentes en Ingeniería, V CAEDI, ISBN 987-05-1360-3, 2006.

Péndulo de Foucault: Diseño y construcción de pequeños péndulos con sistemas de recuperación

B. Garcia[1,2], M. Videla[1,3], D. Yelós[1] & E. Franco[1]

bgarcia@frm.utn.edu.ar & mvidela@frm.utn.edu.ar & pupi_dly@yahoo.com.ar& edgardofranco@gmail.com

1. *Laboratorio Pierre Auger Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional*
2. *CONICET*
3. *Becaria doctoral CNEA*

RESUMEN: Se presentan los detalles de construcción de un péndulo de Foucault de 180 cm de longitud. Poder diseñar un péndulo de esta dimensión, significa compensar el efecto de amortiguación de la oscilación, producida por problemas mecánicos y rozamiento con el aire. En el presente proyecto se eligió para el sistema de recuperación un control electrónico que, a partir de un sensor mecánico envía un pulso cada vez que la masa alcanza una posición de máxima amplitud de oscilación. Dicho pulso activa una llave que por algunos instantes permite que circule corriente a través de un solenoide y se genera un campo magnético capaz de proveer la energía necesaria para mantener el movimiento oscilatorio por tiempo indefinido.

Palabras clave: péndulo de Foucault - rotación terrestre - oscilación continua - sistema de recuperación

ABSTRACT: Construction of a pendulum of Foucault 180 cm long. Being able to design a pendulum of this dimension, it means minimizing the effect of damping oscillation caused by mechanical problems and friction with the air. For this project, the lost energy is restored by an electronic control that generates a pulse every time the pendulum reaches a maximum position, by means of a mechanical sensor. This activates a switch that allows a current to flow through a solenoid generating a magnetic field capable of providing the extra energy needed to keep moving indefinitely the pendulum.

Key Words: Foucault Pendulum - earth rotation - swing - recovering system

1. INTRODUCCION

El Péndulo de Foucault constituye uno de los experimentos más significativos de la Historia de la Ciencia. Contribuyó para probar, en 1851, el movimiento de rotación terrestre y desde el punto de vista del diseño, consiste en una de las demostraciones más elegantes de un fenómeno natural.
El movimiento de un péndulo que oscila libremente durante algún tiempo permite realizar una observación apreciable de la rotación de la Tierra. La velocidad de rotación es distinta según nos encontremos más cerca del ecuador o de los polos, por lo tanto es función de la latitud en la que se encuentre el péndulo. Debido a limitaciones físicas inevitables, una masa oscilando no podrá mantener la amplitud de su movimiento permanentemente. La fuerza de fricción propia del aire determinará que el movimiento se vuelva subamortiguado, y eventualmente la esfera se detendrá. Para evitar esto se debe construir un sistema capaz de proveer a la masa de aquella energía perdida. Es posible obtener de manera sencilla las ecuaciones que representan el movimiento del péndulo (Ver Kruszelnicki [1], Nickel [2]).
El presente experimento consiste en hacer oscilar una masa de forma esférica continuamente. La lenta precesión del moviendo de la esfera, resulta una prueba convincente del movimiento diurno de la Tierra.

2. JUSTIFICACION

El proyecto Péndulo de Foucault es parte de las actividades propuestas por el Nodo Nacional Argentino para el Año Internacional de la Astronomía 2009 y es auspiciado en todo el mundo por la Unión Astronómica Internacional.
En una primera instancia, se pensó en este proyecto como parte de la construcción de un sistema de recuperación para el péndulo que se encuentra ubicado en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires (Cabrera [3],). Dicho péndulo mide 27.3 m de altura, tienen una esfera de 90 kg y su amplitud de oscilación es de 2.6 m (2*A).
Un péndulo en condiciones ideales debería mantener su oscilación en forma permanente; esta no es la situación de un péndulo real que está sometido a fuerzas de fricción y fuerzas mecánicas que se oponen a su movimiento. Por lo anterior, un péndulo real no puede mantener sus oscilaciones en forma permanente y su amplitud disminuye hasta detenerse. El sistema de recuperación tiene como por objetivo anular estas fuerzas y mantener al péndulo oscilando con una amplitud más o menos constante (Crane, [4]).
Como etapa preliminar, y para poder estudiar el comportamiento del sistema en general, se construyo en el laboratorio Pierre Auger de UTN Regional Mendoza, un péndulo de Foucault con un sistema de recuperación basado en el diseño utilizado por Sinndott [5].
Se muestran en esta presentación, los detalles de diseño para un péndulo de dimensiones reducidas (largo de la cuerda: 1,8 m. peso de la esfera: 1.8 kgf), que parece ser el camino más adecuado para lograr el objetivo final asociado con un péndulo de 26 m, según los antecedentes que existen en la bibliografía (Crane[4]).
Frente a la posibilidad de construcción de pequeños péndulos de Foucault, este proyecto puede significar la fabricación e instalación de dispositivos similares en Museos de Ciencia, escuelas y lugares públicos, con lo cual, se acercaría a docentes, alumnos y audiencias en general, uno de los experimentos más significativos de la Historia de la Ciencia, el cual demostró de manera ingeniosa, la rotación nuestro planeta.

3. DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1. Funcionamiento del sistema

Para la concreción de este proyecto, se eligió una esfera de 7,5 cm de diámetro y 1,8kgf. Esta esfera pende de un alambre tipo cuerda de piano, de 1,8 m de longitud y 0,5 mm de diámetro.
El funcionamiento del sistema está asociado con la acción de un solenoide, colocado directamente debajo de la posición central del péndulo. Para mantener el circuito oscilando, se aplica un pequeño pulso de corriente cada vez que el péndulo alcanza su posición máxima, más alejada de la vertical. Este pulso circula a través del solenoide generando en el mismo un campo magnético y entregándole al péndulo una energía extra que le permite superar las pérdidas por la fuerza de fricción con el aire y la fricción mecánica. Al funcionar el campo magnético solamente durante unos pocos instantes, estos pulsos

no tienen un efecto significativo en la dirección del movimiento del péndulo.
Para detectar en que momento la esfera se encuentra en la posición más lejana utilizamos un sensor de posición y el control del sistema se realiza a través de un circuito electrónico.
El centrado de la esfera se realiza mediante un sistema mecánico.
A medida que el tiempo transcurre, el movimiento de rotación de la Tierra puede ser visualizado en los grados que la esfera se desplaza respecto a su posición inicial.

3 2. Montaje del sistema

El montaje comenzó con una estructura metálica de soporte, de tres niveles: un nivel a 5 cm otro a 1,89 m y por último un nivel a 2 m, todos medidos respecto del nivel del suelo. Puede verse el detalle de la estructura en la Fig. 1. El nivel superior consiste en una base rectangular de madera de 15cm x 15cm de superficie y 1cm de espesor, en esta base se instaló un dispositivo capaz de sostener fijo y centrado al alambre tipo piano. En el nivel intermedio, al igual que en el caso anterior se instaló otra base cuadrada de madera de 16,7 cm x 16,7 cm de superficie y 1cm de espesor la cual en su centro posee un orificio y sobre este está atornillado el dispositivo sensor (arandela) (Ver Fig. 3). El nivel inferior consiste en una tercera base de madera de 60 cm x 60 cm de superficie y 1 cm de espesor. En ella se centró el transformador modificado T2 y sobre éste una superficie plástica de forma circular de 15cm de diámetro con una gradación cada 20° que permite medir la desviación del plano de oscilación de la esfera. Dicha esfera está colocada a 2 cm aproximadamente sobre el transformador y cuelga del cable tipo piano.
Los primeros ensayos se realizaron con una lata enlazada a un cable de acero de 1 mm de diámetro.

3.3. Mecanismo de sujeción

El mecanismo de sujeción debe asegurar a la esfera y mantenerla centrada respecto de toda la estructura. Está formado por un mandril de mini torno con un eje especialmente adaptado para fijarlo en la parte central de la base del nivel superior y un tornillo de ajuste (Fig. 2).
Esto permite, además, realizar un rápido y eficiente ajuste en la distancia de la cuerda para mantener una separación adecuada entre la masa del péndulo y la base donde está montado el transformador T2.

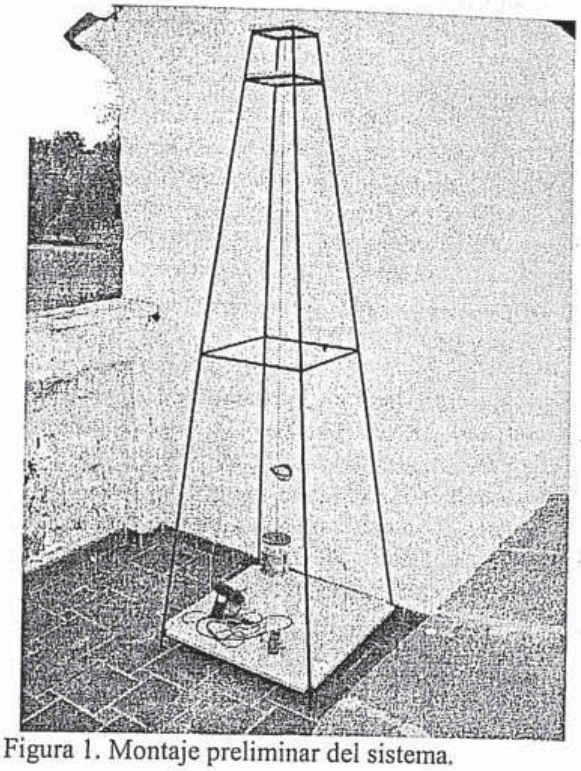


Figura 1. Montaje preliminar del sistema.

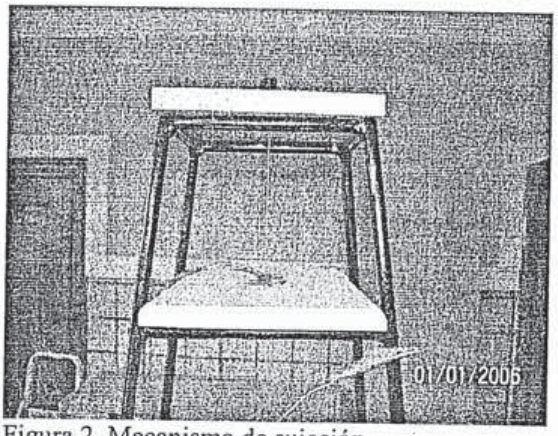


Figura 2. Mecanismo de sujeción

3.4. Sistema sensor

En la parte superior de la estructura para el péndulo se instaló una arandela de diámetro interno 7 mm que coincide con el centro de un orificio de diámetro 1mm realizado en una estructura de madera. La arandela esta atornillada a la madera para asegurar su inmovilidad.
Un cable que desciende hasta donde se encuentra el circuito electrónico está soldado a la arandela. Por otra parte, existe otro cable soldado al alambre antes

mencionado. Estos cables van conectados en el circuito en la posición del sensor (uno en cada orificio)
El cable de acero tipo cuerda de piano que sostiene a la esfera, pasa a través del orificio de la arandela.
De esta manera queda constituido el sensor.
Cada vez que la esfera llega a su máxima amplitud, el cable de acero que la sostiene entra en contacto con la arandela. El circuito en la rama de las resistencias se cierra y la corriente circula a través de las mismas.
Se utiliza cable de acero tipo piano porque es el que permite que exista la menor fricción posible entre éste y el aire; de esta manera, prácticamente no se perturba el sistema.
La arandela cumple otra importante función, ya que la fricción que la misma ejerce sobre el alambre evita que la esfera desarrolle una trayectoria elíptica, al limitar su desplazamiento.

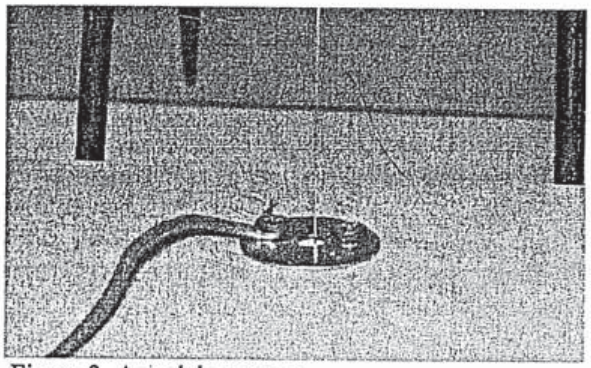


Figura 3. Arandela sensora.

3.5. Circuito electrónico

El SCR (Sillicon Controlled Rectifier) es una llave controlada por su terminal GATE. En un primer momento, el dispositivo esta estático, y el circuito inactivo, pues no existe ningún tipo de magnetización. El SCR se encuentra desactivado (abierto) por lo que no circula corriente por esa rama. El sensor también está desactivado (abierto) y por lo tanto tampoco circula corriente a través del mismo.
Al impulsar manualmente la esfera en una primera instancia, el sensor de posición es activado por primera vez. Circula corriente por la rama de las resistencias y por la entrada GATE del SCR lo cual lo enciende y permite que circule corriente a través de la bobina T2 (Figura 4) y de la lámpara. Esto originará un campo magnético que atrae a la esfera de acero.
Cuando el cable de acero deja de estar en contacto con la arandela, el SCR se apaga y deja de circular corriente, de esa manera la esfera pasa por sobre el solenoide sin sufrir ninguna disminución en su velocidad (más que la debida a la fricción). El movimiento sigue hasta que se alcance nuevamente la posición máxima y el SCR se active, lo que ocasionará nuevamente el campo magnético que atraerá a la esfera.
El sistema continúa así indefinidamente.
El diodo que se coloca en paralelo con el transformador sirve para que el transformador se descargue a través de él y de esta manera no quede cargado y se corra peligro de destruir el circuito.

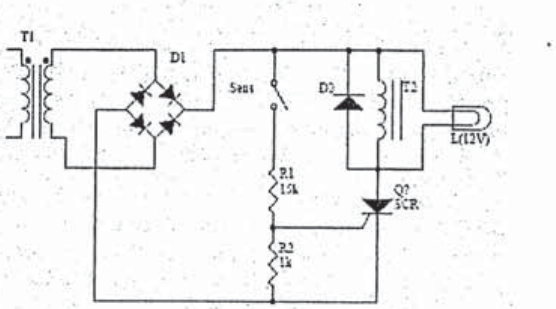


Figura 4. Circuito electrónico.

3.6. Circuito magnético

Para generar el campo magnético se utiliza el primario de un transformador. Este transformador debió ser modificado de manera tal de lograr direccionar el campo magnético por el hierro y a la vez permitir que una parte del flujo magnético, aquella que está en la parte superior del transformador T2 o solenoide, se cierre a través del aire, esto facilita que se alcancen distancias mayores con líneas de flujo magnético y se pueda afectar significativamente a la esfera. Esto trae consigo un inconveniente, ya que la intensidad de campo magnético se verá disminuida en cada punto.
Para lograr que el movimiento de la esfera pueda describir una circunferencia completa, debemos agregar en la parte superior del transformador una chapa (de algún material magnético) en forma de 2 círculos concéntricos. De esta manera el campo generado en la bobina se cierra a través del círculo exterior, abarcando los 360° del mismo.

3.7. Transformador de alimentación

Se comenzó a trabajar con un transformador de 15V- 1A, pero si bien este proporcionaba energía suficiente para alimentar toda la parte electrónica, resultó insuficiente para generar el campo magnético necesario para atraer la masa del péndulo.
La relación entre la corriente que circula por el bobinado y el campo magnético generado, luego de algunas simplificaciones se puede expresar como:

$$B = \mu\mu_0 NI/L \qquad (1)$$

Donde:
N = número de espiras.
I = corriente a través del bobinado.
L = longitud del circuito magnético.
μ_0 = permeabilidad del vacío.
μ = permeabilidad magnética relativa.

El transformador de alimentación fue reemplazado por uno de 24V- 1A y se obtuvo así el valor de corriente necesario (300 mA).
Se sabe que el solenoide posee un número de espiras determinado y una resistencia de continua proporcional a las mismas e inversamente proporcional a la sección del alambre con el que fueron realizadas. Por lo tanto, una vez fijados el número de espiras y el alambre a utilizar, la resistencia del mismo es fija y para aumentar la corriente circulando por él es necesario aumentar la tensión.

3.8. Solenoide

El solenoide fue construido a partir del primario de un transformador de 220V/24V y 60W. A este transformador se le quitaron las chapas en forma de "I" y se dispusieron la chapas en forma de "E" una al lado de la otra sin cambiarles la dirección (que es lo acostumbrado al realizar transformadores).
Se utilizo únicamente el primario del transformador, por lo que también fue retirado el secundario. . Una imagen del primer modelo de solenoide puede verse en la Fig 5. En la figura 6 se observa la gráfica del campo magnético de una bobina de 1000 vueltas, la misma se calculó sin tener en cuenta el núcleo magnético. Los valores que se muestran son ilustrativos.

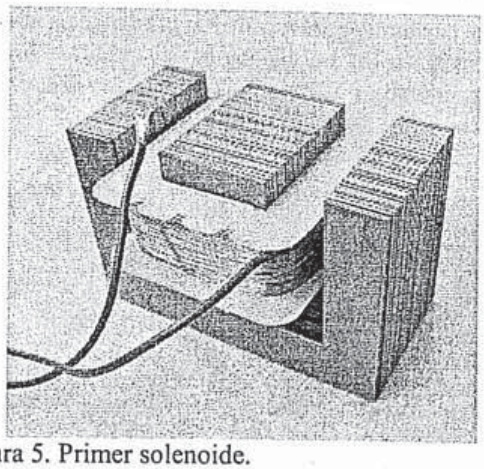


Figura 5. Primer solenoide.

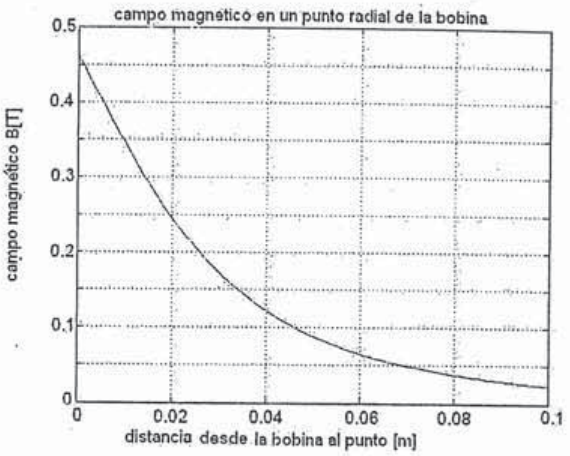


Figura 6. Campo magnético generado por un solenoide de 1000 vueltas y medido a una distancia x desde el fin del enrollamiento.

Al diseño original, se agregó, en la parte superior, una chapa (de material magnético) en forma de 2 círculos concéntricos. De esta manera el campo generado en la bobina se cierra a través del círculo exterior, abarcando los 360° del mismo.
Al realizar los primero ensayos se observó que el campo magnético generado no era suficiente para mantener a la esfera oscilando, incluso con los máximos niveles de corriente permitidos.
Para solucionar este inconveniente se desarmó otro transformador de similares características al ya utilizado y se unieron el primario de ambos en una misma forma de transformador. De esta manera se incremento el número de espiras al doble.
A partir de cálculos de transformador se llegó a la conclusión de que el número de espiras utilizadas era aproximadamente N = 4000 espiras.

La corriente que resultó, a partir de la resistencia propia de los bobinados y del circuito electrónico, circulando por el bobinado fue de 300 mA. (Ver Fig. 7 y 8).

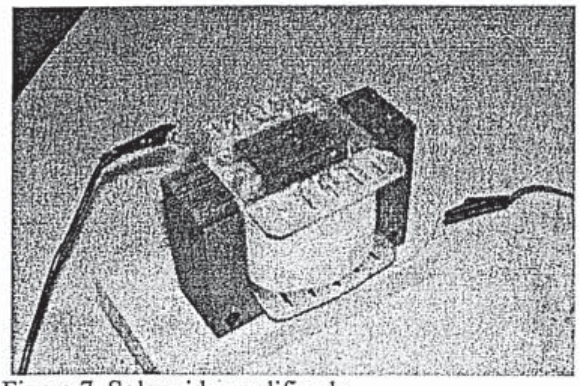


Figura 7. Solenoide modificado.

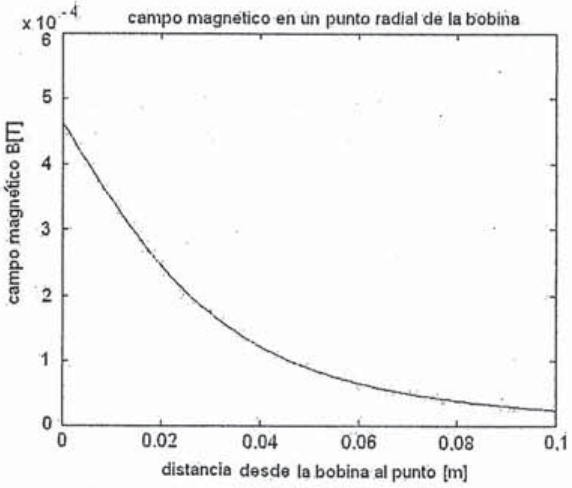


Figura 8. Campo magnético generado por un solenoide de 4000 vueltas y medido a una distancia x desde el fin del enrollamiento.

4. MEDICIONES

Una vez montado el péndulo se realizaron mediciones para comprobar el periodo de oscilación. El ángulo que describe el péndulo es de 4° o 0,0699 radianes. El seno de este valor es 0,0699 por lo que podemos usar la aproximación descubierta por Galilei para péndulos con oscilaciones de pequeña amplitud. La misma dice que el periodo de oscilación es independiente de la amplitud y es:

$$T=2.\pi.(L/g)^{(1/2)} \qquad (2)$$

Donde L es la longitud del péndulo y g la aceleración de la gravedad.
El cálculo teórico para nuestro péndulo es de 2,69 s. Las mediciones realizadas con cronómetro nos arrojaron el valor medio de 2,4 s. La medición del periodo se realizó midiendo 4 oscilaciones para disminuir el error.
Para verificar el funcionamiento del péndulo se procedió a medir la velocidad de rotación de la Tierra. Un punto de la Tierra situado en el ecuador gira a una velocidad de 15° por hora. Para un punto ubicado en otra latitud la velocidad es de 15° multiplicado por el seno de la latitud de ese punto. La latitud del péndulo es de 32,88° por lo que la velocidad que deberíamos medir es de 14,19° por hora. Esto nos indica que debemos observar en la hoja graduada que se sitúa sobre la bandeja circular un desplazamiento de 14° cada hora. Las mediciones realizadas arrojaron valores con errores por defecto, lo que indicó que el campo magnético no solo estaba impulsando la esfera sino gobernando la trayectoria de la misma ya que disminuyendo el campo magnético, modificando la distancia de la esfera a la bobina, el efecto disminuye.

5. CONCLUSIONES

Tal como se describió en secciones anteriores, fue posible armar la estructura de soporte para un péndulo de Foucault de pequeña dimensión, con sus respectivos niveles y dispositivos (Fig. 9).
El circuito electrónico, diseñado íntegramente en el Laboratorio Pierre Auger, está operando con excelente exactitud, y respecto a la parte magnética opera satisfactoriamente (Fig. 10).
La lámpara de control, fue reemplazada por un LED con su respectiva resistencia en serie de 2,4 Kohm. Este LED actúa como sensor y como reloj.
El diseño de las partes mecánicas permite realizar ajustes y variaciones en el péndulo para calibrar el mismo., posibilitando ajustar la longitud del hilo moviendo la esfera a diferentes distancias de la bobina. Esto posibilita controlar indirectamente la cantidad de energía que imprime a la esfera el campo magnético. La utilización de una cadena resistiva para controlar la corriente de la bobina también posibilita control sobre el campo magnético generado. Esta variabilidad permite estudiar el comportamiento del sistema de recuperación del péndulo.

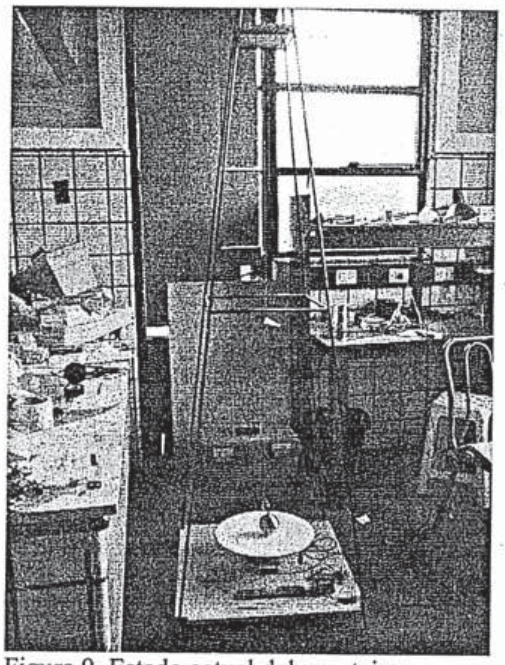


Figura 9. Estado actual del montaje.

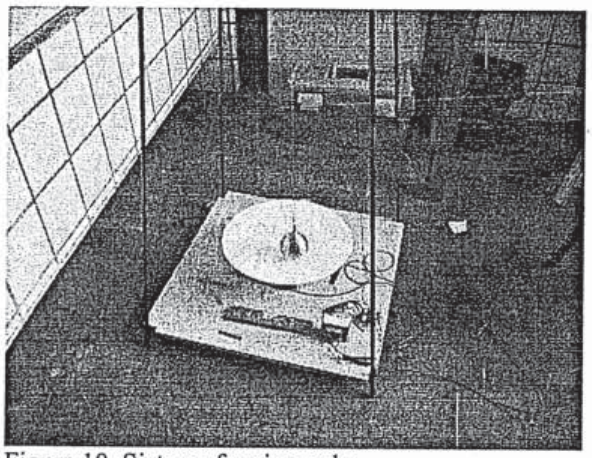


Figura 10. Sistema funcionando.

De las mediciones realizadas podemos concluir que la puesta a punto del péndulo es altamente dependiente del sistema mecánico, especialmente del centrado de las distintas bases. Actualmente se está estudiando un método para alinear las bases que elimine esta dependencia.

El proyecto, en su conjunto, se encuentra en funcionamiento de manera exitosa.

Desde el punto de vista del sistema de recuperación, podemos afirmar que este dispositivo es uno de los pocos existentes en el país.

Esta versión en escala de Péndulo de Foucault constituye el prototipo de diseño para el sistema de recuperación a ser instalado para el péndulo de 26 m de la Universidad de Buenos Aires, que constituye la segunda fase del presente proyecto.

REFERENCIAS

[1] Kruszelnicki, K.S., The Foucault Pendulum, Astralian Bradcasting Coorporation online, http://www.abc.net.au/surf/pendulum/default.htm
1996. (Página consultada en Junio de 2008)

[2] Nickel, B. The Foucault Pendulum, Physics Department, University of Guelph. http://www.physics.uoguelph.ca/foucault/F1.html
(Página consultada en Junio de 2008)

[3] Cabrera, R. Péndulo de Foucault, http://neuro.qi.fcen.uba.ar/ricuti/foucault/foucault.html
2006. (Página consultada en Junio de 2008)

[4] Crane, H.R.. Foucault Pendulum "wall clock" American Journal of Physics 63, (1) 33-39. 1995.

[5] Sinndott, R. W. Sky &Telescope, Vol 60. Num 4, pag 330.1980.

Hacia un modelo de desarrollo cognitivo del estudiante en el área de conocimiento tecnológico de electricidad, electrónica y robótica

E.Sierra, A.Hossian & C.Labriola
enriquesie@yahoo.edu.ar & hossi@jetband.com.ar
Regional Académica Confluencia, Universidad Tecnológica Nacional

M. Marilef, S. Giacolla & R. González
mmarilef@ciudad.com.ar
Facultad de Ciencias de la Educación – Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Comahue

RESUMEN: La extensa práctica docente de los autores permite formular un modelo teórico respecto de las etapas de desarrollo cognitivo en el campo disciplinar asociado a la electricidad, electrónica y robótica. Estas etapas se observan en el proceso de adquisición de los conocimientos, competencias y habilidades que le implican a un estudiante convertirse de novato a experto en la especialidad. Asimismo, cada una de estas etapas de madurez cognitiva tiene asociadas estrategias didácticas propias que, de ser aplicadas, contribuyen a afianzar al estudiante en la etapa de desarrollo en la que se encuentra al mismo tiempo que facilitan su pasaje a la siguiente. Si el estudiante recibe una enseñanza que es propia de una etapa de desarrollo posterior a su nivel de madurez, se desanimará y probablemente fracase en el proceso de convertirse en experto. Si en cambio, la propuesta didáctica contiene estrategias propias de una etapa inferior, es probable que el alumno pierda interés y se desmotive. Entonces, el desafío para el docente es detectar en qué etapa de desarrollo se encuentran sus estudiantes y utilizar metodologías de enseñanza acordes. Esto implicaría hacer tender los modelos educativos más hacia la personalización que a la estandarización.

Palabras clave: modelos cognitivos – desarrollo – estrategias – metodología– andamiaje

ABSTRACT: The practice of the authors allows for the formulation of a theoretical model that describes the stages of cognitive development that a student goes through in the knowledge domain related to electricity, electronics and robotics. These stages are observed in the process of knowledge, abilities and skills acquisition that implies for a student to become from novice to expert in the field. Also, each of these stages of mental maturity has associated its own didactic strategies that, when being applied, contribute to strengthen the student in the development stage and at the same time it facilitates his movement towards further stages of development. If the student receives a teaching strategy that belongs to a developmental stage which is further to his level of maturity, he will be discouraged and probably will fail in the process of becoming an expert. On the other hand, if the didactic proposal contains strategies of a previous developmental stage, the student probably loses interest. Thus, the challenge for the teacher is to detect in which stage of cognitive development his students remain and use appropriate teaching strategies.

Key Words: cognitive models – development – strategies – methodology - scaffolding

1 FUNDAMENTOS

La intensiva práctica docente en esta área de conocimiento permite plantear como hipótesis de partida que el estudiante de las especialidades electricidad, electrónica y robótica atraviesa por una serie de etapas en su extenso camino a adquirir los conocimientos, competencias y habilidades propias de un experto en la materia. En consecuencia, es aconsejable que el mismo reciba una enseñanza que le permita afianzarse en la etapa de desarrollo cognitivo en que se encuentra y proveerle la asistencia y el "andamiaje" necesarios para que evolucione hacia el siguiente nivel de desarrollo [1]. Esta hipótesis contribuiría a explicar porqué en un curso hay alumnos con distintos "niveles de madurez" en lo que respecta a las competencias cognitivas y psicomotrices propias de la especialidad. Debido a causas biológicas, psicológicas, sociológicas, y de historia de vida, los alumnos, a pesar de haber recibido una educación quizás relativamente uniforme en el campo de la electricidad, la electrónica y la robótica, han adquirido distintos estadios de desarrollo cognitivo en lo que respecta a su rol como idóneos en esta área del conocimiento tecnológico. Por lo tanto es necesario que el docente sea conciente de esta situación y tienda a ver que aunque "el enseña para todos", no todos "aprenden de la misma manera", o aún más simplemente, que "enseñar" no es sinónimo de "aprender". Investigaciones en el área educativa [2] aseveran que las tutorías y la enseñanza personalizada son las que ofrecen los mejores resultados en el momento de evaluar su efectividad. La razón sería que el estudiante está recibiendo de su maestro o profesor una "enseñanza a medida" que le permite ir detectando errores conceptuales o aspectos incompletos o inconclusos en su formación para luego irlos rectificando y supliendo con la asistencia del profesor. Bajo una asistencia personalizada del educador, el afianzamiento en una etapa del desarrollo cognitivo en una especialidad dada se ve facilitado, al igual que el pasaje a ulteriores fases de evolución en el dominio de los conocimientos, formas de razonamiento, técnicas y métodos propios de un campo disciplinar dado [3]. La hipótesis de que el alumno debe pasar por una serie de fases para llegar a la madurez cognitiva en una especialidad ayudaría a explicar el porqué de tantos fracasos y deserciones este camino [4]. Además, este modelo contribuye a explicar también otros factores que contribuyen a dicho fracaso tales como:

- No hay una adecuada sistematización en el conocimiento que el alumno adquiere.
- El alumno puede poseer mucha información, pero no sabe cómo usarla ni cuando usarla.
- No se pone énfasis en los aspectos relevantes del conocimiento en la especialidad: el alumno siente que es "bombardeado" con ecuaciones, diagramas, circuitos, modelos y teoremas, a menudo inconexos.
- Cuando el profesor utiliza metodologías didácticas propias de etapas posteriores al nivel de desarrollo cognitivo en el que se encuentra, el alumno no puede "saltar" las etapas que le faltan, se estanca en la etapa en que se encuentra o involuciona y entonces se desanima. Esto sucede muy probablemente cuando escuchamos la clásica frase: "la electricidad o la electrónica o la robótica no es para mí"
- Cuando el alumno recibe modelos o propuestas didácticas propias de etapas superadas en su nivel de desarrollo cognitivo, se aburre y desmotiva.
- Cuando el alumno recibe propuestas didácticas propias de su etapa, se encuentra identificado en cuanto a sus necesidades cognitivas, siente que la enseñanza tiene sentido y percibe que se afianza en sus conocimientos pudiendo entonces avanzar hacia etapas de mayor desarrollo intelectual en la especialidad.

2 ETAPAS DE LA METODOLOGÍA DE DESARROLLO COGNITIVO

2.1. *Etapa I: Hacia la conformación mental de una base conceptual*

Esta etapa se caracteriza por la adquisición y asimilación por parte del educando de los conceptos base de la especialidad. Estos conceptos base le permitirán construir nuevos conceptos de mayor complejidad y, en etapas posteriores, asociaciones significativas entre estos conceptos y por lo tanto, dichas asociaciones serán de carácter permanente en la memoria de largo plazo. Puede asumirse [7] que los principios conceptuales se estructuran sobre la base de unidades cognitivas, donde cada unidad cognitiva está compuesta de conocimiento declarativo o factual, conocimiento procedural o procedimental e imágenes. El *conocimiento*

declarativo se refiere a hechos o definiciones. El *conocimiento procedimental* incluye a las reglas que gobiernan las asociaciones entre las variables ligadas a un determinado concepto. La imagen se refiere precisamente a una representación gráfica del concepto. En la unidad cognitiva se da una *integración* entre los conocimientos declarativo, procedimental y la imagen de tal manera que, por ejemplo, cuando el estudiante observa la imagen de un transistor, le viene a la mente el nombre de las partes que lo componen así como una representación mental de las variables que intervienen en su funcionamiento (tensión, corriente) y de cómo estas variables están relacionadas. En esta etapa los procesos cognitivos más frecuentes son la adquisición de conocimiento y la comprensión. Básicamente, en esta fase de asimilación conceptual, cuando el alumno construye nuevos conceptos lo hace identificando las propiedades o atributos salientes del concepto (conocimiento declarativo o factual) y las reglas que describen las relaciones entre esas propiedades o atributos (conocimiento procedural o procedimental) y es capaz de asociar ambos tipos de conocimiento a una representación gráfica mental interna del concepto (conocimiento de imagen). Se dice que el alumno *comprende el concepto* cuando ha podido integrar estos tres tipos de conocimiento en una *unidad cognitiva*. En esta etapa de maduración en el conocimiento disciplinar, el alumno está inmerso en un *proceso de construcción de unidades cognitivas*. Los métodos instruccionales o de enseñanza deben procurar por lo tanto alentar este proceso de construcción tratando de lograr una adecuada interacción entre los diferentes tipos de conocimiento involucrados en estas unidades cognitivas. A continuación, en la Figura 1 se presentan ejemplos de unidades cognitivas.

2.1.1 Particularizaciones

En la caracterización de un componente o dispositivo en particular, por ejemplo un diodo o un transistor, los atributos toman valores. Estos valores definen un componente o dispositivo en particular. A partir del contacto y la utilización de varios dispositivos del mismo tipo pero con propiedades y atributos diferentes, el estudiante puede construir mentalmente una adecuada unidad cognitiva que represente al componente. Esta unidad cognitiva será una especie de "molde" o "marco" donde tendrán cabida o podrán ser caracterizados todos los componentes de ese tipo que el estudiante conoce. Sin embargo una metodología de enseñanza basada en la construcción mental de generalizaciones a partir de elementos particulares puede llevar mucho tiempo, un factor que hay que tener en cuenta en la instrumentación de las metodologías didácticas propias del diseño del currículum. Entonces, será necesario el diseño de experiencias de aprendizaje que le permitan al educando construir unidades cognitivas correctas, útiles y completas, para poder después ser aplicadas a las distintas instancias particulares.

Unidad Cognitiva: Tensión
Conocimiento declarativo: Medición que acusa en Volts el voltímetro entre dos puntos de un circuito eléctrico o electrónico
Conocimiento procedimental: Efectuar la medición de tensión entre dos puntos de un circuito
Imagen mental

Figura 1: Unidades cognitivas correspondientes a los conceptos tensión y corriente

2.2 *Etapa II: Hacia la conformación mental de una estructura conceptual*

Así como la primera etapa de madurez en electricidad, electrónica y robótica se caracteriza por la creación de unidades cognitivas, la segunda lo hace por la construcción y el afianzamiento de las asociaciones entre estas unidades, que inconexas inicialmente, comienzan a relacionarse sobre la base de la interdependencia en los valores de atributos adoptados por los distintos conceptos. Estas relaciones entre unidades cognitivas comienzan a definir una estructura conceptual que le permite al educando abordar situaciones problemáticas en electricidad, electrónica y robótica sobre la base de relacionar adecuadamente los conceptos de la especialidad a través de reglas de asociación que pueden describir las relaciones entre atributos de una unidad cognitiva en forma tanto cuantitativa como

cualitativa. En esta etapa, el estudiante comienza a dominar las reglas que regulan la interacción entre valores de atributos de distintas unidades cognitivas, cuando se las interrelaciona de algún modo, normalmente a través de un circuito eléctrico o electrónico.

El circuito es esencialmente una forma de conectividad que vincula unos componentes con otros, denotando una asociatividad que es selectiva de comportamientos. Un componente al ser conectado a otro a través de un circuito se encuentra en un determinado estado de funcionamiento. Al situarse ese estado en un área determinada dentro de la región de todos los posibles estados, define la funcionalidad del componente y por lo tanto su contribución a la funcionalidad integral del circuito. Es decir que el estado y por lo tanto la funcionalidad de un componente dependen tanto de las características del propio componente como de las particularidades de otros componentes ligados a él a través de un circuito. Esencialmente, existirán ciertos atributos del componente analizado cuyos valores dependerán de los valores de atributo de otros componentes relacionados con el mismo en un circuito.

La definición del tipo de asociación está dada generalmente por la aplicación de las leyes generales de la física (como la de la conservación de la energía y la continuidad del flujo) en su versión eléctrica. En base a lo expuesto precedentemente, puede afirmarse que los procesos mentales asociados a esta etapa de madurez son: aplicación de leyes y teoremas, análisis de las interacciones entre componentes derivadas de su conectividad, análisis circuital. Es importante recalcar que en esta etapa el estudiante construye mentalmente una base de reglas que gobiernan o regulan las relaciones o asociaciones entre unidades cognitivas relevantes a la especialidad. A continuación se presenta un ejemplo. En el circuito de la Figura 2 se interrelacionan las unidades cognitivas fuente, resistencia y diodo con sus respectivos atributos. La conectividad propia del circuito permite que los valores de atributo de un concepto dependan de los valores de atributo de otro concepto. Las flechas indican esta interdependencia. Así, la tensión de la fuente determina la tensión de ánodo del diodo, mientras que la tensión de cátodo es determinada por la tensión sobre la resistencia. Asimismo, la corriente por el diodo depende de las tensión de fuente, la tensión sobre el diodo y la resistencia, conforme indica la ley de Ohm.

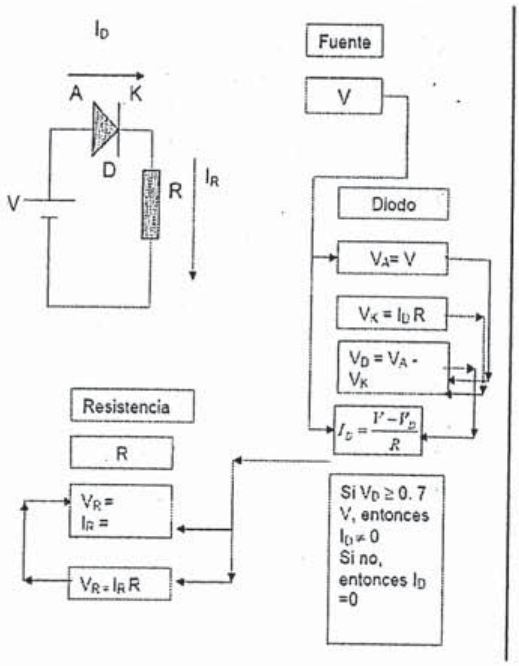


Figura 2. Circuito donde se interrelacionan los conceptos de fuente, resistencia y diodo

2.3 *Etapa III: Hacia la conformación mental de modelos conceptuales*

En esta etapa de madurez cognitiva en la especialidad se considera que las estructuras conceptuales básicas están afianzadas y el estudiante es capaz de seguir hacia la etapa de conformación de modelos. Los modelos circuitales están basados en estructuras circuitales. El estudiante ya no debe ver estas estructuras a nivel componentes discretos y sus interacciones, sino que debe verlas a nivel "bloques circuitales". Ahora lo relevante para el estudiante deben ser los atributos de estos bloques circuitales y los valores que los mismos toman o pueden tomar. Uno de los atributos fundamentales de estos bloques circuitales es la denominada función circuital dominante. Un circuito puede cumplir potencialmente varias funciones, pero ubicado en el contexto de un modelo compuesto de varios bloques interconectados, habrá una función primordial o dominante para cada bloque. Esta función primordial o dominante queda normalmente caracterizada por una serie de atributos. En el bloque circuital puede haber también reglas implícitas que vinculen a los atributos y definan sus interacciones a nivel bloque. Estas reglas deben ser importantes para entender y definir la funcionalidad del bloque circuital, de lo

contrario no tendrán un carácter mayormente relevante en el análisis del modelo. Además, el estudiante debe ver que precisamente son las funcionalidades individuales de cada bloque las que contribuyen, en base a sus interacciones, a conformar la funcionalidad global del modelo que se está analizando. Entonces ahora las interdependencias se darán entre los atributos de los bloques circuitales y por lo tanto las reglas de producción que el estudiante debe asimilar estarán dadas a nivel de interacciones entre bloques circuitales. En consecuencia, las estrategias de enseñanza en esta etapa deben estar orientadas a la identificación de las funciones circuitales a nivel bloque, de su caracterización en términos de atributos y de la interacción entre atributos de estos bloques para contribuir a definir la función circuital global del modelo. Esta interacción entre atributos estará condicionada por reglas, por lo tanto es importante que las estrategias de enseñanza estén orientadas a lograr una estructura cognitiva que comprenda y asimile estas reglas de relación entre atributos de bloques de un modelo.

En base a lo expuesto precedentemente, puede afirmarse que los procesos mentales asociados a esta etapa de madurez son los análisis de las interacciones entre los bloques circuitales que conforman un modelo circuital caracterizado por una determinada función. Por lo tanto es relevante que en este etapa se desarrollen las habilidades cognitivas propias del análisis funcional. Es importante también recalcar que en esta etapa el estudiante construye mentalmente una base de reglas que gobiernan o regulan las relaciones o asociaciones entre bloques circuitales relevantes en un modelo dado. A continuación se presenta un ejemplo. El mismo representa a un amplificador operacional que consta de tres etapas: una de entrada que define la impedancia de entrada del circuito, una intermedia que contribuye a definir la ganancia diferencial del amplificador y una de salida que determina la impedancia de salida, efectúa el desplazamiento de nivel y define la ganancia de potencia a la salida. En la Figura 3 se muestran los atributos relevantes de cada bloque circuital y el diagrama de interdependencias entre estos atributos.

2.4 *Etapa IV: Hacia la conformación mental de una BASE DE CASOS DE ANALISIS*

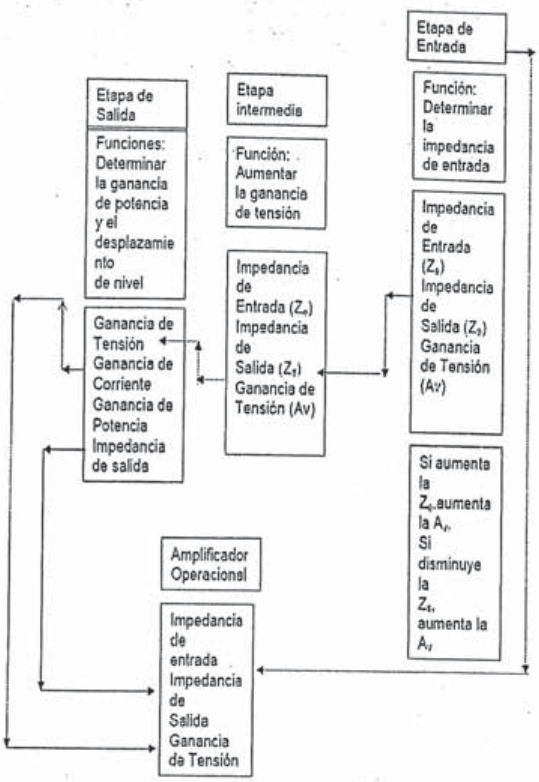


Figura 3. Modelo de interconexión de bloques

Una vez que el estudiante ha sido adecuadamente introducido y entrenado en el análisis de distintos modelos de circuitos, es importante que amplíe esta base de casos de análisis existentes en su estructura cognitiva. Esto puede hacerse mediante la exposición a diversas experiencias de casos de análisis de sistemas eléctricos y electrónicos en contextos reales. El sistema a analizar involucrará la interacción entre distintos modelos circuitales a efectos de determinar las características relevantes de cada modelo. Estas características quedarán definidas por los atributos del modelo y sus posibles valores y descripciones que los definan plenamente. En el sistema, los distintos modelos interactúan, de modo que se podrán definir diagramas de interdependencia funcional entre los modelos que conforman un sistema, y en esta etapa de desarrollo cognitivo en la especialidad es importante que el experto o candidato a serlo desarrolle una estructura cognitiva que incluya las reglas de producción que gobiernan la interacción entre modelos a efectos de contribuir a definir la funcionalidad de un sistema.

En base a lo expuesto precedentemente, puede afirmarse que los procesos mentales asociados a esta etapa de madurez son: análisis de las interacciones entre los modelos circuitales que conforman un sistema caracterizado por una determinada función, que normalmente posee un nivel de complejidad alto, por lo tanto es relevante que en este etapa se desarrollen las habilidades cognitivas propias del análisis sistémico. El análisis sistémico implica comprensión y asimilación de las reglas de producción que involucran las relaciones entre los atributos de los distintos modelos que conforman un sistema, el cual posee un conjunto de funcionalidades, normalmente integradas en una única funcionalidad global de complejidad elevada o relativamente elevada. A continuación se presenta un ejemplo, que se ilustra en la Figura 4. Este ejemplo presenta a un robot básico que representa un sistema que consta de distintos modelos circuitales que interactúan entre sí. Estos modelos son: una estructura mecánica del cuerpo, estructura mecánica para movimiento de la cabeza, estructura de movimiento de los brazos y la estructura del programa de control. Los distintos modelos quedarán caracterizados por diferentes atributos que interactúan entre sí. Así por ejemplo, algunos atributos de la estructura mecánica de cuerpo serán los distintos tipos de movimiento que el cuerpo puede realizar: avanzar, retroceder, detenerse, girar a la izquierda, girar a la derecha. Atributos propios de la estructura de movimiento de la cabeza serán también los distintos tipos de movimiento que la cabeza puede realizar: movimiento hacia delante, movimiento hacia atrás, balanceo, giro a la derecha, giro a la izquierda. Con respecto a la estructura de movimiento de los brazos, los atributos propios de este modelo serán: levantar brazo, bajar brazo, detener brazo. En cuanto al módulo de programación y control del robot, el mismo contendrá como atributos el estado de los sensores y el estado de los actuadores o efectores, que a su vez controlan a los motores que definen el movimiento del robot. También el módulo de programación y control tendrá como atributos el tipo de programación que se emplea para comandar el robot, es decir si la misma es reactiva, jerárquica o híbrida. Si el tipo de programación es reactiva, simplemente se hará un mapeo de las relaciones sensor-motor para definir cómo reaccionará el robot frente a variaciones en el ambiente detectadas por sus sensores. Si la arquitectura de programación es jerárquica, el robot construirá un modelo del mundo en base al estado de sus sensores y reaccionará conforme a un plan que ligará el modelo que tiene del mundo con las acciones que deberá seguir [5]. Dependiendo de si la arquitectura de programación es reactiva o jerárquica, el robot se moverá en forma rápida o lenta, respectivamente. Si el robot está programado según una arquitectura híbrida, combinará estrategias de las arquitecturas reactiva y jerárquica para definir la acción a seguir frente a un estado del mundo en que se mueve tal como es detectado por sus sensores. Todas estas estrategias de control estarán contenidas en el conjunto de reglas de producción que contribuyen a describir el modelo correspondiente al módulo de programación y control.

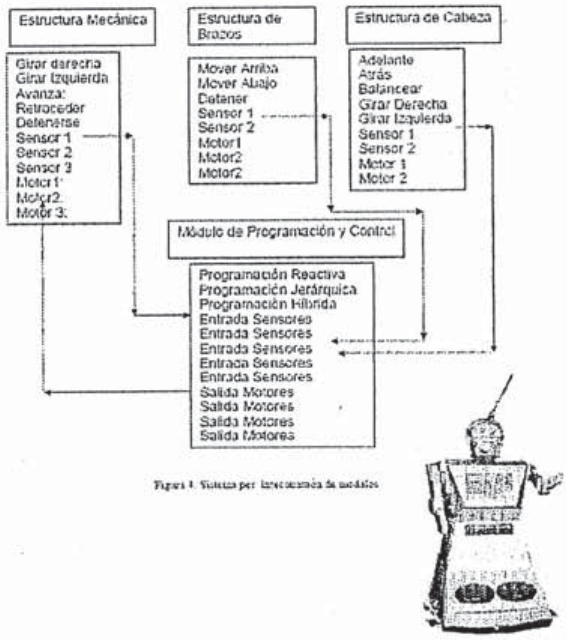


Figura 4: Análisis de interacciones entre modelos

En el diagrama de interacciones de la Figura 4 precedente se muestra lo que puede ser un diagrama de dependencias simplificado y cuya finalidad es básicamente ilustrativa. Observar que en este nivel las relaciones de interdependencia entre atributos tienden a complicarse y pueden estar definidas por conjuntos de reglas, en lugar de por una única regla como era el caso de los componentes que se conectaban para constituir bloques circuitales. Asimismo cada módulo puede tener una complejidad bastante elevada, definida por una gran cantidad de atributos y de reglas que definan tanto la interdependencia entre los mismos como su relación de interdependencia con atributos de otros módulos.

También puede observarse que la descomposición del sistema en módulos no es necesariamente funcional. En este caso es preferentemente estructural. Esto se debe a que cuando los sistemas se complican, es difícil identificar a los módulos que lo componen en términos de una funcionalidad específica, pues los módulos pueden tener diversas funciones. En este caso puede emplearse un enfoque estructural para la identificación de estos módulos, es decir basándose más en su contribución a la estructura más que a la funcionalidad. La ampliación de la base de casos de análisis en la estructura cognitiva de los estudiantes es lo que les permitirá al abordaje de nuevos problemas de la especialidad mediante la adaptación de "viejas soluciones" y la interpretación de nuevas situaciones por su comparación con situaciones similares estudiadas previamente. En este abordaje de nuevas situaciones, los procesos cognitivos asociados a la memoria de largo plazo son: *extracción*, *adaptación* y *almacenamiento*. Dada una nueva situación, el proceso de extracción encuentra en memoria un caso similar al que hay que abordar. Un *caso* consiste en la descripción de algún episodio previo que coincide *parcialmente* con la nueva situación que se está analizando. El proceso de adaptación aplica la información almacenada en el "caso viejo" al nuevo, teniendo en cuenta también las diferencias relevantes que existen entre ambos casos. El proceso de almacenamiento almacena el nuevo caso ya adaptado, conjuntamente con el conocimiento acerca de cómo funcionó este caso en el contexto en el que fue analizado o estudiado. Este caso almacenado aumenta la base de casos y puede ser usado nuevamente en el futuro (ver Figura 5).

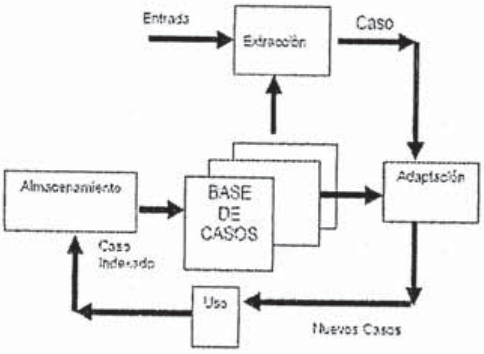


Figura 5: Conformación de estructuras cognitivas

A medida que la base de casos se amplía en su estructura cognitiva, los expertos tienden a construir mentalmente patrones de análisis que son especie de "moldes analíticos" que pueden aplicar exitosamente a una serie de casos [6]. Paulatinamente, el estudiante debe tender a sustituir un razonamiento basado puramente en reglas, en un razonamiento basado en casos. Las reglas pueden aplicarse para casos de análisis de menor complejidad. Esto es así porque las reglas codifican patrones de inferencia particulares. Los casos en cambio constituyen todo un conjunto de información episódica altamente correlacionada. Un razonamiento basado en reglas construye la respuesta a un problema combinando los resultados de varias reglas. A diferencia de ello, el razonamiento basado en casos extrae de una sola vez una respuesta completa a una situación y reemplaza porciones de la misma. El razonamiento basado en reglas es como probar un teorema y representa un abordaje útil en las primeras fases del camino hacia la adquisición de las competencias del experto. El razonamiento basado en casos es como razonar por analogía, si bien los casos son usualmente más cercanos en contenido y estructura que las analogías clásicas, tal como la analogía entre un átomo y el sistema solar.

2.5 *Etapa V: Hacia la conformación mental de una base de patrones de diseño*

En esta última fase de construcción de la experticia, los casos no se almacenan como entidades aisladas e inconexas, sino que los mismos se vinculan, se relacionan y se integran dando lugar a la conformación de verdaderos *patrones de diseño* en la especialidad. En la medida que el experto participe en distintos proyectos que involucren la integración de diferentes sistemas, él tenderá a construir puentes o relaciones relevantes entre los diferentes casos dando lugar a auténticos patrones de diseño que pueden ser aplicados, readaptados y almacenados para su reutilización en nuevas situaciones de diseño. Para que esta integración se dé, es necesario que el experto sea sometido a experiencias que le permitan integrar casos de análisis, descubriendo o involucrándose en proyectos que le permitan construir mentalmente las relaciones entre casos que faciliten esta integración.

Por lo tanto, los procesos cognitivos asociados a esta fase de adquisición de la experticia son la integración de casos, la síntesis de supersistemas conformados por la interconexión de sistemas, el análisis inter-sistémico y la capacidad para evaluar proyectos de alta complejidad compuestos por varios sistemas.

A modo de ejemplo de lo que pudiera ser un proyecto propio de esta fase de experticia, considérese la posibilidad de dotar al robot ejemplificado en la etapa anterior mediante un sistema de reconocimiento de voz para que pueda ser comandado oralmente por un operador humano, tal como se ilustra en la Figura 6. Esto implicaría readaptar la unidad de programación del robot para que sea capaz de procesar señales de voz y a partir de este procesamiento generar comandos que controlen a las distintas estructuras del robot a efectos de que puedan integrar sus acciones para realizar un comando dado. Por lo tanto, se requerirá una fuerte integración entre los dos sistemas considerados, en este caso el robot y el sistema de comando mediante voz. La Figura 6 ilustra lo que pudiera ser la estructura de este tipo de sistema.

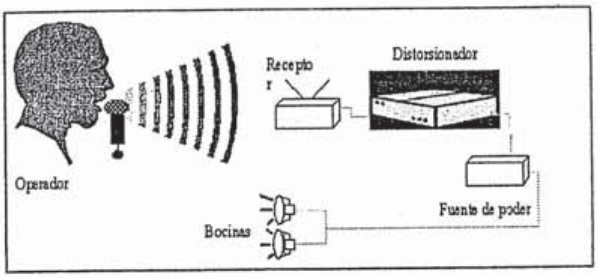


Figura 6: Proyecto de diseño: comandar al robot por voz

3 CONCLUSIONES

Conforme al planteo previamente formulado, la adquisición de la experticidad en las especialidades electricidad, electrónica y robótica debe pasar necesariamente por una serie de etapas que conforman todo un proceso de desarrollo cognitivo en la especialidad. Por razones diferentes debidas a cuestiones biológicas y de diferentes experiencias de aprendizaje en su historia de vida, los alumnos de un curso de estas especialidades se encuentran en distintos estadios de este proceso de desarrollo. El docente puede utilizar distintas estrategias de enseñanza, enmarcadas en distintos paradigmas de abordaje de la misma, pero si su propuesta didáctica no contribuye a reforzar aquellos aspectos que un estudiante necesita en la etapa de desarrollo o madurez en que se encuentra en la especialidad, es probable que ese estudiante aproveche poco o nada de las situaciones de enseñanza-aprendizaje que se le plantean. Es por ello que es importante que el docente releve, mediante distintos instrumentos, la etapa de desarrollo en que se encuentran sus estudiantes y diseñe experiencias que contengan los elementos necesarios para que el estudiante construya las bases ya sea conceptuales, ya sea estructurales, ya sea de modelado que le permitan afianzarse en la etapa de desarrollo cognitivo en la que se encuentra y continuar avanzando hacia fases más avanzadas de conocimiento en la especialidad, en un proceso continuo de crecimiento intelectual y auto-superación.

REFERENCIAS

[1] Ch. Reigeluth Diseño de la Instrucción. Teorías y Modelos. Editorial Aula XXI. Santillana, 1999.

[2] T J. Schuel Cognitive Conceptions of Learning. Review of Educational Research. Vol 56 (4) pp. 411-436, 1996.

[3] Sierra E. A. A Cognitivist Instructional Approach applied to the design of an intelligent tutoring system. Proceedings of the Argentine Symposium on Artificial Intelligence pp 221-232, 1999.

[4] Sierra E. Hossian A. García Martínez R, Sistemas Expertos que recomiendan estrategias de instrucción. Un modelo para su desarrollo. Revista Latinoamericana de Tecnología Educativa Vol 1 (1) pp. 19-30. Facultad de Educación. Universidad de Extremadura, 2002.

[5] García Martínez R. & Borrajo D. An integrated approach of Learning, Planning and Executing. Journal of Intelligent & Robotic Systems, Vol (29) pp 47-78, 2000.

[6] Alexander C. A Timeless Way of Building. Oxford University Press, 1999.

[7] Hossian A. Sistema de Asistencia para la Selección de Estrategias Instruccionales. Tesis de Magíster en Ingeniería del Software. Instituto Tecnológico de Buenos Aires. Universidad Politécnica de Madrid, 2003.

La V Epistemológica como recurso didáctico en la enseñanza de las Ciencias

Figueroa, Claudia Sandra
Departamento de Ciencias Básicas. Facultad de Ingeniería de la UNCuyo
cfiguero@uncu.edu.ar

RESUMEN: En este trabajo se presentan los resultados de una investigación llevada a cabo en la Facultad de Ingeniería de la UNCuyo, sobre el trabajo en el laboratorio experimental, utilizando una herramienta didáctica, la V-epistemológida, para evaluar la construcción del conocimiento que el estudiante (en condición de recursante) realiza sobre los distintos temas que aborda la materia Física I.

Palabras clave: laboratorio experimental y virtual, V-epistemológica, alumnos recursantes.

ABSTRACT: In this work the results of an investigation carried out in the Faculty of Engineering f the UNCuyo appear, on the work in the experimental laboratory, complemented with the virtual laboratory, using a didactic tool, the V-epistemológida, to evaluate the construction of the knowledge that the student (in condition or re-coursed) makes on the different subjects that Physical I matter approaches.

Key words: experimental and virtual laboratory, V Diagrams, re-coursed student.

1 INTRODUCCIÓN

Los docentes de Física de los Ciclos Básicos en las distintas universidades del país no desconocen que la educación requiere cambios importantes, especialmente en lo que compete a la enseñanza de los llamados "alumnos recursantes".
Por diversas razones (regularizaron la asignatura, pero nunca se presentaron a rendir el examen final o rindieron mal los exámenes finales; o no regularizaron la materia, agotando hasta la última instancia de exámenes parciales, o simplemente abandonaron durante el cursado) vemos desfilar los mismos alumnos por nuestras aulas, y lamentablemente, más de una vez.
Muchos de estos estudiantes se encuentran reacios a "someterse a las mismas clases", sin tener en cuenta que no necesariamente fueron las estrategias didácticas utilizadas por los docentes en el proceso de enseñanza (aunque en ocasiones es lo que ocurre, pero no entraremos en ese terreno), sino sus propias concepciones erróneas sobre el saber científico, lo que lo llevan a fracasar en el cursando de la asignatura.
Por lo que la enseñanza tradicional resulta ser insuficiente para conseguir en el estudiante un cambio en el modo de aprender significativamente los conocimientos científicos. Aunque es necesario tener presente que el verdadero cambio conceptual debería implicar no solo la "sustitución o modificación radical" ("...la propia idea de que el cambio conceptual debe implicar un abandono del conocimiento cotidiano, que no sólo resulta muy difícil de lograr sino que incluso puede ser inconveniente") de los conceptos o ideas de los alumnos sobre los fenómenos que estudia la ciencia, sino sobre todo un cambio en la forma de concebirlos. (Ref. [1]) Estamos hablando de aprender significativamente la ciencia.

2 MARCO TEÓRICO

Hacia finales de la década del 70 surge una nueva corriente didáctica en ciencias, que tiene como objeto detectar las ideas espontáneas que los alumnos utilizaban para enfrentarse a problemas o fenómenos físicos, fueron las llamadas concepciones alternativas, esquemas alternativos, ideas previas, error conceptual, etc. A pesar de la disparidad terminológica hay un consenso en denominarlas concepciones alternativas. La existencia y el poder de las ideas alternativas hace imposible sostener una concepción de la enseñanza como simple transmisión de información: los aprendizajes científicos importantes han de consistir más en cambiar algunas formas de ver las cosas que acumular información. Se trata del llamado cambio conceptual. Durante la década del ochenta se realizaron muchos esfuerzos para diseñar estrategias didácticas de enseñanza, encaminadas principalmente a conseguir el cambio conceptual. Se ha comprobado que ciertas concepciones son fuertemente resistentes a la instrucción y vuelven a aflorar al poco tiempo cuando ya se suponían superadas.
La aparición de estos problemas en este dominio junto a la falta de solución de otros problemas didácticos originó tendencias que suponen cambios importantes en la dirección de estos estudios alternativos. Pero en la enseñanza sigue siendo preciso identificar sobre cuáles conocimientos previos el alumno se puede apoyar para aprender. El desarrollo del modelo de aprendizaje de Ausubel para la práctica educativa nos ayuda a entender el significado del aprendizaje significativo para la labor docente.
Ausubel (Ref. [2]) sentencia:
"Si tuviese que reducir toda la psicología educativa a un solo principio, diría lo siguiente: el factor aislado más importante que influye en el aprendizaje, es aquello que el aprendiz ya sabe. Averigüese esto y enséñese en consecuencia"
Con respecto al aprendizaje significativo, podemos decir que David Ausubel desarrolló su teoría en los años 60. La idea central de donde parte es que el aprendizaje debe basarse en lo que el alumno ya sabe. Esto determina una enseñanza "de acuerdo". Aquello que ya sabe corresponde a una estructura cognitiva, un contenido total y organizados de ideas del individuo, que deben ser aprendido en forma significativa y esto ocurre cuando una nueva información "ancla" en conceptos relevantes (subsunsores) preexistentes en una estructura cognitiva. Pero para que el aprendizaje sea significativo, el aprendiz debe manifestar disposición a aprender.
Novak (Ref. [3]) fue colaborador de Ausubel, pero su propuesta educativa es más amplia, en la cual la teoría de aprendizaje significativo es parte integrante. Pensamiento, sentimientos y acciones son los ejes básicos que están detrás de engrandecimiento humano. El proceso de producción del conocimiento es un proceso de

intercambio y negociación de significados, es una construcción humana en la que se ponen en juego esos pensamientos, acciones y sentimientos y, en esa medida, es una construcción que se produce en unas condiciones dadas, en un determinado contexto. No se sostiene la idea de el conocimiento terminal, acabado, sino por el contrario, considera que evolucionan, cambian, se enriquecen, se sustituyen, etc.

Al enseñar, el profesor presenta al alumno significados que son aceptados como válidos en un cierto contexto, y que son compartidos por una cierta comunidad de usuarios. El alumno externaliza los significados que está captando. Este proceso continúa hasta que el alumno y el profesor comparten significados, en otras palabras, hasta que el alumno pasa a compartir significados ya compartidos por una cierta comunidad de usuarios.

Podría indicarse: "el aprendizaje significativo subyace a la integración constructiva entre pensamiento, sentimiento y acción que conduce al engrandecimiento humano."

Novak dedica gran parte de su teoría al concepto de aprendizaje significativo y a la facilitación de ese aprendizaje a través de dos estrategias instruccional: el mapeo conceptual y la Ve epistemológica de Gowin.

¿Quién es Gowin? Docente de la universidad de Cornell, su trabajo es el de los fundamentos de la educación, de la filosofía de la educación y de la estructura del conocimiento, por el que se conoce principalmente con la construcción de la V-epistemológica. Ve una relación triádica entre profesor, materiales educativos y alumno. Para él, una situación de enseñanza-aprendizaje se caracteriza por compartir significados entre alumno y profesor, con respecto a los conocimientos que se desprenden de los materiales educativos.

Según Gowin (Ref. [4]), "los diagramas V se crearon para ayudar a los estudiantes a identificar los componentes del proceso de producción de conocimiento o, en otras palabras, la estructura del conocimiento. La idea subyacente es que como el conocimiento no es descubierto, sino que es producido por las personas, tiene una estructura que puede ser analizada"

2.1 *¿Por qué la V epistemológica?*

"La V epistemológica puede ser útil para comprender la estructura del conocimiento y de la producción del conocimiento; puede ser un instrumento de metaconocimiento". (Ref. [5])).

La V es un instrumento que favorece la reflexión sobre la forma en la que se lleva a cabo esa producción y tiene su origen en sus cinco cuestiones:

1.- ¿Cuál (es) es (son) la (s) cuestión (es)-foco?
2.- ¿Cuáles los conceptos-clave?

Fig. 1: el diagrama V

3.- ¿Cuál(es) es(son) los métodos usados para responder a la(s) cuestión (es)-foco?
4.- ¿Cuáles son las aserciones de conocimiento?
5.- ¿Cuáles son las aserciones de valor?

Con la V heurística, el autor va mucho más allá, planteando un instrumento que incorpora aun más elementos de los explicitados en estas cuestiones, pero que, además y sobre todo, muestra la importante interacción que se da entre lo que es el dominio conceptual de un conocimiento dado y su dominio metodológico o, lo que es igual, la forma de llegar al mismo. La V, por lo tanto, permite desentrañar el contenido, desempaquetarlo, reflexionar sobre él ; de ahí que se considere un instrumento de metaconocimiento.

La figura 1 muestra el diagrama V; en él, vemos, se pueden observar los diferentes como elementos y categorías que ejercen influencia y entran en interacción en los procesos de producción del conocimiento

Desde un punto de vista puramente didáctico, es un instrumento adecuado para destacar aspectos relativos a la producción de conocimientos. Expone (y desmitifica al método científico) el proceso de producción de conocimientos al mostrar explícitamente las relaciones conceptuales y metodológicas involucradas.

La metodología es guiada por el dominio conceptual (conceptos, sistemas conceptuales y teorías inventadas por el hombre). Además hay una filosofía que exhibe una concepción de ciencia, una visión del mundo y del hombre. Las aserciones de conocimiento no son verdades absolutas, dependen del referencial teórico-conceptual adoptado. La idea importante aquí es la interacción entre el pensar (dominio conceptual) y el hacer (dominio metodológico).

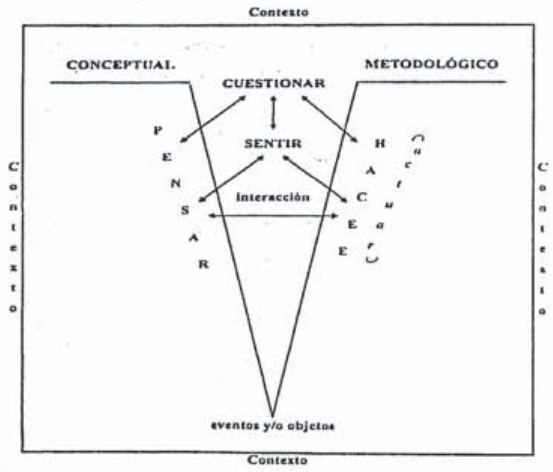


Figura 1. La V epistemológica

Bajo una óptica estrictamente de aprendizaje, la V de Gowin puede ser pertinente como un instrumento de meta-aprendizaje, es decir, para aprender a aprender. Se entiende por aprender a aprender, la percepción de cómo se aprende y cómo se utiliza el conocimiento para producir nuevos aprendizajes.

El individuo que aprende advierte que el conocimiento es adquirido mediante un proceso de construcción. Al analizar la estructura de los conocimientos los relaciona de manera significativa con los que ya posee. Precisamente, en el análisis de la estructura del conocimiento se encuentra la mayor utilidad de la V.

Gowin diseñó un sistema de producción del conocimiento, un sistema heurístico para explorar, desentrañar, analizar y develar la estructura de un cuerpo de conocimientos y de su proceso de producción. El uso de la V implica una postura constructivista y una reformulación de las creencias epistemológicas.

3 LA PROPUESTA DE TRABAJO

Como se indicó anteriormente, el trabajo con alumnos recursantes bajo lo que llamamos el "cursado especial" se lleva a cabo desde el año 2002, la incorporación de la V-epistemológica comenzó a utilizarse en el año 2007, generando una comprensión más acabada del objeto de estudio por partida doble.

La metodología de trabajo consiste en la realización de prácticas experimentales, que abarcan el contenido exigido en el programa analítico de la cátedra de Física I.

Para el desarrollo de las experiencias se contaba con el equipamiento de Pasco (material de laboratorio asistido por computadora, disponible para realizar experiencias de Dinámica de la partícula, Colisiones, Rotaciones, Ondas y Óptica), videos educativos, el programa de simulación IP25 y material existente en el laboratorio, que fueron utilizados de acuerdo a la práctica realizada de forma más integral. Para un mejor desarrollo de las experiencias, los alumnos se agrupaban de acuerdo a la afinidad entre ellos, grupos que no superaban cuatro integrantes. Es de resaltar que debemos promover tanto las actividades de aprendizaje en grupos, la discusión de metodologías de trabajo, de resolución de problemas, la puesta en común de los resultados, como la independencia intelectual de cada estudiante.

En primera instancia se presenta al alumno una guía donde él, a través de distintas actividades, iba revisando los contenidos teóricos necesarios para el desarrollo de la práctica. No debemos olvidar que los alumnos con los que se trabaja son recursantes, que han asistido a las clases teóricas en el cursado regular. Se cita a continuación uno de los enunciados de los problemas sobre péndulo simple con el que se quiere introducir la práctica experimental.

Problema 1: "Un péndulo de 1,00m de largo y cuya masa es de 0,200kg se separa de modo que está situado a 4cm sobre la altura de equilibrio. Determine: el período, la velocidad en su punto más bajo, la amplitud del movimiento, la fuerza restauradora, la tensión en la cuerda, los valores máximos de energía cinética y potencial."

Problema 2: "Una varilla uniforme de 1,00m de largo y 1,00kg de masa, está suspendida de uno de sus extremos de tal manera que constituye un péndulo físico. Determinar: el período del movimiento, la inercia de rotación de la varilla, la posición del eje para el cual el período es un mínimo y la longitud del péndulo simple equivalente. ¿Qué período tendrá si se suspende la varilla de un punto situado a una distancia "d" de 10,0cm; 20,0cm y 30,0cm de su centro de gravedad? Grafique T (d).

3.1 *Verifique experimentalmente ambos problemas.*

Una vez finalizada la experiencia, el alumno debía entregar un informe final de la misma. Era imprescindible que tomara conciencia de la

importancia de este instrumento posee, donde no solo debe valorarse minuciosamente las destrezas y precisión en medidas, sino la coherencia entre la investigación realizada con el planteamiento del problema, la correcta utilización de conceptos, la interpretación de los datos, poniendo énfasis en la importancia de las conclusiones a las que arriba.

4 RESULTADOS PARCIALES DE LA IMPLEMENTACIÓN

A modo de evaluación (continua) se le solicitaba al alumno que rindiera un cuestionario sobre los contenidos visto en la práctica experimental y la realización de la V de Gowin. Esta herramienta permite visualizar el alto grado de interacción entre los distintos ejes o dominios que sustentan un fenómeno y a su vez permite al investigador desempaquetar información clave sobre los procesos internos que se llevan a cabo en los estudiantes al intentar apropiarse de un contenido. Como también pone en evidencia las dificultades que presenta el alumno para determinar las distintas categorías del contenido, a conectar las distintas partes que componen un fenómeno. Aquí se presemtan algunas dificultades encontradas:

- No tienen en cuenta el contexto en el cual se realiza la experiencia, considerando que realizan la experiencia real y virtual.
- Con respecto a la pregunta que genera la V, se pudo detectar que:
  a) Se encontraban mal formuladas: ¿de qué depende el periodo de un péndulo simple?
  b) Eran demasiado abiertas: "¿qué movimiento describe un péndulo simple? "
  c) No eran, en realidad, preguntas, sino afirmaciones de la experiencia: "para aberturas pequeñas, el péndulo simple ¿describe un MAS?"
  d) Algunas se encontraban bien formuladas: "¿cuál es el comportamiento de un péndulo simple bajo condiciones ideales?"
- En cuanto al fenómeno a observar, se pudo advertir que los estudiantes, en general, carecen de habilidad para sintetizar en pocas palabras el evento relevante que da lugar a la V, por ejemplo: "se tiene un objeto sujeto a un hilo inextensible y sin peso, que cuando se lo aparta de su posición de equilibrio, describe un MAS"
- Al analizar la rama metodológica de la V, se nota que:
  a) En cuanto al registro e interpretación de datos, los alumnos encuentran difícil organizar los valores obtenidos experimentalmente, como en interpretar el trabajo realizado. Por ejemplo mezclan datos (en ocasiones innecesarios) con los registros que utilizan para poder responder la pregunta que se hicieron.
  b) En cuanto a las afirmaciones, tanto de conocimiento como de valor, en ocasiones sacan conclusiones que son ajenas a la pregunta central, sin interpretar sus propios resultados, ni reconociendo los límites de la experiencia realizada.
- Si se analiza la otra rama de la V, la correspondiente al dominio conceptual, se puede indicar que:
  a) los conceptos que abarcan la experiencia, no presentan en general ninguna dificultad de identificación,
  b) ahora, si se considera los principios, leyes y teorías que sustentan la experiencia, notamos que los confunden entre si: por ejemplo colocan "la teoría de Newton" que no sabemos si hacen alusión a la mecánica newtoniana o a la aplicación de las leyes de Newton.
  c) Y en cuanto a la filosofía, directamente no la consideran.

5 PRIMERAS CONCLUSIONES

La V de Gowin es un instrumento útil para la evaluación de un curso experimental complementado con aspectos virtuales; y para promover la adquisición de aprendizajes significativos. Asimismo, facilita la detección de ideas previas o concepciones alternativas y/o su

persistencia antes, durante y después de la realización del experimento.

Es necesario cambiar el proceso docente para llevar a cabo un análisis cuidadoso del experimento que se va a desarrollar, para que surja de los alumnos la pregunta clave. Cuando se discuten en el grupo las preguntas claves propuestas por los educandos, se estimula la autocrítica y se promueve una mejor comprensión del sentido de los experimentos.

La enseñanza que, como docentes, deseamos impartir y el aprendizaje que queremos lograr en el alumno, implica un gran compromiso profesional, un esfuerzo cada vez mayor en la selección de tareas, de búsqueda de materiales, de propuestas innovadoras. La incorporación de nuevas estrategias didácticas y de investigación, como la V-epistemológica, representaría una forma de evaluación distinta y completa que le permitiría al docente, al investigador y al docente-investigador ahondar en las dificultades que cada alumno presenta en la construcción del conocimiento. Es mucho lo que podemos aportar, a pesar de los escasos recursos y tiempo disponibles en nuestra tarea.

REFERENCIAS

[1] Pozo J.L., "Más allá del cambio conceptual: el aprendizaje de las ciencias como cambio representacional" – Rev. Enseñanza de las Ciencias, 17 (3), 513-520, 1990.

[2] Ausubel, D. P. "Psicología educativa. Un punto de vista cognoscitivo".México: Ed. Trillas, 2° edición, 1983.

[3] Novak, J.D., A theory of education. Ithaca, N.Y.Cornell University Press, 1981.

[4] Gowin, D. B. y Alvarez, M. "The Art of Educating with V Diagrams". USA: Cambridge University Press, 2005.

[5] Moreira, Marco A., "Pesquisa em ensino: aspectos metodológicos e referenciales teóricos a luz do Vé epistemológico de Gowin". Sao Paulo:Editora Pedagógica e Universitaria, 1990.

Semipresencialidad en "Hidráulica General"

P.S. Infante & A. Punta

pinfante@uncu.edu.ar & apunta@uncu.edu.ar
Cátedra de Hidráulica General, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo

RESUMEN: En virtud del crecimiento de la cantidad de alumnos recursantes en la Asignatura "Hidráulica General" desde 1997, en el año 2004 se pensó en la implementación de una alternativa de modalidad de enseñanza y aprendizaje con la finalidad de modificar la situación actual de la asignatura y poder revertir el efecto acumulativo de la cantidad de alumnos recursantes. Dicha alternativa se ajustó al Proyecto de Educación a Distancia de la UNCuyo, con lo cual la mayoría de los integrantes de la cátedra se capacitaron en el tema y se adaptó la asignatura a la nueva modalidad, que se denominó "semipresencial". Este sistema semipresencial se implementó durante los años lectivos 2006, 2007 y 2008, resultando en experiencias muy productivas, ya que el éxito de los alumnos, medido como la aprobación del examen final presencial de la asignatura, ha sido satisfactorio.

Palabras clave: educación – distancia – virtualidad – tutorías – ingeniería

ABSTRACT: By virtue of the growth of the pupils' quantity restudents in the Subject "General Hydraulics" from 1997, in the year 2004 we think about the implementation of an alternative of modality of education and learning with the purpose of modifying the current situation of the subject and of being able to revert the accumulative effect of the pupils' quantity restudents. The above mentioned alternative adjusted to the Project of Education distantly of the UNCuyo, with which we qualify in the topic and adapt the subject to the new modality, which we call semipresencial. This system semipresencial implemented during the academic years 2006, 2007 and 2008, resulting in very productive experiences, since the success of the pupils, measured as the approval of the final examination presencial of the subject, has been satisfactory.

Key Words: education - distance - virtuality - tutorships – engineering.

1 INTRODUCCIÓN

En primera instancia es necesario aclarar que la Actividad Curricular "Hidráulica General", se encuadra dentro del grupo de las Tecnologías Básicas, las que deben apuntar a la aplicación creativa del conocimiento y a la solución de problemas de ingeniería, teniendo como fundamento a las ciencias básicas. Con lo cual, esta asignatura incluye mucho contenido analítico-matemático, es decir, desarrollos *"formulísticos"* muy largos y complicados, los que implican conocimientos y habilidades básicas en Análisis Matemático y Álgebra, principalmente. Además, se necesita una retroalimentación constante de conceptos de la Física y la Mecánica Racional, de modo tal, que también se requieren los conocimientos y habilidades respectivas, haciéndose, en forma permanente, uso de las mismas para la interpretación física de los conceptos vertidos, y de los resultados numéricos obtenidos de las operaciones matemáticas realizadas. Y por último, también tiene un fuerte contenido empírico, que se aplica en el diseño y cálculo de las obras hidráulicas, el que debe ser reproducido físicamente en laboratorio o en prototipo, para su visualización por parte del estudiante.

Con la introducción del concepto de materias cuatrimestrales en el Plan de Estudios de la Carrera de Ingeniería Civil, esta asignatura debe aprobarse, mediante examen final, antes que se comience nuevamente con su dictado al año lectivo siguiente; caso contrario se pierde la calidad de alumno regular y es necesario recursar la materia nuevamente.

Si a lo anteriormente expuesto le sumamos la ausencia de correlativas posteriores a esta asignatura, hasta la segunda modificación del Plan de Estudios efectuada en el año 2003, Ref.[1], el efecto que se ha manifestado consiste en un crecimiento de la cantidad de alumnos que anualmente se inscriben y cursan la materia, principalmente compuesto por alumnos recursantes de la misma. Los alumnos recursantes son aquéllos que no aprobaron la materia antes que se comience a dictar nuevamente, en su gran mayoría son alumnos que nunca presentaron examen final en el mismo plazo de tiempo, y en una ínfima cantidad son alumnos que habiendo presentado el examen final no lo aprobaron.

En la Tabla 1, confeccionada con datos recopilados por la Cátedra a través de muchos años de registro y control, se puede analizar más detalladamente esta situación y cómo se ha manifestado a través del tiempo. La organización de los datos anuales responde a la cantidad total de alumnos inscriptos; columna 1, dentro de los cuales se ha separado la cantidad de alumnos recursantes, columna 2, y la cantidad de alumnos que obtienen anualmente la regularidad, columna 3. De éstos últimos se analizan en particular la cantidad de alumnos aprobados, columna 4, desaprobados, columna 5, y ausentes, columna 6, en el examen final, y también la cantidad de alumnos que no presentaron examen, columna 7, en el plazo correspondiente a la regularidad obtenida. Y por último, se agrega el dato de la cantidad de alumnos que aprueban la asignatura presentando examen final libre, columna 8.

En primer lugar se puede concluir que a partir del año 1998 aumentó notablemente la cantidad de alumnos inscriptos en la asignatura y también la cantidad de alumnos que habiendo obtenido la regularidad, no presentaron examen final. Éstos últimos comenzaron a engrosar la cantidad total de inscriptos de los años siguientes, con lo cual la población estudiantil comenzó a crecer hasta llegar a un máximo de 75 alumnos en el año 2004, entre los cuales se incluyen los 33 alumnos que no presentaron examen final en el año 2003.

Se quiere resaltar que en el año 2003, 33 alumnos de los 42 regulares, ni siquiera presentaron examen final, es decir que casi el 79% de los alumnos regulares de dicho año, no se inscribieron, ni se presentaron ni una vez ante una mesa examinadora.

Esta situación representa una preocupación constante para todos los integrantes de la cátedra, y ha sido la causa principal de la participación, desde fines del año 2004, en el Proyecto de Educación a Distancia de la UNCuyo.

2 ADAPTACIÓN A LA MODALIDAD DE EDUCACIÓN A DISTANCIA.

En Noviembre de 2004 docentes de la cátedra participaron de una capacitación brindada por especialistas del Proyecto de Educación a Distancia en la cual se impartieron los conceptos fundamentales de la modalidad. La modalidad a distancia implica una mediación en la relación docente-alumno, para favorecer la apropiación de aprendizajes constructivos. Esta mediación se plantea a través de tres niveles de interacción, Ref. [2], a saber:

Tabla 1. Cantidad de alumnos desde el año 1997 hasta el año 2008.

Año	Inscrip. Totales	Inscrip. Recursan	Regulares	Aprobados	No Aprobados	Ausentes	Sin examen	Aprob. Libre
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1997	25	S/D	22	19	3	0	0	0
1998	57	S/D	52	24	7	3	18	0
1999	67	S/D	48	26	1	1	20	0
2000	73	4	57	31	1	2	23	0
2001	61	22	50	27	1	0	22	2
2002	65	10	47	28	1	1	17	3
2003	63	26	42	7	1	1	33	2
2004	75	25	51	32	2	3	14	3
2005	61	30	45	19	2	1	23	4
2006	69	35	49	23	0	1	25	1
2007	47	26	35	15	3	1	16	5
2008	61	33	47	28	0	0	19	1

S/D: sin datos correspondientes a dichos años lectivos.

- ✓ La elaboración de material de estudio y la interacción entre el estudiante y el contenido de dicho material, a ser aprendido.
- ✓ Las acciones tutoriales, o la interactividad entre el estudiante y su tutor.
- ✓ La evaluación del estudiante por parte de la cátedra.

A continuación se describe lo realizado en cuanto a cada uno de dichos niveles de interacción.

2.1 *Elaboración del material de estudio.*

Se comenzó con la elaboración del material de estudio adaptado a la modalidad de educación a distancia, la construcción del espacio correspondiente dentro del Campus Virtual de la UNCuyo y la articulación de la semipresencialidad en la asignatura, Ref. [3], y para definir esta última se incluyeron clases presenciales, tales como visitas de campo, visitas de obra, prácticas de laboratorio y las evaluaciones parciales presenciales.

Se organizó el contenido del Campus Virtual de la Facultad de Ingeniería con el material de estudio preparado y de acuerdo al Programa Analítico de la Actividad Curricular, material que se puede descargar a través de archivos con formato pdf, lo que insume un tiempo de conexión a Internet mucho más breve, que si se consulta el material directo desde el Campus Virtual, y además permite al alumno almacenar en forma ordenada, y de acuerdo a su propio sistema de archivos, el material de estudio en su PC, Ref. [3].

Para materializar el seguimiento del aprendizaje de los contenidos del material de estudio se implementaron dos tipos de actividades a realizar dentro del Campus Virtual: actividades conceptuales y actividades prácticas. Las primeras están destinadas a evaluar la adquisición de los conceptos fundamentales de la asignatura, mientras que las segundas tienen como objeto la aplicación concreta de dichos conceptos en la resolución de ejercicios, casos prácticos y problemas planteados en el campo de la ingeniería.

Se propuso evaluar tanto las actividades conceptuales, como las prácticas con la finalidad de controlar el avance en el estudio independiente del alumno.

Y con esto se completó el primer nivel de interacción entre docente y alumno.

2.2 *Acciones tutoriales.*

La misión del docente debe ser la de garantizar la máxima calidad de los procesos de enseñanza y

aprendizaje, Ref. [4], avocándose a la adecuación de los contenidos de las materias y a los progresos científicos, velando para que los estudiantes dispongan de los mejores materiales didácticos, atendiendo directamente las necesidades manifestadas por los mismos durante su proceso de aprendizaje, supervisando, guiando y evaluando, es decir, velando por su formación permanente. En segundo lugar, es misión del profesorado contribuir a la investigación, tanto en los campos propios de especialización académica como en las líneas institucionales, dirigidas a la mejora de los procesos de enseñanza y aprendizaje en la universidad.

Entonces, particularmente la misión del docente en la educación a distancia, no sólo consiste en la preparación del material de estudio necesario para el avance del aprendizaje del alumno, sino también en la acción permanente de supervisar, guiar y evaluar su formación, es allí en donde aparece la figura del tutor y las tutorías.

La función tutorial consiste en la relación orientadora de uno o varios docentes respecto de cada alumno en orden a la comprensión de los contenidos, la interpretación de las descripciones procedimentales, el momento y forma adecuados para la realización de trabajos, ejercicios o autoevaluaciones, y en general para la aclaración puntual y personalizada de cualquier tipo de duda, Ref. [5].

Lo que aparece con más constancia en la definición de la tarea de tutor es la idea de guía, la que se materializa a través del acompañamiento, la información y el asesoramiento. El rol del tutor se centra en el aprendizaje y no en la enseñanza, elaborando estrategias adecuadas a las necesidades de los alumnos, por esto es que debe ser un animador del aprendizaje, Ref. [6].

Se entiende que el tutor no se puede definir solamente como una fuente de información y un facilitador del aprendizaje del alumno, sino que debe cumplir un rol más importante, el de formador permanente, formación técnica y profesional, e incentivador del desarrollo del criterio propio del alumno.

Teniendo en cuenta todos los conceptos anteriormente vertidos, y para esta modalidad semipresencial, se organizaron tutorías virtuales y presenciales, muy sencillas, tales como el seguimiento y la corrección de la resolución de ejercicios y problemas correspondientes a las actividades prácticas; orientando al alumno en los pasos a seguir, en los criterios a adoptar, o el planteo de las soluciones a problemas propuestos.

La tarea de los tutores consistió, principalmente, en la orientación y seguimiento de la resolución de ejercicios simples, al principio, y problemas y casos específicos de aplicación en el campo profesional del Ingeniero Civil. Estos últimos, en general, se plantearon ajustados a casos reales, con algunos datos propuestos por la cátedra y otros que debían adoptar y/o estimar los alumnos. Para completar la conceptualización total de la Hidráulica y concientizar respecto de la importancia del recurso AGUA en la región, también se organizaron prácticas de laboratorio presenciales, en las que se reproducía a escala reducida el escurrimiento del agua en distintas conducciones, y por último visitas de campo a la red de riego del Oasis Norte de la Provincia de Mendoza, en la que el alumno tenía contacto directo con las obras cuyo diseño debe aprender.

Los tutores debían revisar las tareas entregadas por los alumnos, con la finalidad de calificarlas para su aprobación. Se organizó la tutoría en grupos, de no más de 10 alumnos por tutor, la cual se desarrolló a través del campus virtual de la UNCuyo, que brindó herramientas muy útiles como los foros de discusión y el correo electrónico dentro del mismo campus. Los alumnos aprovecharon mucho la segunda herramienta para comunicarse con los docentes de la cátedra, sus tutores y entre sí, pero les costó habituarse al uso de la primera. Dichas comunicaciones consistían de consultas respecto de cómo resolver tal o cual ejercicio o problema, incluyendo alguna que otra pregunta conceptual importante. No obstante, esa posibilidad de contacto virtual permanente entre tutor y alumno, éstos últimos también asistían a las clases de consulta presenciales de todos los docentes de la cátedra, sobretodo para discutir dudas respecto del material de estudio que se ofrecía a través del campus.

Como conclusión, y teniendo en cuenta las necesidades detectadas, se considera que la tutoría en un sistema de dictado semipresencial debe ser una combinación del acceso a la tecnología brindada por el campus virtual, complementada con la asistencia permanente y presencial de los docentes, sobretodo en lo que hace a la experiencia profesional de los mismos.

2.3 *Evaluación del estudiante.*

En cuanto al tercer nivel de interacción en la mediación de la relación docente-alumno en la educación a distancia o semipresencial, se estableció

la necesidad de que las evaluaciones sean presenciales.
Y además, las mismas se han organizado con contenido eminentemente práctico, de modo que se pueda medir el nivel de aprendizaje conceptual alcanzado y la capacidad de resolver problemas relacionados a la hidráulica, principalmente.
Se planificaron cuatro evaluaciones parciales obligatorias, cada una abarcaba dos, de las ocho, unidades del programa analítico de la asignatura, y estaban compuestas principalmente de ejercicios y/o casos a resolver aplicando los conceptos incluidos en cada evaluación.
La aprobación de cada evaluación parcial exigía un puntaje mínimo de 70 sobre 100 puntos.

3 IMPLEMENTACIÓN DE LA MODALIDAD SEMIPRESENCIAL

En Marzo de 2006 se comenzó con la implementación de esta modalidad en la asignatura. Cada año se capacita a los alumnos en el uso del campus virtual, y se define el alcance de la modalidad y las obligaciones que les corresponden. Los docentes de la cátedra realizan las tutorías a distancia, a través del campus virtual, y en forma presencial, a través de las clases de consulta.
Durante el año lectivo 2006 con 22 alumnos voluntarios en total, entre alumnos recursantes y alumnos que cursaban por primera vez, se dio inicio a la experiencia. Durante el año 2007, 16 alumnos optaron por la modalidad semipresencial, entre los cuales también se incluyeron ambos tipos de alumnos.
Una forma de medir la eficiencia de esta nueva modalidad es comparar la cantidad de alumnos semipresenciales y presenciales que aprueban las evaluaciones parciales y los exámenes finales de la asignatura, y es por ello que se han calculado dichos valores y se los ha expresado en porcentaje.
En la Tabla 2 se da el porcentaje de alumnos aprobados en cada una de las evaluaciones y sus respectivos recuperatorios, y discriminados en alumnos presenciales, semipresenciales y en total, en los tres años en los cuales se ha aplicado esta modalidad de enseñanza-aprendizaje. La última columna de dicha tabla, representa el porcentaje de alumnos que obtuvieron la regularidad igualmente discriminados.
Comparando los valores de la Tabla 2 podemos concluir que, en general, la modalidad semipresencial no ha aumentado sensiblemente el porcentaje de aprobación de las evaluaciones parciales, ni tampoco el porcentaje en la obtención de las regularidades.
Para completar la conclusión respecto de la eficiencia de la modalidad, entonces se analizaron los resultados de los exámenes finales, también expresados en porcentaje de alumnos aprobados respecto de los que obtuvieron la regularidad en el ciclo lectivo correspondiente, los cuales pueden observarse en la Tabla 3.
En este análisis se puede concluir que durante el año lectivo 2006, los alumnos semipresenciales obtuvieron un porcentaje de aprobación de la asignatura mayor que los presenciales, si este porcentaje mide la eficiencia, podemos decir que el año 2006, la modalidad semipresencial fue más eficiente que la presencial. Mientras que si se analizan los porcentajes correspondientes al año 2007, se manifiesta una leve diferencia también a favor de la modalidad semipresencial.
Esta situación tiene su origen en que la modalidad semipresencial le exige al alumno el estudio continuo, profundo e independiente de la asignatura, para poder cumplir con las actividades conceptuales y prácticas, y ello colabora bastante a tomar la decisión de presentar el examen final en tiempo y forma.
En vista que la eficiencia de la modalidad fue disminuyendo con el tiempo, del 2006 al 2007, los integrantes de la cátedra decidieron hacer un ajuste a la misma, para poder implementarlo en el presente año lectivo. Tal ajuste consistió en presentar la semipresencialidad, no como una alternativa optativa, sino como la forma de regularizar y aprobar "Hidráulica General" para los alumnos recursantes. Y así fue que en este año 29 alumnos recursantes siguieron la modalidad semipresencial. Las actividades conceptuales y prácticas del campus virtual se mantuvieron, lo mismo que las clases presenciales de laboratorio y visitas de campo. Y se fijaron cuatro evaluaciones presenciales parciales teórico-prácticas, sin recuperatorios, que debían ser aprobadas con 60 puntos sobre 100, para obtener la regularidad. Luego de lo cual debían presentar el examen final, que consistió en un coloquio general de la asignatura.
Si se analizan los valores de la Tabla 3 durante el año lectivo 2008, se ve un notable incremento del porcentaje de alumnos semipresenciales aprobados (83%) hasta la fecha, aún cuando faltan mesas examinadoras que están incluidas en el presente año lectivo.

Tabla 2. Porcentaje de alumnos aprobados por evaluaciones parciales y porcentaje de alumnos regulares en los años 2006, 2007 y 2008.

	Alumnos aprobados	1°P	1°R	2°P	2°R	3°P	3°R	4°P	4°R	REG.
Año 2006	Semipresenciales	81	63	29	57	57	75	80	50	59
	Presenciales	39	72	38	73	46	79	54	86	77
	Totales	53	70	33	68	51	78	61	78	71
Año 2007	Semipresenciales	92	100	42	63	90	40	50	100	75
	Presenciales	41	57	17	71	60	35	64	100	75
	Totales	59	61	27	71	72	36	63	100	75
Año 2008	Alumnos aprobados	1°P		2°P		3°P		4°P		REG.
	Semipresenciales	78		86		76		83		70
	Presenciales	88		96		91		96		85
	Totales	83		91		83		89		77

REG.: porcentaje de alumnos que obtuvieron la regularidad.

Tabla 3. Cantidad de alumnos regulares y aprobados en examen final y porcentaje de alumnos aprobados en los años 2006, 2007 y 2008.

	Cantidad de alumnos	Regulares	Aprobados	% de Aprobados
Año 2006	Semipresenciales	13	8	62
	Presenciales	36	15	42
	Totales	49	23	47
Año 2007	Semipresenciales	11	5	45
	Presenciales	24	10	42
	Totales	35	15	43
Año 2008	Semipresenciales	23	19	83
	Presenciales	24	9	38
	Totales	47	28	60

4 CONCLUSIONES GENERALES

Este estudio está destinado a encontrar una alternativa de solución a la preocupación de los docentes de la Cátedra de "Hidráulica General", que es disminuir el número de recursantes que existen año a año, lo que puede lograrse aumentando el número de alumnos que presentan y aprueban sus exámenes finales.

Los resultados analizados en el título anterior implican que, en general, la modalidad semipresencial no incide demasiado en la mejora de resultados en cuanto a la obtención de la regularidad de los alumnos, pero sí manifiesta una leve mejoría en los porcentajes de aprobación del examen final, lo que evita que el alumno recurse.

Tal situación se atribuye a la mayor cantidad de horas de dedicación que esta modalidad necesita en su desarrollo, ya que es una forma de estudio que no es guiada o controlada directamente por la presencia de un profesor en el aula, y además el alumno debe planificar su propio aprendizaje, proponiéndose metas, buscando y utilizando los recursos que estén a su alcance, debido a la utilización de distintos medios para compensar la separación física del docente.

Todo ello hace que, una vez obtenida la regularidad en la asignatura, el alumno semipresencial necesite menor valor agregado para presentar y aprobar su examen final, que el alumno presencial.

Cabe aclarar que la asignatura de "Hidráulica General" se incluye dentro de las actividades

curriculares de las tecnologías básicas, de modo que debe apuntar a la aplicación creativa del conocimiento y a la solución de problemas de ingeniería, teniendo como fundamento a las ciencias básicas, y justamente esto último es lo que la hace tan adaptable a la modalidad semipresencial.

Por último, se deja constancia de la importancia de las tutorías presenciales, debido a las características particulares de los contenidos de los planes de estudio de las carreras de ingeniería. Los que implican una necesidad de mayor contacto entre profesor y alumno para allanar las dificultades, para ofrecerle herramientas que le ayuden en su aprendizaje, para hacerle comprender la utilidad y aplicación en el campo de la ingeniería de los conceptos impartidos en los espacios curriculares de las ciencias y tecnologías básicas, para impartirle las premisas fundamentales del diseño, proyecto y cálculo en la ingeniería, para incentivar la aplicación de su propio criterio y creatividad en la resolución de casos y problemas, y por último, y no menos importante, hacer tomar conciencia a los alumnos de la importancia del ejercicio responsable de la profesión, ya que no podemos olvidar que la misión de la Universidad es preparar a los alumnos para ser profesionales y, deseablemente, personas con criterio en el mundo real, Ref. [7].

REFERENCIAS.

[1] Dirección de Ingeniería Civil, Plan de Estudio de la Carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, 2003.

[2] R. Barrantes Echavarría, Educación a Distancia, EUNED. San José de Costa Rica, 1992.

[3] P.S. Infante, Adaptación e implementación de la modalidad a distancia en el dictado de la actividad curricular "Hidráulica General", Experiencias Docentes en Ingeniería, V CAEDI, Volumen II, 1145-1152, Mendoza, 2006.

[4] J.M. Duart, y A. Sangrà, Aprender en la virtualidad, Editorial GEDISA, Barcelona, 2000.

[5] J.E. Padula, Contigo en la distancia. El Rol del tutor en la Educación No-Presencial. [http://www.uned.es/catedraunesco-ad/publicued/pbc08/rol_bened.htm], 2002.

[6] M.T. Lugo, Las Tutorías: un indicador de éxito de la Educación por Internet [http://www.elprincipe.com /teleformacion/junio2003/index2.shtml], 2003.

[7] M.G. Romana Ruiz, La dedicación de un Profesor de Universidad (al menos de Ingeniería), Revista de Obras Públicas, Nº 3.480, Madrid, Setiembre 2007.

Software de diagnóstico de la electrónica del detector de superficie del Observatorio Pierre Auger.

B. García[1,2], J.P. Góngora[1], L. Gonzalez[1], Valeria Llanos[1], J. Maya[1], M. Videla[1,3]

bgarcia@frm.utn.edu.ar;jpgongora@auger.org.ar; luisgonzalez@auger.org.ar; valeria_sr@auger.org.ar; jmaya@auger.org.ar; mevidela@gmail.com

1. *Laboratorio Pierre Auger, UTN Facultad Regional Mendoza*
2. *CONICET*
3. *Becaria doctoral CNEA*

RESUMEN: Este trabajo describe una herramienta que está conformada por un soporte físico móvil u ordenador portátil y un programa de aplicación que realiza diferentes diagnósticos a un detector de superficie Auger. El ordenador portátil se conecta a la electrónica de superficie del detector de superficie Auger a través de su puerto serie y permite la ejecución de comandos de diagnósticos siendo estos no transparentes para el usuario. Como resultado de estos diagnósticos la aplicación indica donde se encuentra el problema y permite solucionarlo. También almacena esta información para luego ser transferida a una base de datos general donde se encuentra el historial de cada detector de superficie. Esta herramienta será implementada en aquellos detectores que necesiten mantenimiento debido a su uso intensivo y su particular ubicación en condiciones ambientales adversas que originan fallas o averías bien conocidas y estudiadas.

Palabras clave: diagnóstico sistemático – reparación – almacenamiento de datos-dispositivo portátil

ABSTRACT: This work describes a hardware and software tool that performs diagnostics to an Auger surface detector. A laptop connects to the Auger surface detector electronics through its serial port, allowing command execution of the diagnostics in background mode. After the diagnostics, the application indicates the problems, being capable of solving them. The recorded information is stored to be transfered to a general database, which keeps the history of each surface detector. This tool will be implemented during periodic maintenance in Auger surface detector array. Failures detected and solved by this tool are well known and have been studied. The array of Auger detectors has been designed to minimize maintenance, only detectors showing failures are going to be diagnosticated and repaired by this tool.

Key words: systematic diagnostic –repair- data storage- portable device

1 INTRODUCCION AL FUNCIONAMIENTO DE LA ELECTRONICA DE SUPERFICIE.

La electrónica de superficie de los detectores Auger [1][2], está compuesta por tubos fotomultiplicadores (PMT), placa de adquisición, microprocesador, sistema de control de alimentación, sistema de control de variables lentas y sistema de comunicaciones. Los tubos fotomultiplicadores convierten los fotones en energía eléctrica, que son tomados por la placa de adquisición, mediante conversión digital y transferidos a la placa Unified Board (UB) para su posterior comunicación mediante un transceptor o radio de la electrónica de superficie. La electrónica del detector de superficie reconoce las señales de interés mediante los triggers denominados T1. La UB realiza una selección de los T1 para obtener los triggers denominados T2. Los T2 son transmitidos al CDAS (Central Data Acquisition System). El CDAS recolecta todos los eventos T2 para una reconstrucción espacio-tiempo que se denominará T3. La electrónica de superficie funciona con el sistema operativo OS9000. El software dedicado para la adquisición fue escrito en C.

Dentro del software dedicado existen un conjunto de aplicaciones para diagnóstico. Aprovechando estas aplicaciones es posible programar en un computador portátil un pequeño sistema que se comunique con la electrónica de superficie a través del puerto serie. Y ordenarle a la electrónica de superficie que ejecute algunas de estas aplicaciones para obtener un diagnóstico del estado del equipo. El computador portátil recoge los datos de salida y los muestra en forma ordenada y clara indicando el estado de la electrónica. Si encuentra un error o problema lo muestra en la pantalla. Además de diagnosticar, el equipo si encontrase algún tipo de falla de software el equipo también cuanta con aplicaciones para solucionarlo.

Una herramienta de este tipo al ser portátil, puede ser utilizada por técnicos en mantenimiento en el campo sin necesidad de conocer detalladamente el funcionamiento a nivel de software de la electrónica de superficie. Al tratarse de mantenimiento se espera que solo algunos equipos de electrónica de detectores presenten averías debido a su funcionamiento continuo y/o a las condiciones ambientales extremas a los que están sometidos. Estos equipos pueden ser diagnosticados y reparados utilizando la herramienta que se presenta en este trabajo.

2 ANTECEDENTES

2.1 Tipos de fallas en la electrónica de superficie

Se detalla a continuación el tipo de fallas frecuentes en la electrónica de superficie las que pueden ser detectadas en forma sistemática y realizar las correcciones necesarias en el software o hardware de la misma.

2.1.1 Falla en los directorios grabados de la electrónica de superficie

Este tipo de falla es causado por picos en la tensión de la alimentación causando borrar en forma total o parcial los datos que se encuentran grabados en la memoria flash, mediante el software desarrollado se pueden re-grabar estos directorios.

2.1.2 Falla en la calibración

La falla en la calibración es producida por uno o más tubos fotomultiplicadores que no tendrán los valores de tensión adecuados al momento finalizar la calibración.

2.1.3 Falla en el envío de eventos T2

Los eventos T2 no son transmitidos por la electrónica de superficie, este tipo de falla es producido por la radio de la electrónica de superficie; puede ser detectado por nuestro software.

2.1.4 Falla en la conexión con los satélites.

Cada detector de superficie posee un receptor de GPS, estos están sincronizados al mismo tiempo para registrar los eventos de alta energía, de lo contrario estaría fuera de sincronismo al registrarse un evento.

2.1.5 Falla en las conexiones de los tubos fotomultiplicadores

Los tubos fotomultiplicadores pueden tener desconectados los cables de tensión o los sensores de temperatura causando problemas en el monitoreo que realiza periódicamente el Sistema Central de Adquisición de Datos (CDAS).

2.1.6 No ejecuta ADC

Este tipo de falla se produce frecuentemente en la electrónica del detector de superficie lo que impide las lecturas de tensión, corriente y temperatura de la placa UB y los PMTs.

2.1.7 Variables de alimentación o consumo de la electrónica de superficie fuera del rango especificado.

Esta falla puede ser causada por desperfecto de baterías o panel solar, si el consumo de corriente está fuera de rango existe una falla o avería en la propia electrónica del detector de superficie.
Todos los tipos de fallas fueron registrados en bases de datos para su seguimiento de manera que fuera mucho más fácil identificarla para un posterior mantenimiento, también permite determinar si una electrónica de superficie ha tenido múltiples reparaciones en este caso se debe modificar el procedimiento de reparación para este caso en particular.

3 OBJETIVOS E IMPLEMENTACIÓN

El software desarrollado permite agilizar la detección de fallas y determinar el estado de la estación local. Debido a que el tipo de fallas se repite frecuentemente el software utilizado permite minimizar los tiempos de reconocimiento de las mismas y su posible reparación. Está desarrollado en lenguaje de programación Perl este lenguaje de programación soporta programación estructurada y programación orientada a objetos, elegido por poseer un poderoso sistema de procesamiento de texto. Dicho software trabaja con sistema operativo Linux, la comunicación de datos se establece mediante C-Kermit e interactúa con el sistema operativo OS9000 que posee la placa electrónica UB que es un sistema operativo de tiempo real multi-usuario y multitarea.
El software esta realizado en lenguaje de programación Perl y conexión a base de datos MySQL realizar un seguimiento de reparación además puede ser implementado a dispositivos portátiles PDA.

3.1. Herramientas utilizadas

3.1.1 Hardware

Ordenador portátil, requerimientos mínimos PENTIUM III 700 MHz, RAM 512 MB. Fuente de alimentación 22v-30v con una carga máxima de 1A, o baterías con las mismas especificaciones y conectores USB-serie.

3.1.2 Componentes que forman la electrónica de superficie

La electrónica de superficie es denominada Ekit, formada por la placa principal UB (Fig. 3), la placa de adquisición de datos Front End (Fig. 2) [3], las placas TPCB (Fig. 4) y la radio o transceptor (Fig. 5) [4]

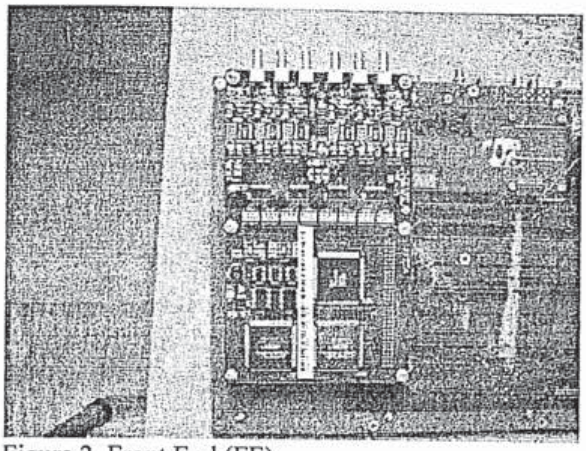


Figura 2. Front End (FE)

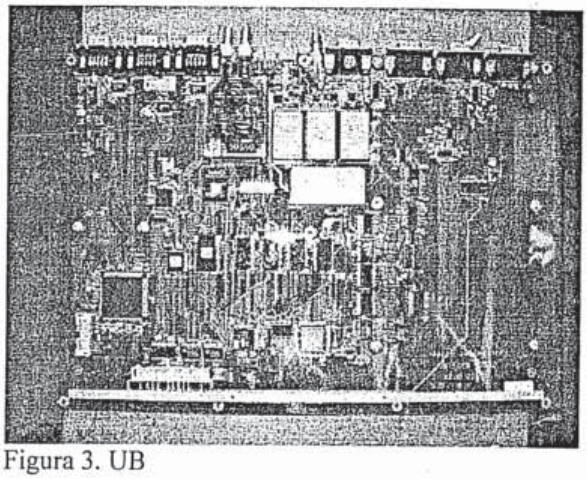


Figura 3. UB

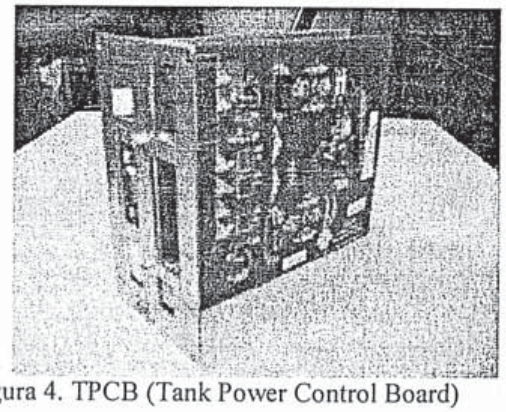


Figura 4. TPCB (Tank Power Control Board)

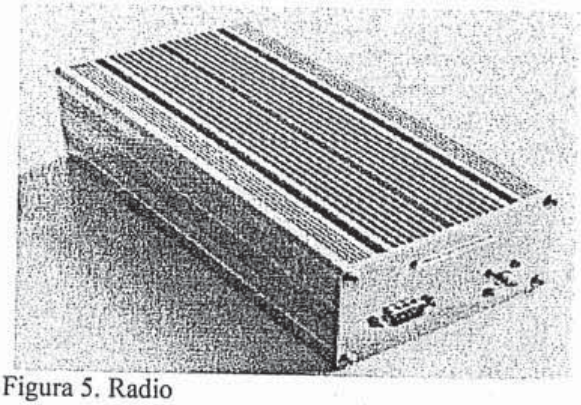


Figura 5. Radio

3.1.3 Software y lugar de aplicación

El software está formado por un conjunto de programas implementados para reconocer cada tipo de falla. El lugar de aplicación del mismo puede ser:
Laboratorio: donde puede ser utilizado con fuente de alimentación conectores USB-serie, cables y conectores SMA para conectar la placa de adquisición con los tubos fotomultiplicadores.
Campo: mediante dispositivo portátil o PDA se puede ejecutar el mismo en un detector de superficie ya que todos los elementos como sistema de alimentación y comunicación se encuentran en el detector.

1. SECUENCIA DEL PROGRAMA IMPLEMENTADA EN EL ORDENADOR PORTÁTIL

- Ejecución de comandos:
  Aprovechando los comandos de prueba ya existentes en la UB, el sistema los ejecuta para reconocer cada falla en particular, respetando un orden o secuencia. Cada subprograma del software de diagnostico posee un conjunto de estos comandos, cada resultado del grupo de comandos son escritos en un mismo archivo denominado archivo de resultado en el directorio raíz de esta placa. A continuación se detallan algunos de los comandos utilizados frecuentemente durante las pruebas y funcionamiento de un detector de superficie.
  - ubid: indica el número de serie de la placa previamente grabado en el proceso de fabricación.
  - adc: realiza la lectura de las tensiones, temperatura y corrientes del sistema de alimentación y fotomultiplicadores.
  - gocalib: calibración de los tubos fotomultiplicadores.
  - minispy: inspecciona el estado del hardware como así también la generación de eventos T1, T2 y T3.
  - reboot: realiza un reset a la placa UB.
  - gpsiotest: verifica las entradas y salidas (I/O) pertenecientes al receptor de gps incluyendo su conexión a la placa UB.
  - ttagtest: el TTAG es el temporizador que registra los eventos de interés determinando el tiempo exacto en que ocurrió el evento. Este comando verifica el correcto funcionamiento de dicho dispositivo.

Toda la secuencia de comandos para una prueba determinada se escribe en un archivo temporal que será enviado a la placa UB. mediante protocolo Kermit. Cabe mencionar que estos son solo algunos de los comandos utilizados, los mismos son integrados dentro un programa para realizar una prueba en particular no llegando a ser transparentes para el operador.

- Escritura de resultados de comandos de la electrónica de superficie en un archivo de resultado.
  Cada grupo de comandos son escritos en un archivo distinto para cada subprograma en particular en el directorio raíz de la placa UB.
- Transferencia de datos a la PC.
  El archivo es transferido al directorio actual de la PC a través del puerto serie.
- Borrado del archivo.
  Luego de ser transferido a la PC el archivo temporal es borrado del directorio raíz de la placa UB.
- Interpretación y evaluación de información.
  Como mencionamos anteriormente Perl posee un gran sistema de procesamiento de texto de esta forma busca e interpreta la información contenida en los archivos para su posterior evaluación. Esta evaluación puede consistir en obtener un resultado o interactuar con una base datos para almacenar información. Por ejemplo en el archivo que se genera después de la ejecución de los comandos ya anteriormente mencionados se encuentra la versión de software propietario que posee la placa UB, mediante Perl se extrae esta información buscando una secuencia de caracteres, el programa mostrará como resultado la versión de software propietario.

La herramienta de esta forma, está desarrollada para que el técnico pueda ejecutar el programa sin necesidad de conocer los comandos propios de la placa UB, esto permite realizar un diagnóstico de la estación local en forma rápida.

4 DESCRIPCIÓN DE LA APLICACIÓN

A continuación se muestra el menú de la aplicación desarrollada en el ordenador portátil.

- Chequear el estado de los roms.
  El sistema operativo y el software de adquisición se almacena en la memoria flash mediante los directorios denominados roms a continuación se detalla el contenido de uno de los 7 roms.
  rom1: home made utilities
  rom2 : OS9 standart utilities
  rom3 : Network utilities
  rom4 : Acquisition programs
  rom5 : Acquisition configuration
  rom6 : General services
  rom7 : UB test programs
  Las placas U.B. para su correcto funcionamiento deben tener en condiciones todos los directorios roms de lo contrario no podrían ejecutarse los comandos incluidos en cada directorio, por ejemplo una falla frecuente de un kit de electrónica de superficie que retorna al laboratorio es que no ejecuta el comando adc, como consecuencia de estar dañado el rom 4 .Este primer subprograma chequea el tamaño de los archivos comparándolo con los 7 roms de tamaño preestablecido por el software de esta forma podemos determinar el estado de cada rom para luego re-grabarlo.
- Flashear los roms de la UB.
  Este subprograma graba todos los 7 roms en la memoria flash ya que la placa electrónica regresa al laboratorio con varios directorios dañados.
- Flashear los roms 4, 5, 7.
  Frecuentemente al retornar al laboratorio las placas contienen los rom 4,5 y 7 dañados, se re-graban estos directorios chequeados previamente con el subprograma del ítem 1, empleando menos tiempo en su ejecución.
- Flashear los roms 1, 2 y 4.
  También se realiza con el objeto de minimizar los tiempos de grabado de directorios. Graba los roms 1,2 y 4 chequeados previamente con el subprograma del ítem 1. Los roms 1 y 2 poseen los comandos propios del sistema operativo OS9000
- Calibración de PMTs.
  En este subprograma se verifica el funcionamiento de cada fotomultiplicador, en la calibración se busca los valores adecuados para el nivel de disparo y ganancia de los tubos fotomultiplicadores modificando la tensión de los mismos.
- Reboot de radio.
  Se verifica la comunicación existente entre el transceptor o radio y la placa UB La radio realiza un reset a la placa UB, en modo inverso esta placa realiza un reset a la radio.
- Verificación si la estación envía de T2.
  En un principio este tipo de falla era detectado desde el Sistema Central de Adquisición de Datos (CDAS). Este programa verifica si la estación está enviando correctamente los eventos T2 generados en la estación local de lo contrario existe una falla. Normalmente cada estación genera 100 T1 por segundo y 20 T2 por segundo.
- Verificación si hay conexión con al menos 3 satélites del sistema de posicionamiento global (GPS).
  Este subprograma verifica la conexión con los satélites además determinan las coordenadas de la estación local y la fecha actual.
- Visualización de los histogramas de la placa FE.
  El objetivo de este subprograma es verificar el funcionamiento de la placa de adquisición FE mediante la inspección de las curvas características de cada fotomultiplicador las cuales son tomadas por la placa de adquisición FE, la gráfica queda almacenada en los archivos histo.dat de la U.B.
- Prueba de UB.
  La prueba de UB realiza un chequeo de las variables lentas, conversores DA, time tagging, puertos serie, tensiones de los reguladores DC-DC y verificación de puertos.
- Prueba de TPCB.
  La prueba de TPCB verifica las variables de alimentación del detector de superficie de esta manera podemos determinar si existe un desperfecto en las baterías y panel solar o una mala conexión , el programa toma las variables de entrada al conversor A/D seleccionadas para

verificar los parámetros de TPCB, comparamos dichas variables con los valores preestablecidos en el software dentro de un rango de comparación, si la lectura de la variable esta fuera de este rango el programa indica una falla en esta variable.

- Verificación de los sensores de temperatura en los PMT1, PMT2 y PMT3.
  La temperatura de cada fotomultiplicador es un dato que frecuentemente es utilizado por el CDAS durante el monitoreo de cada detector. Este subprograma realiza un chequeo de la conexión de los sensores de temperatura de los fotomultiplicadores.
- Chequeo de la versión actual de software.
  Todos los detectores de superficie instalados deben poseer la misma y actual versión de software, caso contrario la electrónica del detector es llevada al laboratorio para grabar la versión actual, este proceso también puede ser realizado desde el CDAS aunque es lento y reiteradas veces la comunicación es interrumpida.
- Chequeo de las tensiones en los PMT1, PMT2 y PMT3.
  Verifica si son correctas las tensiones de los fotomultiplicadores luego de una calibración, si no hay tensión el subprograma indica que no existe conexión.

5 PRIMEROS ENSAYOS

Los primeros subprogramas se fueron desarrollando a través de la experiencia y conociendo el tipo de fallas frecuentes cuando la electrónica de superficie era recuperada del campo para un posible mantenimiento de esta forma se fueron integrando a un programa principal.

6 CONCLUSIÓN

Se comprobó que la herramienta descripta en el presente trabajo pudo ser usada por el técnico sin conocimientos previos de los comandos propios de la placa electrónica UB, optimizando las tareas de mantenimiento.
El dispositivo portátil permitió realizar reparaciones complejas fuera del laboratorio, evitando el traslado de equipos.
El software desarrollado comenzó a utilizarse en el laboratorio Pierre Auger de la Universidad Tecnológica Nacional F.R.M. para implementar nuevas pruebas en Mendoza y realizar un seguimiento de reparaciones que no podían realizar los técnicos en Malargüe, creando un soporte a la distancia. Este soporte solo puede realizarse en problemas que no involucren la utilización o la calibración de PMTs. La instalación del software no presenta complejidad por lo que cualquier PC que cumpla con los requerimientos mínimos se puede utilizar para soporte a la distancia.

REFERENCIAS

[1] Pierre Auger Project Technical Design Report Draft. Marzo 2004

[2] S. Colonges, The Unified board quick guide. Enero 2006

[3] F. Suárez, Curso SDE-CDAS, OPA, Malargüe 2002.

[4] B. García, M. Videla, C. Rumbo, J.P. Góngora Electrónica del Superficie del Observatorio Pierre Auger : Aportes para la implementación de una línea de producción, 2005.

CODAREC6: Transición. Implementación de Túnel 6to4

C.Taffernaberry, G.Mercado, A.Dantiacq, S.Pérez & R.Moralejo
{carlos_taffe,gmercado, alejandrod, santiagocp,rmoralejo}@frm.utn.edu.ar
Grupo UTN GridTics, Departamento de Electrónica, Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional

RESUMEN: La Internet actual utiliza un protocolo de comunicaciones, conocido como IPv4; ha funcionado con éxito por más de 25 años pero hoy está al límite de su diseño, principalmente por el agotamiento de la cantidad de direcciones IP disponible. En 1995 el Internet Engineering Task Force (IETF) desarrolló un nuevo protocolo de Internet para su reemplazo. Este nuevo protocolo, denominado IPv6, fundamentalmente incrementa el espacio de direcciones, aunque también agrega nuevas funcionalidades requeridas. Como actualmente millones de máquinas están conectadas a Internet usando IPv4, es imposible realizar el pasaje a IPv6 de forma inmediata y simultánea en todas ellas. Si bien la IETF ha definido un conjunto de mecanismos de Transición, los mismos deben aún ser evaluados en su eficacia y usabilidad. Por tal motivo, este trabajo hace una enumeración de las herramientas y mecanismos con los que se cuentan para lograr una transición suave hacia el nuevo protocolo, dependiendo del escenario que se trate. Final se explica con detalle la implementación en el "Codarec6 Test Bed" de uno de los mecanismos descriptos, llamado Túnel 6to4.

Palabras clave: Internet - Protocolo IP - Redes Avanzadas - Internet 2 - Túnel 6to4

ABSTRACT: Despite the fact that the current Internet Protocol -known as IPv4- has successfully served for more than 25 years, it is nowadays reaching its own design limits, showing itself unable to provide an adequate response to actual desirable features. In 1995 the Internet Engineering Task Force (IETF) started developing a new Internet protocol, called IPv6, to replace the older one, that contemplates improvements fundamentally in addressing space, and new required functionalities.Nowadays millions of host are interconnected using IPv4 and it's impossible switch to IPv6 immediately and simultaneous in every host. The IETF has defined a set of mechanisms to do the transition, but they need to be evaluated.This work enumerates the tools and mechanisms available to do a smooth transition to the new protocol. Finally is explained in detail the implementation in the "Codarec6 Test Bed" a described mechanism, the 6to4 Tunnel.

Key Words: Internet - IP Protocol - Advance Networks – Internet2 – 6to4 Tunnel

1 INTRODUCCIÓN

EI protocolo IPv4 comienza a dar señales de debilidad. Después de 20 años, la versión 4 del protocolo de Internet (IP) ya no puede seguir brindando respuestas adecuadas, sobretodo en cuanto al paulatino agotamiento de las direcciones IP disponibles, un proceso que culminará en unos pocos años, al ritmo actual de crecimiento de Internet. Formadas por cuatro grupos de tres números cada uno, las direcciones IP identifican a cada uno de los dispositivos (PC, servidor, PDA, teléfono móvil, electrodomésticos, automóviles...) conectados a la red mundial que forma Internet y permiten que la información enviada llegue efectivamente al destino deseado. Ante el enorme crecimiento de usuarios de Internet, que hoy tienen exigencias distintas a las de hace unos años, las poco más de cuatro mil millones de direcciones en todo el mundo que posibilita el IPv4 se han vuelto insuficientes. [1]

La necesidad de ambientes siempre funcionando ("always-on environments", como Internet residencial a través de accesos de banda ancha, cable módem, o Ethernet-to-the-Home) para ser contactables, excluye conversiones de direcciones IP. Técnicas de pooling y asignación temporaria y "plug and play", que requieren los dispositivos para el hogar con conexión a Internet, ampliarán los requerimientos de direcciones. [2].

Finalmente en 1992 la Internet Engineering Task Force (IEFT), convocó a la comunidad de investigadores para estudiar alternativas superadoras para el IPv4. El resultado llegó en 1995 y se llamó IPv6 (Internet Protocol versión 6) [3]. Si bien por estos días IPv6 es especialmente atractivo para los pioneros en los sectores de redes inalámbricas, de juegos, de uso doméstico, redes de investigación nacional conectadas a nivel mundial, organismos militares y gobierno, una vez estandarizada, entre 2005 y 2008, ofrecerá:

- Direccionamiento extendido: Con 128 bits para la dirección IP, hará innecesario el uso de NAT y direccionamiento privado.
- Calidad de Servicio (Qos): IPv6 puede diferenciar los paquetes de datos como pertenecientes a un flujo particular, y así otorgar un ancho de banda en función de cada necesidad, ya sea para correo electrónico, comunicaciones de voz o videoconferencia.
- Capacidades de autentificación y privacidad: IPv6 emplea como parte integral el entorno de seguridad IPSec, que no está implementado en los hosts del IPv4 en forma nativa.
- Autoconfigurable: en IPv6 los nodos no necesitan ser configurados manualmente.
- Simplificación del formato del encabezamiento: Es más sencillo y su tamaño es fijo. Se han suprimido campos como el checksum, tos y fragmentación, y agregado uno para identificar flujos de datos. Las funciones de los campos eliminados se logran con encabezados de extensión, que permiten incorporar nuevas características al protocolo, como IPSec o movilidad.

Desde hace tiempo en el GridTICs de UTN Mendoza se ha venido trabajando en el protocolo IP6. Se ha generado el proyecto CODAREC6: IPv6 Test Bed [4], como herramienta para el implementación de redes experimentales IPv6, que se continua con el proyecto actual CODAREC6: Intranet [5], para el estudio de la transición en campus universitarios. Una de las tareas más importantes es la transición del viejo protocolo al nuevo IPv6. Después de varios intentos, algunos de ellos fallidos, para llevar adelante la migración de sistemas, la IETF ha formado el grupo de operaciones, el v6ops [6]. El objetivo del v6ops es llevar adelante y fomentar la transición a IPv6 con aportes de la comunidad de Internet y poniendo el foco en la aspectos operacionales y de seguridad.

En este trabajo se utiliza una versión mejorada del IPv6 Test Bed, como el que se muestra en la Fig: 1.

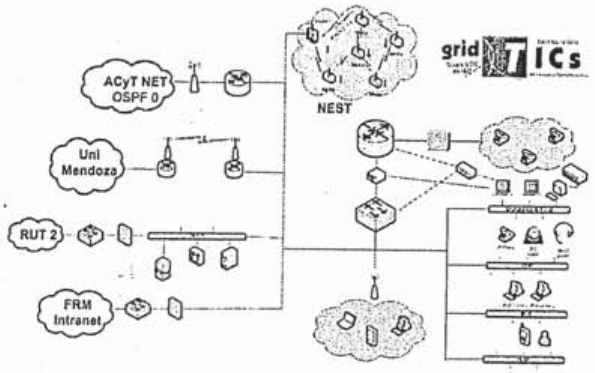


Figura 1: Codarec6: Ipv6 Test Bed

2 ALTERNATIVAS DE TRANSICIÓN

El soporte de IPv6 está ahora extensamente disponible tanto para la mayoría de los hosts como

para routers; ya sea en un nodo sencillo, una red hogareña o en un gran sitio empresarial.
Si se desea tener comunicación con otros sistemas de IPv6, es vital obtener una comunicación con la Internet global IPv6 configurando convenientemente los sistemas locales. Los despliegues redes solo-IPv6 son raros y la realidad práctica nos muestra que sitios que despliegan IPv6 no hacen la transición directamente a IPv6, sino primero hacen una transición a un estado intermedio dónde existen IPv4 e IPv6 (mecanismo de pila dual) [7]. La expansión de la funcionalidad de IPv6 desde una pequeña infraestructura a una red grande puede ser una aventura compleja y difícil. Pero si se planea eficazmente, el despliegue puede hacerse en una manera escalonada y controladamente. Para un sitio grande hay muchos diferentes requisitos y diferentes condiciones, lo que hace necesario emplear varios mecanismos de transición según las peculiaridades de, por ejemplo, una subred dada, ambiente inalámbrico o móvil, una tecnología dial-in, etc. [8]

2.1 *Pila Dual (Doble Stack)*

Uno de las maneras conceptualmente más fáciles de introducir IPv6 en una red, es el denominado "mecanismo de pila dual" [9]. Por este método un host o un router estarán provistos con ambas pilas de protocolos, IPv4 e IPv6, en el sistema operativo. Cada nodo, denominado "nodo IPv4/IPv6", se configura con ambas direcciones IPv4 e IPv6. Por consiguiente los dos envían y reciben datagramas que pertenece a ambos protocolos y así podrán comunicarse con cada nodo IPv4 e IPv6 en la red. Ésta es la manera más simple y deseable de coexistencia y es, en general, el próximo paso en la evolución, antes de una transición más profunda, hacia una Internet mundial solo IPv6.
Un desafío en el despliegue de una red IPv6/IPv4 con pila dual, es la configuración del ruteo tanto externo como interno para ambos protocolos. Si se ha estado usando OSPFv2, por ejemplo, se debería hacer la transición a un protocolo que sea capaz de rutear ambos protocolos IPv4 e IPv6 como IS-IS u OSPv3 en vez de OSPFv2.

2.2 *Túneles*

Para crear redes IPv6, las técnicas de Túneles operan sobre la infraestructura disponible de IPv4 sin tener que hacer cambios en el ruteo IPv4 ni en los routers. Este método se usa a menudo donde la infraestructura completa - o parte de ella - no es todavía capaz de ofrecer la funcionalidad de IPv6 nativa. Por consiguiente el tráfico de IPv6 tiene que cruzar la red IPv4 existente, lo cual es posible con varias técnicas del tunnelling. Estas técnicas son a menudo escogidas como un primer paso probar el nuevo protocolo y empezar integración de IPv6.
Tunnelling, llamada también encapsulación, es un proceso por el que la información de un protocolo se encapsula dentro del paquete de otro protocolo, permitiendo llevar así los datos originales encima del segundo protocolo. El proceso de túnel involucra tres pasos: encapsulación, desencapsulación y administración del túnel. Se requiere dos extremos del túnel, los cuales son generalmente nodos de pila dual IPv4/IPv6 (normalmente routers), que se ocupan de la encapsulación y la descapsulación. Un túnel puede configurarse de cuatro maneras diferentes: [10]

1. De router a router, que extiende un segmento de la ruta de extremo a extremo entre dos host. Éste probablemente es el método más común.
2. Host a router, que extiende el primer segmento de la ruta de extremo a extremo entre dos host, tal como puede encontrarse en un tunnel broker.
3. Host to Host, lo cual es la ruta completa extremo a extremo entre dos host.
4. Router a host, que extiende el último segmento de la ruta de extremo a extremo entre dos host.

Dependiendo de qué tipo se use, un túnel podría ser "configurado" (ambos lados necesitan ser configurados de acuerdo), "semi-configurado" (sólo un extremo tiene que ser configurado, los otros lados actúan como pasarelas) o "automático" dónde casi nada necesita ser hecho.

3 DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LOS MECANISMOS Y HERRAMIENTAS

En este capítulo se detallarán los diferentes mecanismos de transición para los escenarios de "pila dual" y "técnicas de túnel".

3.1 *Pila Dual (Doble Stack)*

Como se mencionó anteriormente no hay mecanismos de transición involucrados, pues los host ya tienen integrado IPv6. Para construir un nodo de pila dual, solo es necesario habilitar en el Sistema Operativo el soporte IPv6. [11]
De esta manera el nodo se convierte en un nodo "híbrido" y dependiendo de la resolución de nombres será el protocolo que usará para cada

requerimiento en particular. De acuerdo a lo mostrado en la Figura 2
Un backbone se dice que es de pila dual si todos los routers y switchs capa 3 pueden manejar tanto IPv4 como IPv6.

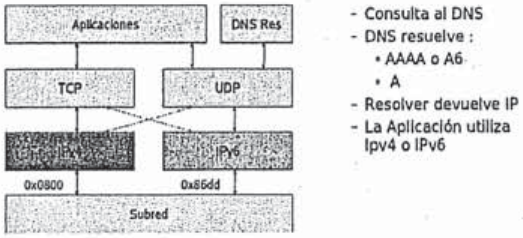


Figura 2: Detalle de funcionamiento de Pila Dual

3.2 *Implementación de Túneles*

Esta sección describe los métodos para transportar IPv6 sobre redes IPv4 existentes, lo que trae aparejado algún tipo de mecanismo de túneles.

3.2.1 Túneles Configurados

Los túneles configurados se definieron en [11] como túneles IPv6-sobre-IPv4. Éste tipo de túneles son punto a punto y deben ser configurados manualmente en los dos extremos. Si bien es más tediosa la configuración, pues deben intervenir los administradores de ambos extremos, a la hora de controlar las rutas y reducir ataques de denegación de servicio son más convenientes que los túneles automáticos. Debido a que en la actualidad no hay demasiados proveedores que ofrezcan IPv6 nativo, si se tiene posibilidad de tener conectividad hacia un sitio ya conectado a IPv6, una forma muy estable y segura es que el tráfico IPv6 sea encaminado por este tipo de túneles. Como deben ser configurados manualmente, es recomendable no usar demasiados. Si se desea conectar muchos host dual stack para darles acceso a IPv6, hay otros métodos específicamente diseñados, como tunnel brokers, 6to4, Teredo o ISATAP (los cuales de detallan a continuación). Se detalla en la Figura 3 el acceso a IPv6 que tenía el "Codarec6" en los primeros tiempos, a través de la UTN regional La Plata. [4]

Figura 3: Acceso a 6Bone de Codarec6

3.2.2 Tunnel Brokers

En lugar de configurar manualmente cada extremo de los túneles, es posible correr scripts para automatizar la tarea. Esta alternativa "automática" se denomina tunnel broker [12]. La filosofía básica de los tunnel broker es permitir al usuario que ese conecte a una página web, opcionalmente que ingrese datos de autentificación y recibir un script que deberá correr en su host para establecer un túnel IPv4-IPv6 contra el servidor del tunnel broker.
El proveedor del servicio necesita brindar un servicio de web en IPv4 y un router de pila dual capaz de aceptar comandos de configuración automáticos para crear los nuevos túneles hacia los host remotos de los clientes. Esto es posible hacerlo en una sola máquina.
El requerimiento principal para este servicio es saber que túnel pertenece a que usuario.
Los Tunnel brokers deberían poder usarse para conectar hosts de pila dual aislados o para conectar redes enteras. En este último caso, el host que obtenga el túnel debería ser en realidad un Router con soporte IPv6.
Un tunnel broker es una importante ayuda para la transición; habilita fácilmente el acceso a redes IPv6, y en la actualidad existen varios sitios que ofrecen acceso a estos servicios. A la hora de elegir un servicio de tunnel broker, es importante la cantidad de saltos o hops hasta el mismo, pues todos los paquetes traficados con IPv6 tendrán adicionada esa demora; por lo que es importante seleccionar tunnel brokers nacionales.

3.2.3 Túneles Automáticos

Este tipo de mecanismo de túnel fue uno de los primeros en desarrollarse, pero también uno de los primeros en ser reemplazado por otros métodos mas sofisticados. Usa como extremos del túnel direcciones IPv6 del tipo IPv4-compatible. [13]
La dirección del nodo destino está especificada en el paquete que está siendo encapsulado por el túnel. Debido a esto, este método solo puede ser usado en comunicaciones host-a-host o router-a-host, pues son los únicos esquemas en los que el nodo destino también es el extremo del túnel. Esta es la causa de que solo funcione para túneles IPv6 over IPv4 y no en sentido inverso.
Si bien el mecanismo no es obsoleto, se recomienda seleccionar otras soluciones como ISATAP o 6to4. Una de las causas se basa en que la conectividad que resulta de estos túneles carece de una estructura en el dominio IPv6.

3.2.4 Túnel 6to4

Este mecanismo de transición [10] es una forma de túneles router-a-router que utiliza un prefijo

asignado por IANA (2002::/16) para designar los sitios participantes en la técnica 6to4.
Permite que dominios IPv6 aislados se comuniquen con otros dominios IPv6 con una mínima configuración. Un sitio IPv6 aislado se asignará a si mismo una dirección global con prefijo 2002:ADDR_IPv4::/48, donde ADDR_IPv4 es la dirección global IPv4 configurada en la interfase de salida del router de acceso a Internet.
Este prefijo tiene exactamente el mismo formato que un prefijo normal /48, y por ello permite a un dominio IPv6 usarlo como cualquier otro prefijo /48 válido. En un escenario en donde dominios 6to4 quieren comunicarse entre si, no es necesaria la configuración explícita de los túneles. Las direcciones IPv4 de los extremos del túnel son determinados al extraerlos del prefijo global IPv6 de la dirección destino del paquete IPv6 a transmitir. Adicionalmente, los routers 6to4 no necesitan correr ningún protocolo de enrutamiento IPv6, pues el encaminamiento IPv4 es el encargado de realizar la tarea. Se puede ver en la Figura 4 los aspectos descriptos.

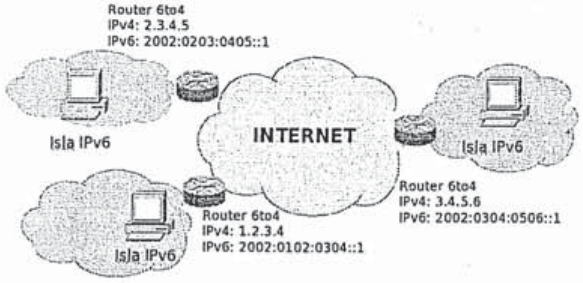


Figura 4: Direcciones IPv6 de routers 6to4

Ahora, cuando los dominios 6to4 desean comunicarse con dominios IPv6 nativos, la situación se vuelve más compleja. En este caso, la conectividad entre los dominios es manejada por medio de routers relays, que son esencialmente routers que tienen como mínimo una interfase del tipo 6to4 y al menos una interfase con dirección IPv6 nativa. A diferencia del escenario previo, se debe usar un protocolo de encaminamiento exterior IPv6. Un router relay publica el prefijo 2002::/16 en su ruteo IPv6 nativo y adicionalmente, puede publicar rutas IPv6 nativas en su interfase 6to4.
Los routers relay pueden ser descubiertos usando anycast para IPv4 [13].
El uso más común del mecanismo 6to4 es para routers IPv6 de borde. Otros métodos como ISATAP o direccionamiento nativo IPv6 pueden ser usados dentro del sitio.

3.2.5 Túnel 6 over 4

Los túneles 6over4, [14], interconectan host IPv6 aislados en un sitio por medio de una encapsulación IPv6-in-IPv4 sin explicitar túnel alguno. Usa las direcciones IPv4 como identificador de interfases y crea un enlace virtual usando un grupo multidifusión IPv4 con alcance local. Este método no es de los favoritos, debido a varias razones, incluyendo entre las principales el escaso soporte de multidifusión en los sitios y en los ISP.
Existen un pequeño número de implementaciones como las realizadas por 3Com y Cisco, pero prácticamente sin adopciones en el mercado, por lo que hace poco recomendable su uso.

3.2.6 Tunnel ISATAP

Una alternativa a los túneles 6over4 son los túneles ISATAP (Intra-Site Automatic Tunnel Addressing Protocol) [15].
ISATAP también utiliza la infraestructura IPv4 como enlace virtual, pero no hace uso de multidifución, por lo que el enlace es NBMA (Non-Broadcast Multiple Access).
ISATAP, al igual que 6over4, crea un identificador de interfase basado en la dirección IPv4 de la interfase. Las direcciones en ISATAP pueden ser configuradas manual o automáticamente, pero la dirección IPv4 de la interfase debe estar embebida en los últimos 32 bits de la nueva dirección IPv6.
Al igual que 6over4, la dirección IPv4 debe ser única, y si es usada para acceder a Internet, debe ser global.
Como la dirección IPv4 siempre está embebida en la dirección IPv6, la resolución de direcciones es trivial. Se debe tener en cuenta que para que funcionen las router solicitations, el host debe haber aprendido de alguna manera las direcciones IPv4 de los posibles routers ISATAP (por DHCP, DNS, TEP, configuración manual etc), y enviará entonces solicitaciones de manera unicast. El router siempre envía advertisements de manera unicast y solo como respuesta a la solicitación del host. Cada host ISATAP enviará regularmente solicitaciones a los routers ISATAP que conozca. ISATAP se ha implementado en algunas plataformas como Windows XP y Cisco IOS [16], aunque se sacó de la pila dual de USAGI para Linux.

3.2.7 Túnel Teredo

Teredo, también conocido como un traslado de direcciones de red (NAT) para IPv6, se diseñó para

que hosts IPv4 obtengan direcciones IPv6 a través una o más capas de NAT [17] creando túneles sobre el protocolo UDP. Este es un mecanismo de túneles automáticos de host a host que provee conectividad IPv6, mientras que los hosts dual stack se ubican detrás de uno o más NATs, por encapsulamiento de paquetes IPv6 en mensajes UDP de IPv4. Teredo usa dos entidades: un Server Teredo y un Relay Teredo. El Server escucha requerimiento de los clientes en el puerto 3544 del protocolo UDP, respondiendo con una dirección IPv6 para que la usen. Las direcciones Teredo tienen la siguiente estructura: Prefijo Teredo (32 bits) : Dirección IPv4 del Servidor Teredo : Flags (16 bits) : Puerto externo (16 bits) : Dirección externa (32bit).
El método reenvía paquetes IPv6 (con IPv4 encapsulado) enviados desde el cliente al Teredo Relay, y también redirige los paquetes recibidos desde el Teredo Relay. Esta técnica es por lejos una herramienta de "último recurso", solo diseñada para cuando ningún otro método funcione. El método usado por Teredo es complejo, y no se puede garantizar que trabaje correctamente debido a la gran cantidad de distintas implementaciones de NAT.

4 IMPLEMENTACIÓN DE TÚNEL 6TO4

4.1 *Objetivos*

El objetivo principal que nos llevó al desarrollo de un túnel 6to4 en nuestro "Codarec6 test bed" fue evaluar el acceso directo a IPv6, para de esta forma no tener que depender de ningún sitio intermedio con acceso a la nube IPv6 (UTN-FRLP), ni de la consiguiente configuración manual de los extremos del túnel.

4.2 *Requisitos para la Implementación*

Para la implementación se necesitaron los siguientes elementos:

- Router con Sistema Operativo GNU/Linux , distribución Fedora C5 o superior [18]:
  - Verificación de IPv6 habilitado como módulo en el kernel.
  - Instalación el paquete initscripts versión 6.02 o superior.
  - Instalación el paquete iproute.
  - Instalación de paquete radvd.
- Disponer de una dirección IPv4 global y única, preferentemente estática.
- No estar bloqueado el protocolo 41(IPv6-inIPv4) por parte del ISP.

Se pudo verificar en la Figura 5 que el sistema operativo cumplió con los requisitos enumerados

```
#cat /etc/redhat-release
Fedora Core release 5 (Bordeaux)
lsmod | egrep ipv6
ipv6                  275969  35 sit
# rpm -q initscripts
                    initscripts-8.31.6-1
# rpm -q iproute
iproute-2.6.16-1.fc5
# rpm -q radvd
radvd-0.9.1-1.1.1
```

Figura 5: Comandos para verificar los requisitos

4.3 *Configuración*

Se realizaron los siguientes pasos en el Router:
Habilitación IPv6 en el arranque y especificación de que la pseudo interfase 6to4 sea el gateway IPv6 por defecto. Para ello se adicionaron las siguientes directivas al archivo de configuración general de redes.(/etc/sysconfig/network) como indica la Fig: 6.

```
#echo "NETWORKING_IPV6=yes" >> /etc/sysconfig/
   network
#echo "IPV6INIT=yes" >> /etc/sysconfig/network
#echo""IPV6_DEFAULTDEV=tun6to4">>/etc/
   sysconfig/network
```

Figura 6: Habilitación IPv6

Se configuró la interfase conectada a la dirección IPv4 global, que en nuestro caso fue la eth1, para que al momento de iniciarse, automáticamente iniciara el túnel 6to4, de acuerdo a la Figura 7

```
#echo "IPV6INIT=yes" >> /etc/sysconfig/network-
   scripts/eth1
#echo " IPV6TO4INIT=yes" >> /etc/sysconfig/
   network-scripts/eth1
```

Figura 7: Interfase tun6to4

Se detuvo e inició nuevamente la interfase real, verificando el inicio de la pseudo Interfase tun6to4. Cabe destacar que, de acuerdo a lo detallado en el punto 3.2.3, el formato de la dirección global IPv6 cumplió con lo especificado en [19]. La Figura 8 mostró que los bits del 17 al 48 de la dirección global IPv6 (aad2:ee19) se correspondieron con la dirección pública IPv4 (170.210.238.25), a excepción de la notación en la que se presentaron. Queda como tarea para el lector la conversión de representaciones.

```
#  ifdown eth1 ; ifup eth1
#  ip address show tun6to4
8: tun6to4@NONE: <NOARP,UP,10000> mtu 1480
    qdisc noqueue
    link/sit 170.210.238.25 brd 0.0.0.0
    inet6 2002:aad2:ee19::1/16 scope global
       valid_lft forever preferred_lft forever
```

Figura 8: Dirección IPv6 Global

A partir de ese momento quedó configurado y operativo el Router con soporte IPv6 y una dirección IPv6 global.

4.4 *Entrega de IPv6 a la red interna*

Para proveer IPv6 a la red interna (conectada en nuestro caso a la eth0), se habilitó el encaminamiento de paquetes IPv6 como se indica en la Figura 9.

```
# echo "IPV6FORWARDING=yes" >> /etc/sysconfig/
    Network
```

Figura 9: Habilitación de ruteo IPv6

Adicionalmente se configuró y arrancó el servicio de router advertisement [20], llamado radvd. Se detalla también en la Figura 10.

```
# cat /etc/radvd.conf
        interface eth0
        {
    AdvSendAdvert on;
            MinRtrAdvInterval 3;
    MaxRtrAdvInterval 10;
    prefix 0:0:0:c0da::/64
          {
           Base6to4Interface eth1;
                    AdvPreferredLifetime 120;
                    AdvValidLifetime 300;
          };
        };
#
# /etc/initd.d/radvd start
```

Figura 10: Configuración. Radvd

Se pudo observar que al configurar el prefix, se configuraron los 16 bits de la subred, de acuerdo a lo especificado por [19].

4.5 *Ensayos*

Se ejecutaron las siguientes pruebas de conectividad desde el Router IPv6 hacia sitios IPv6 nativos.

```
# host -t AAAA whatismyv6.com
whatismyv6.com has IPv6 address 2001:4810::110
# ping6 whatismyv6.com
PING whatismyv6.com(www.whatismyv6.com)
56 data bytes
64 bytes from www.whatismyv6.com: icmpseq=0
ttl=58 time=317 ms
64 bytes from www.whatismyv6.com: icmpseq=1
ttl=58 time=315 ms
64 bytes from www.whatismyv6.com: icmpseq=2
ttl=58 time=316 ms
64 bytes from www.whatismyv6.com: icmpseq=3
ttl=58 time=354 ms
64 bytes from www.whatismyv6.com: icmpseq=4
ttl=58 time=317 ms
--- whatismyv6.com ping statistics ---

5 packets transmitted, 5 received,
0% packet loss, time 4007ms
rtt min/avg/max/mdev
= 315.759/324.454/354.514/15.061 ms, pipe 2
```

Figura 11: Verificaciones para Router

Se verificó el advertisement por direcciones IPv6 multidifusión para la interfase de la red local [13].

```
# tethereal -i eth0
Capturing on eth0

0.000 fe80::215:60ff:feed:da5c -> ff02::1
ICMPv6 Router advertisement
8.875 fe80::215:60ff:feed:da5c -> ff02::1
ICMPv6 Router advertisement
16.467 fe80::215:60ff:feed:da5c -> ff02::1
ICMPv6 Router advertisement
19.556 fe80::215:60ff:feed:da5c -> ff02::1
ICMPv6 Router advertisement
```

Figura 12: Advertisement

Por último se verificó la dirección global de una máquina de la red interna, distinta del Router, y una prueba de conectividad a la nube IPv6 como se ve en la Figura 13

```
$ ip addr show eth0
2: eth0: <BROADCAST,MULTICAST,UP,LOWER_UP>
mtu 1500 qdisc pfifo_fast
    link/ether 00:11:d8:23:3c:de brd
    ff:ff:ff:ff:ff:ff

    inet6 fe80::211:d8ff:fe23:3cde/64
    scope link
    inet6 2002:aad2:ee19:cc0da:211:
    d8ff:fe23:3cde/64 scope global
       valid_lft forever preferred_lft forever
$
$ host -t AAAA www.deepspace6.net
www.deepspace6.net has IPv6 address
2001:760:2e01:1::dead:beef
$
$ ping6 www.deepspace6.net
PING www.deepspace6.net(2001:760:2e01:1::
   dead:beef) 56 data bytes
64 bytes from 2001:760:2e01:1::dead:beef:
   icmp_seq=0 ttl=56 time=314 ms
64 bytes from 2001:760:2e01:1::dead:beef:
   icmp_seq=1 ttl=56 time=313 ms
64 bytes from 2001:760:2e01:1::dead:beef:
   icmp_seq=2 ttl=56 time=313 ms
64 bytes from 2001:760:2e01:1::dead:beef:
   icmp_seq=3 ttl=56 time=313 ms
64 bytes from 2001:760:2e01:1::dead:beef:
   icmp_seq=4 ttl=56 time=315 ms
--- www.deepspace6.net ping statistics ---
5 packets transmitted, 5 received, 0%
    packet loss, time 18636ms
rtt min/avg/max/mdev = 313.162/313.875/
    315.087/0.856 ms, pipe 2
```

Figura 13: Verificaciones para host interno

4.6 *Mejoras*

Si es necesario configurar direcciones globales IPv6 statefull y no autoconfiguradas como es este caso, se deberá implementar el protocolo DHCPv6 [21] o alguno similar. Esto permitirá darle al administrador de la red mayor control de las direcciones públicas a asignar, sobre todo por cuestiones de seguridad.

5 CONCLUSIONES

Tarde o temprano Internet migrará inevitablemente a su versión IPv6. El presente trabajo pretende ser una guía del abanico de herramientas o métodos disponibles en la actualidad para su Transición. Dependiendo de la necesidad, es el método recomendable para implementar.

No están incluidos en el presente los pasos o consideraciones para migrar la red local LAN a IPv6, que es una etapa debe ser realizada previamente.

Se puede concluir que la implementación de un Túnel 6to4 no es compleja y permite rápidamente entrar en el mundo IPv6. Así lo demuestra nuestra experiencia llevada a cabo en el laboratorio de IPv6 denominado CODAREC6. Esto hace que no sea necesario esperar que los proveedores ISP den conectividad nativa a IPv6 para poder utilizarla.

Por último creemos que el presente trabajo y el trabajo que lleva a cabo el grupo GridTics, contribuye a la capacitación, difusión y formación de recursos humanos para afrontar en inminente cambio al protocolo de Internet versión 6 en la región.

REFERENCIAS

[1] Robert L. Fink "IPv6—What and Where It Is", The Internet Protocol Journal, Volume 2, Number 1, March 1999

[2] Douglas E. Comer "Redes Globales de Información con Internet y TCP/IP", Pearson PH, Tercera Edición, 1996, ISBN 0-13-219687

[3] S. Deering y R. Hinden, "Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification," RFC 2460, December 1998.

[4] C. Taffernaberry, A. Dantiacq Picolella, G. Mercado y A. Francisconi "CODAREC6: AN IPv6 TEST BED", XII CACIC, Octubre 2006, Potrero de los Funes, San Luís

[5] G. Mercado, C. Taffernaberry, A. Dantiacq Piccolella, S. Pérez, J. J. Ciarlante, R. Moralejo, "Diseño y simulación de la implementación de tecnologías y procedimientosde transición del protocolo IPv6 en INTRANETS usando un `IPv6 test bed`", IX WICC 2007, Mayo 2007 - TRELEW - CHUBUT - ARGENTINA

[6] IPv6 Operations (v6ops) http://www.ietf.org/html.charters/v6ops-charter.html

[7] Pete Loshin "IPv6: Theory, Protocol and Practice", Morgan Kaufmann, Segunda Edición, 2004, ISBN 1-55860-810-9

[8] T. Chown, "IPv6 Campus Transition Scenario Description and Analysis", Internet-Draft, March 2007

[9] R. Gilligan, E. Nordmark, "Transition Mechanisms for IPv6 Hosts and Routers", RFC 2893, August 2000

[10] B. Carpenter, K. Moor, B. Fink, "Connecting IPv6 Routing Domains Over the IPv4 Internet", IPJ, March 2000 Vol 3, Number 1

[11] S. Roy, J. Paugh, A. Durand, "Issues with Dual Stack IPv6 on by Default", Internet-Draft, July 2004

[12] A. Durand, P. Fasano, I. Guardini, D. Lento, "IPv6 Tunnel Broker", RFC 3053, January 2001

[13] C. Huitema, "An Anycast Prefix for 6to4 Relay Routers", RFC 3068, June 2001

[14] B. Carpenter, C. Jung "Transmission of IPv6 Packets over IPv4 Domains without Explicit Tunnels (6over4)", RFC 2529, March 1999

[15] F. Tremplin, T. Gleeson, M. Talwar, D. Thaler, "Intra-Site Automatic Tunnel Addressing Protocol (ISATAP)", RFC 4214, Oct 2005.

[16] JOIN-The IPv6 project at the Center for Information Processing, http://www.join.uni-muenster.de/Dokumente/Howtos/Howto_ISATAP

[17] C. Huitema. "Teredo: Tunneling IPv6 over UDP through Network Address Translations (NATs)", RFC 4380, February 2006.

[18] Fedora - Sistema Operativo basado en GNU/Linux, http://fedoraproject/

[19] B. Carpenter, K. Moore "Connection of IPv6 Domains via IPv4 Clouds", RFC 3056, Febrary 2001

[20] S. Thomson, Bellcore, T. Narten "IPv6 Stateless Address Autoconfiguration", RFC 2462, Dicember 1998

[21] R. Droms, Ed., J. Bound "Dynamic Host Configuration Protocol for IPv6 (DHCPv6)", RFC 3315, July 2003

Cálculo paralelo con Ruby

E. Millán Kujtiuk & C. García Garino & O. León
{emillan,cgarcia,oleon}@itu.uncu.edu.ar
LAPIC, Instituto Tecnológico Universitario, Universidad Nacional de Cuyo

RESUMEN: El presente trabajo discute el empleo del lenguaje Ruby en entornos de Computación Distribuida. Con este fin se brinda una introducción al lenguaje y las características que posibilitan su empleo en cálculo paralelo. Se presenta un problema de aplicación sencilla como resulta el cálculo del producto matricial. Este problema, relativamente simple, es útil para analizar las capacidades y rendimiento del código resultante, teniendo en cuenta que se trata de un intérprete. Se comparan diferentes versiones del código y distintas clases para representar los arreglos matriciales.

Palabras Claves: Computación paralela - producto de matrices - Ruby

ABSTRACT: This work discusess the use of Ruby language in distributed computing environments. An introduction to the language is provided and some parallel features are presented as well. A simple problem like Matrix Product is tested. This problem, rather simple, is useful in order to analyze the capabilites and perfomance of the obtained code, taking into account that Ruby is an interprete. Different versions of the language and various matrix array classes are compared in the work.

Key Words: Parallel Computation - Matrix product - Ruby

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad se presenta la necesidad de resolver problemas cada vez más complejos que requieren de mucho poder de cálculo. Este trabajo discute una alternativa al desarrollo de aplicaciones paralelas basadas en MPI Ref. [1]. Éstas generalmente son costosas en cuanto a tiempo de desarrollo, depuración del código y mantenimiento.
El trabajo se enfoca en el uso de un lenguaje de scripting totalmente orientado a objetos llamado Ruby Ref. [2]. Se presenta un caso práctico completo para el producto de matrices cuadradas. El pasaje de información a los equipos esclavos se hace totalmente en Ruby y entonces no es necesaria la utilización de un middleware. Los tiempos de implementación y mantenimiento son menores que los necesarios para lenguajes de alto nivel (Fortran, C, C++) y MPI, aunque se pierden algunas de las ventajas de estos casos.
Es importante tener presente que Ruby es un lenguaje de scripting que se interpreta en tiempo de ejecución. Luego el rendimiento es mucho menor al de un programa desarrollado y compilado con un lenguaje de alto nivel como C.
En el contexto de un proyecto destinado a desarrollar aplicaciones de cálculo intensivo, Ruby ahorra tiempos de desarrollo e implementación del código, en desmedro del tiempo de ejecución, aspecto que puede paliarse con las capacidades de hardware actual. El mantenimiento de las aplicaciones también es más sencillo con Ruby. El uso de un paradigma orientado a objetos trae muchos beneficios para el programador, y acerca más a los investigadores hacia el desarrollo del algoritmo, ya que el lenguaje Ruby es mucho más amigable que C.

2. INTRODUCCIÓN AL LENGUAJE RUBY

En esta sección se presentan algunas características del lenguaje. Primero se brinda una breve reseña de la programación orientada a objetos, luego se introducen las características de Ruby y finalmente se introduce el empleo de Ruby en entornos distribuidos.

2.1. *Fundamentos de programación orientada a objetos*

Los métodos de desarrollo orientados a objetos han relevado a la programación estructurada, los programas de objetos son extensibles, más cercanos a los usuarios y más fáciles de mantener. La orientación a objetos se construye alrededor de conceptos como la encapsulación y la modularidad que favorecen un estilo de programación defensivo. Estos programas presentan una resistencia mayor frente a los cambios Ref. [3].
Algunas de las características más importantes del paradigma de programación orientado a objetos: abstracción, encapsulación, herencia y polimorfismo.
En la Tabla 1 se muestra una comparación de ventajas y desventajas que generalmente se encuentran presentes en lenguajes con bajo y de alto nivel de abstracción.

Tabla 1: Ventajas y desventajas de lenguajes según nivel de abstracción

Lenguajes	Ventajas	Desventajas
Alto nivel de abstracción	- Sintaxis sencilla- Tipos de datos fuertes - Descripción cercana al problema - Menor tiempo de desarrollo - Menor tiempo para modificaciones - Independencia de la plataforma (hard+SO)	- Menor velocidad de ejecución - Mayor consumo de memoria
Bajo nivel de abstracción	- Mayor velocidad de ejecución- Menor consumo de memoria	- Sintaxis compleja - Tipos de datos más débiles (coerción, etc.) - Descripción no cercana al problema - Mayor tiempo de desarrollo - Mayor tiempo para modificaciones - Dependencia de la plataforma (hard+SO)

2.2. *Características del lenguaje Ruby*

El lenguaje Ruby tiene muchas características que lo hacen un buen candidato para proyectos grandes. A continuación se presentan algunas de ellas: interpretado, orientado a objetos, sintaxis fácil y clara, variables no tipeadas, manejo de excepciones, expresiones regulares. Portable a varias plataformas, el intérprete de Ruby existe para muchas plataformas, incluyendo

Unix (Linux, BSD, etc), Windows, Dos, Mac y otros. Si no se usan librerías específicas del Sistema Operativo, el código es portable a otras plataformas sin realizar modificaciones en el mismo. Recolección de basura automática (Garbage Collector), liberación automática de memoria no utilizada por el programa, esto da menores errores, código más fácil, rápido y simple, aunque trae una reducción en la velocidad de procesamiento.

2.3. *Empleo de Ruby en el contexto de Computación Distribuida*

Para paralelizar Ruby se utilizan las clases llamadas TaskMaster Ref. [4]. y dRuby Ref. [5].
La clase dRuby permite distribuir objetos Ruby a través de varias computadoras conectadas mediante TCP/IP. El maestro envía un objeto principal al esclavo y este puede desde el mismo utilizar otros objetos. Esto funciona serializando (Marshalling) los objetos para enviarlos a través de la red a los esclavos. El proceso de serialización consiste en la transformación de un objeto a un archivo o un buffer de memoria, con el fin de transmitirlo como una serie de bytes a través de una conexión en red.
La clase TaskMaster puede distribuir tareas ejecutables (definidas por el programador) desde el maestro a los esclavos. Para ello, utiliza la clase dRuby. Los objetos a distribuir deben tener un método "run" en la definición de la clase, el cual define la tarea que el programador desea ejecutar en los equipos esclavos. Cuando un esclavo recibe un objeto ejecutable (es decir una clase que contiene un metodo "run"), invoca dicho método con el fin de ejecutar la tarea en el equipo esclavo.
Las clases que contiene el framework TaskMaster son Ref.[6]:
- Distributor: que se instancia con una lista de equipos esclavos, con el IP o FQDN de cada esclavo. Cuando un objeto tarea se envía a la clase Distributor (a través del método send_task), éste encuentra el siguiente equipo disponible y envía el objeto tarea a ese equipo para que comience a procesar el código asignado. Esta clase también determina cuándo un equipo ha terminado de ejecutar la tarea y llama al método harvest en la tarea que finalizó, que es el encargado de enviar los datos procesados del esclavo al maestro.
- SlaveProxy: que se encarga de las comunicaciones entre el objeto Distributor en el maestro y un equipo esclavo en particular. Los objetos tarea se envían a los esclavos a través de esta clase, que existe en el mismo equipo que el objeto Distributor. La clase SlaveProxy inicia un nuevo hilo cuando la clase Distributor envía un objeto tarea a un esclavo particular a traves del proxy. SlaveProxy hace un seguimiento del estado de disponibilidad de cada equipo esclavo, éstos no estarán disponible hasta que el nuevo hilo complete su tarea.
- Slave: que maneja la comunicación con la clase dRuby en las máquinas esclavas. También define funciones usadas para consultar a los esclavos distintos atributos (tipo de SO, versión de Ruby, directorio actual de trabajo, etc). El objeto Slave recibe los objetos tarea del maestro e invoca sus métodos run.
El programador necesita escribir las siguientes clases:
- task: que define el método run que contiene el código de la tarea ha ser ejecutada en el equipo esclavo. Una clase task también tiene que definir el metodo harvest, que es llamado por la clase Distributor después de que la tarea ha finalizado. Los resultados devueltos por el método harvest de la clase task se pasan al objeto reporter escrito por el programador.
- reporter: que define los métodos utilizados para obtener y reportar los resultados de los esclavos. El objeto reporter existe en el equipo maestro. Los programadores definen su propio método reporter que tiene que responder al método report.

3. CASO DE EJEMPLO: PRODUCTO MATRICIAL

Como caso de ejemplo se ha escogido el algoritmo de producto de matricial que es un caso de prueba relativamente simple, utilizado por los autores en trabajos anteriores Ref. [7, 8]. Primero se presenta el algoritmo en la subsección 3.1, luego en la subsección 3.2 se discute la implementación serie con Ruby, se analiza el caso paralelo de Ruby en la subsección 3.3 y finalmente en la subsección 3.4 el caso paralelo de C con MPI.

3.1. *Algoritmo*

El algoritmo de cálculo de un producto matricial, de matrices cuadradas densas implica el producto de $A_{NxM}\ x\ B_{MxQ} = C_{NxQ}$. El valor de un coeficiente genérico $c_{i,j}$ se calcula como lo indica la Ecuación (1). El cálculo de cualquier elemento de la matriz resul-

tante C, es independiente del cálculo de los restantes elementos de la matriz. Luego este caso es un "buen candidato" para paralelizar, ya que los cálculos pueden realizarse en forma concurrente.

$$c_{i,j} = \sum_{k=1}^{k=n} a_{i,k} \, x \, b_{k,j} \qquad (1)$$

3.2. *Implementación serial en Ruby*

Las Tablas 2 y 3 muestran los códigos Ruby que permiten el procesamiento serial del producto de matrices. El algoritmo se basa en el empleado en la Ref. [9].

Tabla 2: Código serial en Ruby, archivo serial2.rb

```
#!/usr/bin/ruby
# Version 2
require "common_2"
n = ARGV[0] == nil ? 10 : ARGV[0].to_i
$o=m=r=n
$count=0
m1 = mkmatrix(m, n)
m2 = mkmatrix(n, r)
t1 = Time.now
m3 = mmult_serial(m1, m2, n, m)
t2 = Time.now
puts n.to_s + " " + (t2-t1).to_s
```

3.3. *Algoritmo paralelo en Ruby*

El algoritmo paralelo escogido es muy simple y funciona de la siguiente forma: primero se envía a cada esclavo la matriz A y matriz B completa. Luego se envía a cada esclavo el número de fila inicial y final que le corresponde, junto con el orden de la matriz. Si hay un sobrante de filas, se envían al último esclavo. Una vez que cada esclavo termina, devuelve una matriz con el cálculo que le correspondía realizar al maestro. El maestro es el encargado juntar todas las porciones. El tiempo inicial se fija al comienzo del envio de los datos a cada esclavo y el tiempo final se mide cuando terminó de calcular el último esclavo. No se consideraron los tiempos de creación de las matrices A y B, tampoco se tiene en cuenta el tiempo de creación de la matriz C, si se considera el tiempo de armado de la matriz C temporal en cada uno de los esclavos.
Se decidió enviar las filas sobrantes al último esclavo para facilitar el desarrollo del código. Se podrían haber distribuido equitativamente entre varios esclavos, variante que se analizará en trabajos futuros.

Tabla 3: Metodos utilizados para la creación y producto de matrices, archivo common_2.rb

```
def mkmatrix(rows, cols)
 mx = Array.new(rows)
 (0 .. (rows - 1)).each do |bi|
  row = Array.new(cols)
  (0 .. (cols - 1)).each do |j|
   row[j] = $count
   $count += 1
  end
  mx[bi] = row
 end
 mx
end
def mmult_serial(m1, m2, rows, cols)
 m3 = Array.new(rows)
 (0 .. (rows - 1)).each do |i|
  row = Array.new(cols, 0)
  (0 .. (cols - 1)).each do |j|
   val = 0
   (0 .. (cols - 1)).each do |k|
    val += m1.at(i).at(k) * m2.at(k).at(j)
   end
   row[j] = val
  end
  m3[i] = row
 end
 m3
end
```

En la Tabla 4 se puede ver que el código del algoritmo es simple, corto y no requiere llamadas a funciones de middleware como MPI. Incluso se puede utilizar el mismo esqueleto de código para varios algoritmos distintos. En trabajos futuros se optimizará el código para lo cual se estudiará la información a enviar a los esclavos.

Tabla 4: Porción de código que muestra el envio de tareas a los esclavos, archivo master_matriz_2.rb

```
matrix_A = mkmatrix(n, r)
matrix_B = mkmatrix(n, r)
num_maquina = 0
num_slaves = distrib.availableSlaves.length
filas = (n/num_slaves).to_i
sobrante = (n %num_slaves).to_i
startTime = Time.now
(distrib.availableSlaves).each {
 inicial = filas * num_maquina
 final=((num_maquina == num_slaves-1) && (sobrante >0)) ?
  (filas + inicial + sobrante - 1 ) : (filas + inicial - 1)
 distrib.send_task(MTask.new(final,inicial,m),
    ([matrix_A,matrix_B]))
}
distrib.wait
endTime = Time.now
reporter.final_report
puts n.to_s + " " + (endTime-startTime).to_s
```

3.4. *Algoritmo paralelo en C*

En las Tablas 5 y 6 se muestran parcialmente el código escrito en C y MPI para procesar en paralelo el producto matricial. La Tabla 5 corresponde al nodo maestro y la Tabla 6 a un nodo esclavo.
Como se observa en las Tablas 5 y 6, en éstas se incluyen llamadas a MPI. Además, de la comparación de la Tabla 4 y la Tabla 5 surge que la instrucción en Ruby para enviar los datos a los nodos esclavos (send_task) es mucho más compacta que la sintaxis de C y MPI que requiere tres instrucciones MPI_Send para la matriz A y una MPI_Bcast para la matriz B.

4. EXPERIMENTOS COMPUTACIONALES

Primero se discute el caso serial, en la subsección 4.1, y luego en 4.2 se analiza el problema paralelo para, finalmente, discutir los resultados en 4.3.

4.1. *Casos seriales con Ruby*

Con el fin de analizar las posibilidades de Ruby se diseñaron diferentes implementaciones del código serial discutido en la subsección 3.2. Las mismas difieren en la clase de Ruby utilizada para los arreglos multidimensionales. Se utilizó una clase para implementar matrices de 2 dimensiones Ref.[10]; también se utilizó una clase de arreglos multidimensionales; una clase propia de Ruby y finalmente una clase llamada NArray Ref.[11]. Los diferentes códigos resultantes se denominan versiones 1 a 4, respectivamente.
En la Tabla 7 se muestran los tiempos obtenidos con las diferentes versiones ensayadas. Puede observarse que la versión 4, basada en la clase NArray es la que mejor resultado produjo, posiblemente debido a que es una clase optimizada para operaciones matriciales. De los tiempos de cálculo listados en la Tabla 7 surge que la versión 4 del código incluso es más rápida que la del lenguaje C.
También se probaron las versiones 1.8.7 (estable) y 1.9.0 (en desarrollo) del lenguaje para realizar los experimentos computacionales. En general la versión 1.9.0 fue más rápida. Esta versión contiene el compilador de bytecode YARV, que lo hace hasta 3 veces más rápido que Ruby 1.8.7. Si bien la versión 1.9.0 todavía no es estable da una idea del potencial del intérprete de Ruby.
Los tiempos de desarrollo de las versiones utilizadas en las pruebas fueron del orden de 5 horas, aspecto que es una de las ventajas de Ruby.

Tabla 7: Comparación de versiones entre Ruby y C, matriz 100x100, tiempo en segundos

Versión	*Ruby 1.8.7*	*Ruby 1.9.0*	*C*
1	42	16	$23\,10^{-3}$
2	2,2	0,97	$23\,10^{-3}$
3	3,05	1,07	$23\,10^{-3}$
4	$34\,10^{-4}$	$39\,10^{-4}$	$23\,10^{-3}$

El código se ejecutado en una computadora con procesador Athlon 64 X2 3600+ de 2 GHz, caché L1 de 256 KB con 1 GB de RAM. Dado que el algoritmo es serial, se utiliza un solo núcleo de los dos disponibles.

4.2. *Casos paralelos*

Los casos de prueba se llevaron a cabo en ocho procesadores sobre cuatro equipos AMD Opteron Processor 242, de 1,6 GHz y con 2 GB de RAM cada uno, que tienen instalado Debian Lenny kernel 2.6.18skas. El tiempo de instalación del script en los equipos esclavos es trivial. Copiar y ejecutar el script en 9 esclavos tomó 15 minutos. Una vez completadas las tareas los esclavos ya están listos para recibir objetos para procesar.

4.2.1. *Algoritmo paralelo Ruby*

En la Fig. 1 se muestran los tiempos para cuatro procesadores Opteron con Ruby 1.9.0 que da mejor rendimiento que Ruby 1.8.7. Se utilizó la Versión 2 del código serial para realizar el algoritmo paralelo.
En la Fig. 2 se muestran los tiempos de Ruby 1.8.7 y Ruby 1.9.0 en el cluster de equipos Opteron para ocho procesadores.
En la Tabla 8 se muestran el Speedup (S= Tiempo Serial / Tiempo Paralelo) y la Eficiencia (E=Speedup / número procesadores) obtenidos para el caso de una matriz de dimensión 2048, para cuatro y ocho procesadores. Los tiempo indicados están en segunos.

Tabla 8: Speedup y Eficiencia, matriz de 2048x2048

# Procesadores	1	4	8
Tiempo	44507	14237	8716
Speedup		3.126	5.106
Eficiencia		0.781	0.638

El tiempo de cálculo serial obtenido con C en Ref.

Tabla 5: Porción de código de C con MPI del maestro

```
int main (int argc, char *argv[]) {
 matrix_t * A, *B, *C;
 MPI_Status status;
 ok = MPI_Init (&argc, &argv);
 MPI_Comm_size (MPI_COMM_WORLD, &cantProcesos);
 MPI_Comm_rank (MPI_COMM_WORLD, &idProc);
 NCA = NCB = NFA = atoi (argv[1]);
 A = set_matrix (NFA, NFA);
 B = set_matrix (NFA, NFA);
 C = set_matrix (NFA, NFA);
 cantProcHijos = cantProcesos - 1;
 if (idProc == 0) {
  promedio = NFA / cantProcHijos;
  sobrante = NFA % cantProcHijos;
  desplaza = 0;
  for (nodoDest = 1; nodoDest <= cantProcHijos; nodoDest++) {
   cantFilxProc = (nodoDest <= sobrante) ? promedio + 1 : promedio;
   MPI_Send(&desplaza, 1, MPI_INT, nodoDest, 0, MPI_COMM_WORLD);
   MPI_Send(&cantFilxProc, 1, MPI_INT, nodoDest, 0, MPI_COMM_WORLD);
   MPI_Send(Address(A,desplaza,0),cantFilxProc*NCA,MPI_DOUBLE,nodoDest,0,MPI_COMM_WORLD);
   desplaza = desplaza + cantFilxProc;
  }
  MPI_Bcast (B->entries, NCA * NCB, MPI_DOUBLE, PADRE, MPI_COMM_WORLD);
  for (origen = 1; origen <= cantProcHijos; origen++) {
   MPI_Recv(&desplaza, 1, MPI_INT, origen, 0, MPI_COMM_WORLD, &status);
   MPI_Recv(&cantFilxProc, 1, MPI_INT, origen, 0, MPI_COMM_WORLD, &status);
   MPI_Recv(Address(C,desplaza,0),cantFilxProc*NCB,MPI_DOUBLE,origen,0, MPI_COMM_WORLD,&status);
  }
 }
```

Tabla 6: Porción de código de C con MPI para los esclavos

```
MPI_Recv (&desplaza, 1, MPI_INT, PADRE, 0, MPI_COMM_WORLD, &status);
 MPI_Recv (&cantFilxProc, 1, MPI_INT, PADRE, 0, MPI_COMM_WORLD, &status);
 MPI_Recv (A->entries, cantFilxProc * NCA, MPI_DOUBLE, PADRE, 0, MPI_COMM_WORLD, &status);
 MPI_Bcast (B->entries, NCA * NCB, MPI_DOUBLE, PADRE, MPI_COMM_WORLD);
 for (k = 0; k <NCB; k++)
  for (f = 0; f <cantFilxProc; f++) {
   Entry (C, f, k) = 0.0;
   for (c = 0; c <NCA; c++)
    Entry (C, f, k) = Entry (C, f, k) + Entry (A, f, c) * Entry (B, c, k);
  }
 MPI_Send (&desplaza, 1, MPI_INT, PADRE, 0, MPI_COMM_WORLD);
 MPI_Send (&cantFilxProc, 1, MPI_INT, PADRE, 0, MPI_COMM_WORLD);
 MPI_Send (C->entries, cantFilxProc * NCB, MPI_DOUBLE, PADRE, 0, MPI_COMM_WORLD);
 }
 MPI_Finalize ();
```

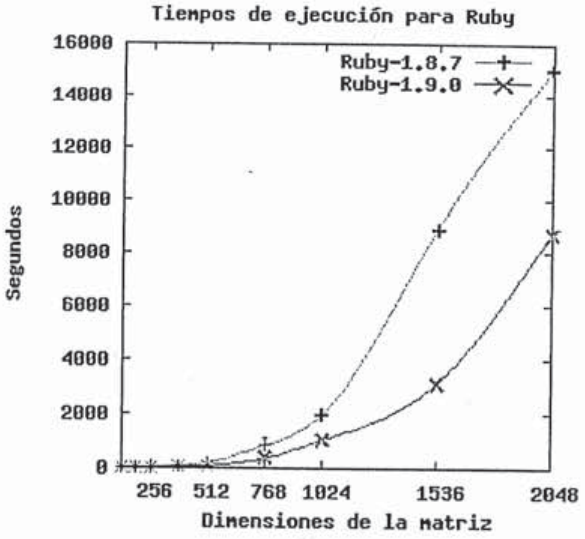


Figura 1: Algoritmo paralelo para cuatro procesadores

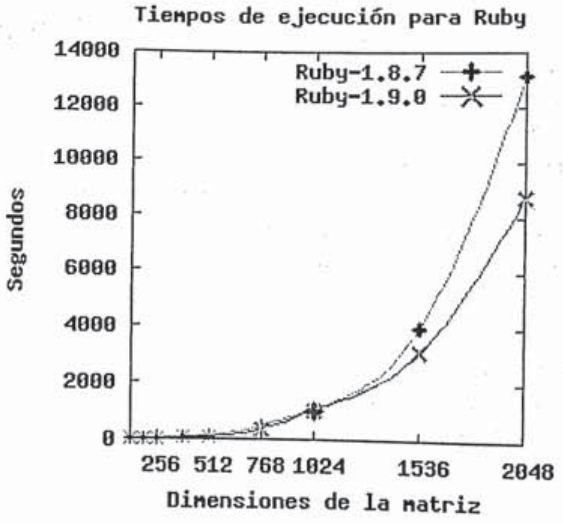


Figura 2: Algoritmo paralelo para ocho procesadores

[8]. es de 320 segundos para una matriz de dimensión 2048, mucho menor que el de Ruby paralelo.

4.3. *Discusión de los resultados*

Se observa que el algoritmo de C se comporta de forma mucho más rápida y óptima que el algoritmo de Ruby. Esto se debe a varios motivos:
- El código de Ruby es interpretado, no compilado como es el caso de C.
- Antes de enviar los datos a cada nodo, Ruby los serializa, este proceso es costoso en cuanto a tiempo y consumo de memoria RAM.
- Se está teniendo en cuenta la transferencia de datos de envio de objetos a los esclavos y el tiempo en que los esclavos devuelven el cálculo terminado.
- El código de Ruby no está optimizado, desde el punto de vista de las comunicaciones ya que se envía la Matriz A y B completas a cada esclavo.

5. CONCLUSIONES

- En el trabajo se ha mostrado la potencialidad del lenguaje Ruby para procesar problemas en paralelo.
- El código obtenido es relativamente simple, de fácil mantenimiento y se ha desarrollado en corto tiempo.
- Los rendimientos no fueron un factor buscado en este trabajo. Se ha observado una incidencia importante de la clase escogida para la gestión de arreglos en el tiempo de cálculo.
- En trabajos futuros se contempla optimizar la herramienta paralela desarrollada, con el fin de mejorar los tiempos de cálculo .
- La clase NArray, que en funcion de los resultados obtenidos aparece como un buen candidato para gestionar los arreglos, requiere de algunas modificaciones para su empleo en forma distribuida.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo financiero recibido de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT), mediante los Proyectos PICTR 184 y Subproyecto 4 del PAV 127.

REFERENCIAS

[1] J. Dongarra, I. Foster, G. Fox, W. Gropp, K. Kennedy, L Torczon and A. White: Source of Parallel Computing, Morgan Kauffman, 2003.

[2] Ruby - www.ruby-lang.org/en/, Consultado el: 28 de julio de 2008.

[3] P. Muller. Modelado de objetos con UML, Eyrolles, 1997.

[4] Clase TaskMaster. Disponible en: www.aracnet.com/~ptkwt/ruby_stuff/TaskMaster/ Consultado el: 2 de Agosto de 2008.

[5] Clase dRuby. Disponible en:

www.ruby-doc.org/stdlib/libdoc/drb/rdoc, Consultado el: 2 de Agosto de 2008.

[6] P. Tomson - Articulo del autor de TaskMaster. Disponible en: www.ddj.com/web-development/184405145 , Consultado el: 2 de agosto de 2008.

[7] O. León & C. García Garino. Programación Paralela con MPI, Segundo Congreso Internacional CIDI Cuyo, Mendoza, 13 al 15 de Abril de 2005.

[8] N. Costa, C. Catania, C. García Garino, O. León y M. Silva: Cálculo de Productos Matriciales en Cluster Beowulf. Desarrollos e Investigaciones Científico-Tecnológicos en Ingeniería, Rivera, S. y Núñez Mc Leod J. (Eds.), Anales del Congreso ENIDI 2006, pp. 37-44, Fac. de Ingeniería, UN-Cuyo, ISBN 987-05-1360-3, 2006.

[9] O. León y C. García Garino: Calculo Matricial en Ambientes Paralelos, Ponencias del 10 Encuentro Nacional de Docentes de Matemática en Carreras de Ingeniería, EMCI, San Juan. (En CD). 2005.

[10] B. R. Preiss, B.A.Sc., M.A.Sc., Ph.D., P.Eng. Data Structures and Algorithms with Object-Oriented Design Patterns in Ruby. Disponible en: www.brpreiss.com/books/opus8/html/book.html Consultado el: 1 de Agosto de 2008.

[11] Clase NArray. Disponible en: narray.rubyforge.org/ , Consultado el: 4 de Agosto de 2008.

Sistema Monitor de Funcionamiento para los Detectores de Fluorescencia del Observatorio Pierre Auger

P. Caif, J. Gitto, B. Sanchez

pcaif@frm.utn.edu.ar; jgitto@frm.utn.edu.ar; bsanchez@frm.utn.edu.ar
Laboratorio Pierre Auger; Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional

RESUMEN: Se presenta una síntesis global de las técnicas y componentes informáticos desarrollados para el sistema de monitoreo dentro de un entorno de programación complejo que requiere codificación precisa y validación en el sitio del Observatorio Pierre Auger. El monitoreo del funcionamiento de los detectores de fluorescencia es una tarea concurrente a las actividades de adquisición de datos primaria. Su objetivo es la permanente vigilancia de los parámetros del soporte físico y lógico de los telescopios y su comparación con valores de referencia. El sistema monitor ha de permitir el almacenamiento de los parámetros de operación leídos, mensajes de error y advertencias para su visualización en línea o recuperación para análisis posteriores.

Palabras clave: sistema – monitoreo – funcionamiento – fluorescencia - programación

ABSTRACT: A synthesis is exposed to give a glance of the computer software components developed for the performance monitoring system within a complex programming framework that requires precise codification and validation in the site of the Pierre Auger Observatory. The fluorescence detectors performance monitoring is a concurrent task to the primary data acquisition activities. Its objective is the permanent monitoring of the hardware and software telescope parameters and its comparison with reference values. The monitoring software must provide capabilities to store the read operation parameters, error and warning messages that would to allow on-line display or Its recovering for later analysis.

Key Words: system – monitoring – performance – fluorescence -software

1 OBJETIVOS

El objetivo de este proyecto es desarrollar un prototipo de sistema informático para monitorear el funcionamiento de los telescopios de fluorescencia (FD) del PAO [1] y su validación en los sitios de desarrollo y emplazamiento final en Alemania y Malargüe.

1.1 *Objetivos particulares*

Definir las metodologías de implementación del código de programación realizando:

- Evaluación y elección de los entornos y ambientes de programación en SO Linux que posibiliten la integración con el marco de trabajo de Auger.
- Generación y optimización de códigos de programas para su integración y operación efectiva en los telescopios.
- Aplicar técnicas de conversión de programas en procesos demonios e integración con rutinas de E/S mediante protocolo TCP/IP.
- Crear un método de acceso estándar a los programas de monitoreo de cada telescopio destinado a terceras aplicaciones.

1.2 *Antecedentes*

La necesidad de monitoreo sistemático de los parámetros de los detectores de fluorescencia correspondientes a los telescopios, las cámaras, foto-tubos y sistema de control de variables lentas, ha sido considerada como tarea desde Marzo del 2000. Detalles más específicos del sistema a implementar fueron acordados en reuniones de trabajo durante Agosto del 2003 en Karlsruhe [2] y posteriores que se ajustan al reporte de diseño técnico (TDR) [3], del proyecto Pierre Auger. Estos marcan las pautas principales de este desarrollo y tareas realizadas por el grupo del laboratorio Auger UTN, Mendoza, en colaboración con los grupos del IK/IPE, Forschungszentrum Karlsruhe, Alemania y la Università degli Studi di Milano & INFN, Italia.

2 DESCRIPCIÓN GLOBAL

2.1 *Descripción del soporte físico, telescopios*

Los detectores de fluorescencia del observatorio Pierre Auger están conformados por cuatro complejos llamados "ojos", los cuales contienen seis telescopios de fluorescencia de 30° x 30° de apertura cada uno para cubrir una área celeste de 180° x 30° entre los seis de cada grupo. La organización de la electrónica sigue la estructura geométrica del detector. A su vez, cada telescopio llamado "espejo" se compone de una cámara con 440 foto-tubos (PMTs) que se interconectan con un sub-gabinete de electrónica y una computadora denominada "pc-espejo" que realiza la lectura primaria de datos. Cada sub-gabinete contiene 20 placas disparadores de 1er nivel (FLT) y una placa disparador de segundo nivel (SLT). El sistema completo consiste en 24 telescopios de óptica Schmidt con 10560 canales para lectura, distribuidos en cuatro estaciones u ojos detectores de fluorescencia. La tarea de supervisión y lectura de parámetros es realizada por medio de computadoras industriales, bajo el sistema operativo Linux. Las señales provenientes de los PMTs, debidamente conformadas, son digitalizadas y almacenadas mediante un proceso basado en técnicas de disparos que permiten iniciar la lectura de los pixeles o imágenes de la cámara, ante la ocurrencia de un evento.

Finalmente, una computadora de red (pc-ojo), comprime los datos, mejora la decisión del disparo, obtiene los parámetros de un mismo evento y los

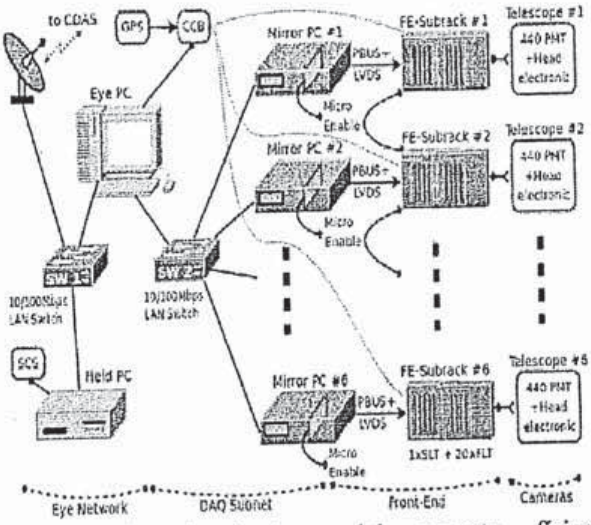


Figura 1. Arquitectura del soporte físico correspondientes a un ojo, red de comunicaciones

transfiere a las instalaciones del centro de adquisición de datos principal (CDAS).

Todo el complejo es operado remotamente mediante un sistema de control de variables lentas (SCS) que controla el encendido, apagado, apertura de compuertas y demás dispositivos de cada

telescopio. En la Fig. 1, puede observarse el esquema general.

2.2 *El sistema de monitoreo, soporte lógico*

El sistema monitor está estructurado por un conjunto de cuatro programas: MiMoD, EyeMoD, StaMoD y FDMonGUI. Los tres primeros, son procesos demonios y conforman el núcleo del sistema, mientras que el restante es un programa de aplicación para usuarios (UI/GUI), necesario para verificar el funcionamiento y visualizar los resultados .
La Fig. 2 muestra el concepto global desde el punto de vista de los programas que componen el sistema; este esquema sólo muestra los principales componentes informáticos del mismo.

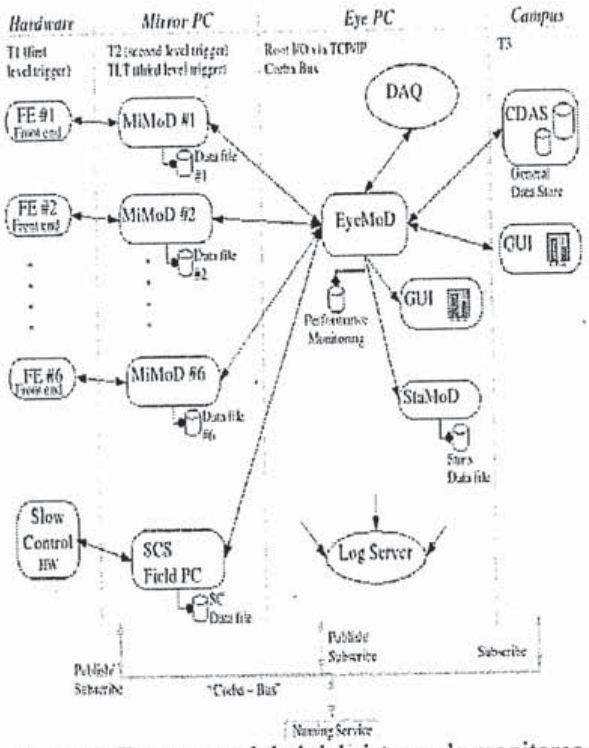


Figura 2. Estructura global del sistema de monitoreo, programas componentes.

2.3 *Descripción de los programas, interacción*

Según premisas de diseño, cada uno de los MiMoD adquiere datos directamente de la electrónica conectada al respectivo telescopio, los compara con valores de referencia y almacena los datos en una memoria temporal de 500 palabras. EyeMoD colecta periódicamente datos del sistema de control (SCS), del sistema de adquisición de datos (DAQ) y se conecta secuenciadamente a cada MiMoD. Los datos obtenidos son almacenados en una memoria temporal de 2000 palabras. El demonio StaMoD calcula la posición de estrellas visibles que serán "vistas" por las cámaras y marca los píxeles brillantes que serán excluidos del resultado de la comparación que hace MiMoD. Por último, los módulos UI/GUI son los programas encargados de verificar el funcionamiento de los procesos del sistema y presentar la información.

3 METODOLOGÍAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA MONITOR.

En primera instancia, se determinaron entornos de programación, lugar y tipo de repositorios para el trabajo colaborativo, utilizando para este propósito el sistema de control de versiones CVS [4].
Se utilizó como lenguaje base de programación el C++ [5], el ambiente de desarrollo integrado Kdevelop [6], bibliotecas QT [7] para el desarrollo de aplicaciones gráficas multiplataforma así como el conjunto de programas y librerías desarrolladas para acceder a la electrónica de los FD de Auger[8].
Para generar la documentación se utilizó el programa "Doxigen" [9] que permite crear la documentación a parir del código fuente de un programa o bien de un proyecto completo de programación. Doxigen permite la generación de la documentación en los formatos HTML, Latex, MS RTF, PostScrip, PDF y páginas del manual de Unix.
Como técnica de programación general, se decidió trabajar con el modelo orientado a objetos, debido a la naturaleza del desarrollo y los beneficios que provee dicha metodología. A saber: orden en el diseño de la aplicación, encapsulado de métodos, ocultamiento, abstracción, polimorfismo, herencia y modularidad entre otros.

3.1 *El marco de trabajo de Auger, metodología para el intercambio de datos*

La comunicación entre los procesos, debe optimizarse para mantener el tráfico de red tan bajo como sea posible, evitando cualquier congestión que interfiera en el proceso principal de adquisición de datos (DAQ). Por este requisito, se estudiaron y utilizaron tres técnicas distintas para la comunicación e intercambio de datos; las mismas son:
CORBA (Common Object Request Broker Architecture): es un mecanismo estándar que permite la interoperabilidad entre diferentes códigos

de programas escritos en diferentes lenguajes y ejecutados en diferentes plataformas de sistemas operativos [10].
ROOT: es un entorno de desarrollo para el análisis de datos. Soporta la transferencia de estructuras de datos polimórficos arbitrariamente complejas. Se usa para el intercambio de grandes volúmenes de datos sobre la red [11].
OPC (Object-Linking and Embedding for Process Control): es un estándar de comunicación de datos entre procesos industriales y el conjunto de los objetos, interfases y métodos, que facilita la interoperabilidad con dispositivos, instrumentos, controladores y programas en plataformas MS Windows, Linux y otras [12].

4 DESARROLO Y PRODUCCIÓN DEL CÓDIGO.

En la práctica, el proyecto requirió desarrollar los siguientes módulos comunes a los programas principales:
Módulo de memoria intermedia multidimencional de acceso aleatorio y refresco cíclico (RingBuffer).

- Módulo para la comunicación entre procesos vía red TCP/IP.
- Código para conversión de los programas a procesos demonios del sistema operativo (SO).
- Aplicación de interfase de usuario UI/GUI para ensayo, prueba y depuración del código.

4.1 *Módulo de memoria intermedia, estructura RingBuffer (RB).*

En este desarrollo se utilizaron conceptos de diseño orientado a objetos tales como constructores, herencia de clases y otros propios de este paradigma de programación.
Varios códigos fueron desarrollados para esta investigación. La Fig. 3, muestra el concepto general en el que puede verse la estructura de la clase RB.
A continuación se hace una breve descripción de las partes que componen el módulo RB explicitando parte su estructura interna y la definición de los objetos, clases y métodos para este módulo.

4.1.1 *RingBufferServer*

Es un proceso que se encarga de escuchar y proveer las solicitudes de petición de datos emitida por los clientes. Ejecuta los métodos correspondientes (heredados) de la clase RingBuffer para poder entregar los datos pedidos.

4.1.2 *Clase RingBufferFactory*

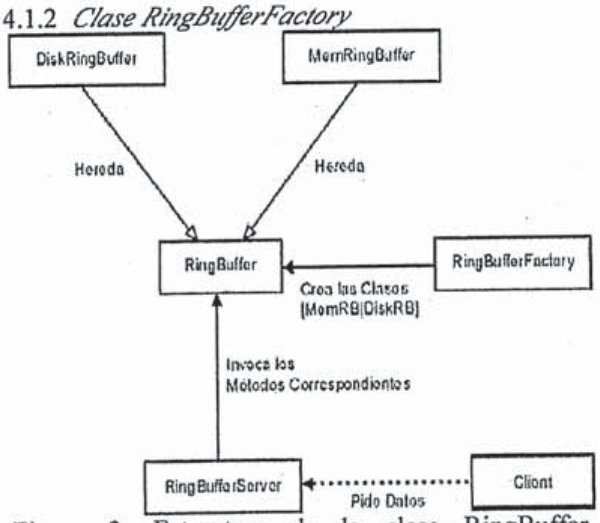


Figura 3. Estructura de la clase RingBuffer, principales componentes

Esta clase es la implementación del patrón "Factory" para la clase abstracta RingBuffer y las clases MemRingBuffer y DiskRingBuffer. Su función es dar visibilidad a los otros módulos creando las diferentes clases RB: MemRingBuffer o , DiskRingBuffer, según el valor enviado como parámetro.

4.1.2.1 *Miembros de Datos*

- static const short MEM_RING_BUFFER=0: constante que identifica a la clase MemRingBuffer.
- static const short DISK_RING_BUFFER=1: constante que identifica a la clase DiskRingBuffer.

4.1.2.2 *Métodos públicos*

Constructores:
- RingBufferFactory ():

Destructores:
- ~RingBufferFactory():

Métodos:
- static RingBuffer * create(const short type, const char * fileName="", const char * mode="update")
  Se encargarga de crear los diferentes tipos de clases RingBuffer. Mediante el parámetro "type" se especifica el tipo de matriz a crear. El parámetro fileName especifica la ruta del

archivo que será accedido y mode determina el tipo de acceso(update, read, recreate).

4.1.3 *Definición de la clase RingBuffer*

Este componente, se define como una clase abstracta de las cuales heredan las clases MemRingBuffer y DiskRingBuffer. Contiene todos los métodos virtuales que se implementan en las clases subordinadas.

4.1.3.1 *Métodos públicos*

Constructores:
- RingBuffer()

Destructores:
- virtual ~RingBuffer()

4.1.3.2 *Métodos Virtuales*

Se definen a partir de los métodos implementados por las clases que a su vez heredan de RingBuffer. Ejemplos de estos métodos son los siguientes:
virtual int writeLast(Matrix * Data)=0:
- virtual int writeGPSTime(Matrix * Data)=0:
- virtual int writePoint(Matrix * Data,const int nData)=0:
- virtual Matrix * readLast (void)=0:
- virtual Matrix * readGPSTime (int gpstime)=0:
- virtual Matrix * readPoint (int nData)=0:

4.1.4 *Clase DiskRingBuffer*

Su propósito es leer y almacenar los datos (objetos matrices), en un archivo. Para realizar éstas funciones utiliza la clase *Tmatrix* de Root. Esta clase guarda los datos de la matriz usando como llave o puntero el parámetro del telescopio llamado GPSTime. Como este último se trata de un número creciente y que no se repite, permite la posterior recuperación o modificación de datos sin ambiguedades. También utiliza otras clases pertenecientes a Root:
TFile: utilizada para crear un archivo root y obtener todas la funcionalidades que ofrece.
TList: utilizada para obtener un listado ordenado de las últimos 500/2000 registros que contiene el ringbuffer.
Tkey: utilizada para almacenar la llave de una matriz.

4.1.4.1 *Miembros de Datos*

- TFile *file: Es un puntero a un objeto TFile utilizado para mantener el archivo abierto y realizar las operaciones de lectura y escritura de matrix
- TList *keys: Mantiene una lista de las 500/2000 últimas matrices guardadas en el ringbuffer.

4.1.4.2 *Métodos públicos*

Constructores:
- DiskRingBuffer(const char * filename, const char * mode="update")
  Se encarga de abrir el archivo indicado en filename en modo "update" por defecto. Esto significa que si el archivo existe lo abre y se pueden agregar datos, si no lo crea. Otros modos pueden ser indicados en "mode" y son: "Read" (solo lectura) y "Recreate" (crea nuevamente el archivo borrando todos los datos)

Destructor:
- ~DiskRingBuffer(): cierra el archivo y libera la memoria.

4.1.5 *Clase MemRingBuffer*

Esta clase es la encargada de leer y alamcenar los objetos matrices en memoria. Para realizar éstas funciones utiliza la clase Tmatrix, Tlist y Tkey de Root. A ligual que la clase DiskRingBuffer, también utiliza como llave o puntero al parámetro GPSTime.

4.1.5.1. Métodos públicos

Constructores:
- MemRingBuffer(const char * filename, const char * mode): es el encargado de cargar en memoria el vector de las últimas 500/2000 matrices.

Destructor:
- ~MemRingBuffer(): libera el espacio de memoria utilizado por el arreglo de matrices.

4.1.6 *Client*

Este proceso es el "cliente" que realiza la petición de datos al servidor RingBufferServer. Los datos que pueden solicitar los clientes son:

- RawBufferRing: matriz de datos obtenidas del FE en un gpstime específico, un puntero o la última matriz procesada.

- ResultBufferRing: matriz de resultados obtenidas de la comparación entre datos con valores de referencia y los rangos de cada parámetro(Variance, Pedestal, Threshold, etc.). Determinada por un gpstime específico, un puntero o la última matriz procesada.
- Write RawBufferRing: escritura de la matriz de datos obtenida por el FE en un gpstime específico, un puntero o la última matriz procesada.
- Write ResultBufferRing: escritura de la matriz de datos de resultado en un gpstime específico, un puntero o la última matriz procesada.

4.2 *Módulo de comunicaciones TCP/IP, Entrada y Salida (I/O)*

La comunicación entre los procesos demonios y otras aplicaciones de monitoreo como la UI o GUI se realiza mediante protocolo de red TCP/IP usando las clases *TServerSocket* y *TSocket* de las librerías de Root. A partir de estas se crearon dos clases adaptadas a este proyecto: *SocketAcceptor* y *SocketConnector*, estas últimas, heredan las propiedades y el comportamiento de las antes nombradas. Cada proceso demonio utiliza SocketAcceptor para atender las peticiones de los clientes, mismas que son enviadas encapsuladas en un objeto o "Mensaje"; en nuestro caso es un objeto de la clase RingBufferRequest. A su vez, esta clase se compone de dos sub-clases llamadas MatrixRequest y ElementRequest; necesarias para que SocketAcceptor identifique el tipo de objeto y lo procese apropiadamente, permitiendo de este modo, acceder a datos apuntados.
Los parámetros son leídos directamente desde los sub-sistemas de adquisición de datos (pc-espejo) y pueden contener los datos en bruro de la "variance", "pedestal", "threshold", "hitrate" y otros, por cada uno de los 440 píxeles o foto-tubos de cada cámara. En el caso del demonio MiMoD; este adquiere los datos de parámetros, los compara y almacena los resultados de las comparaciones en memoria o disco. Los otros demonios (EyeMoD, StarMoD) u aplicaciones (UI/GUI) acceden a los datos vía red de comunicaciones. La Fig. 4, muestra el criterio empleado.

4.2.1 *Funcionamiento, técnica de ejecución de procesos*

Como los procesos de lectura, comparación y el proceso de atención de pedidos de los clientes de red, son inherentemente paralelos, la ejecución del servidor SocketAcceptor, se implementó utilizando la técnica de hilos "thread", del núcleo de Linux. La ejecución en hilos, permite que SocketAcceptor, permanezca bloqueado a la espera de una conexión entrante sin afectar el flujo de ejecución normal del programa principal. Para la sincronización del acceso a los datos en memoria (RB), se utilizó los denominados "semáforos" del núcleo del SO.
De esta forma, la comparación y la atención de peticiones se ejecutan en paralelo.

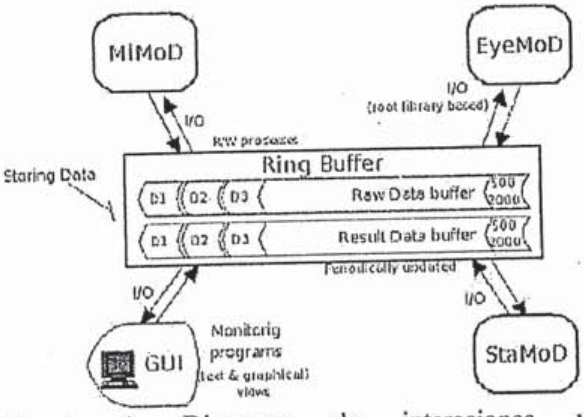


Figura 4. Diagrama de interaciones y comunicaciones entre los procesos

4.3 *Conversión de los programas a procesos demonios, ejecución en segundo plano*

Debido a que el programa de monitoreo realiza una lectura y comparación periódica (cada 16 segundos), fue conveniente convertir los programas en procesos demonios para que se ejecuten en segundo plano.
Un demonio es un proceso que no pertenece a ningún usuario y tiene como padre a INIT, el primer proceso que se ejecuta al iniciar un sistema Linux.
La Fig. 5, muestra la estructura en bloques del proceso demonio base desarrollado para MiMoD, EyeMoD y StaMoD.
En general, para convertir un programa a un proceso demonio, es necesario realizar el siguiente procedimiento [13] :

I. Se crea un hijo del proceso con la llamada del sistema "fork"; luego se bifurca o sale del proceso padre. De esta forma el proceso hijo se convierte en hijo de proceso INIT
II. Se crea una nueva sesión mediante la llamada al sistema "setsid", que no pertenece a ninguna terminal.
III. Se cierran los flujos de la entrada, la salida y el

error estándar. Así los mensajes de salida del demonio no aparecen en la pantalla.

IV. Se establece el directorio actual coincidente con el directorio raíz del sistema.

V. Se registra el proceso como manejador de la señal SIGINT equivalente a "CTRL-c"

VI. Para evitar la salida abrupta del demonio y la posibilidad de dejar bloqueado el bus de la "pc-espejo", se atrapa la señal SINGINT, se procede a cerrar el SocketAcceptor, liberar la memoria del RB y finalmente, salir en forma ordenada del programa.

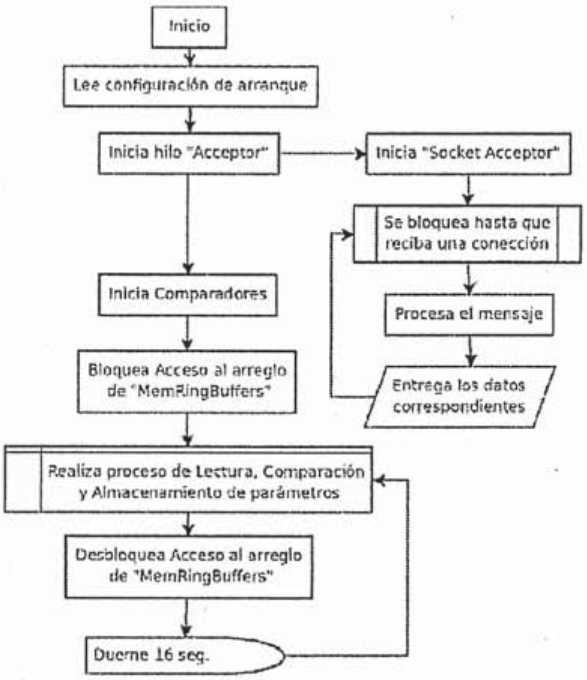


Figura 7. Estructura en bloques funcionales de los demonios

4.4 *Aplicación Interface de Usuario (UI/GUI)*

La interfase de usuario preliminar (UI) fue desarrollada para efectuar las pruebas y ensayos de funcionamiento del sistema de monitor.

La UI fue programada en lenguaje C++ estándar incluyendo la librería "ncurses", resultando una compilación fácil del código.

Para desarrollar este código se implementaron básicamente dos clientes; uno para MiMoD y otro para EyeMoD. Los códigos de estos clientes le otorgan a la UI, las capacidades de E/S necesarias para el fácil acceso a los demonios, es decir: acceso a los datos.

En las diferentes pantallas de la UI, hay vistas globales que muestran el estado de los cuatro detectores de fluorescencia del Observatorio Auger Sur; Los Leones, Coihueco, Los Morados y Loma Amarilla. Por ejemplo, la Fig. 6, muestra un vista del estado de los 24 telescopios del conjunto.

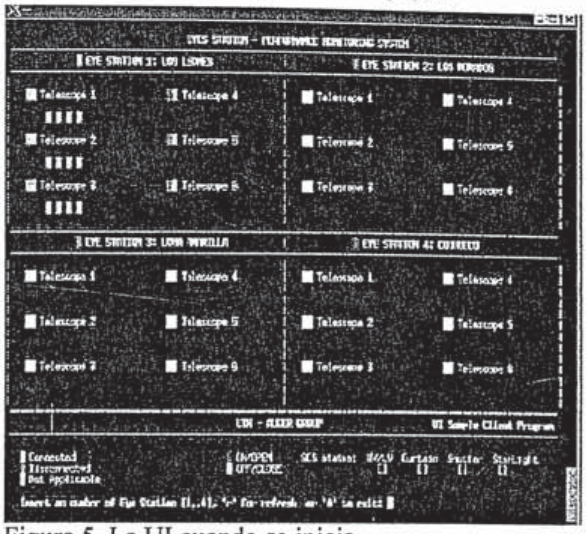


Figura 5. La UI cuando se inicia

Seleccionando un Ojo y telescopio en particular, es posible visualizar un conjunto de parámetros o bien, la información detallada de la matriz de un solo parámetro como se muestra en la Fig. 7.

Aquí, cada parámetro es representado por una matriz de 22x20 variables numéricas correspondientes a los datos en bruto como la mostrada. Alternativamente, se puede optar por visualizar la matriz de resultados

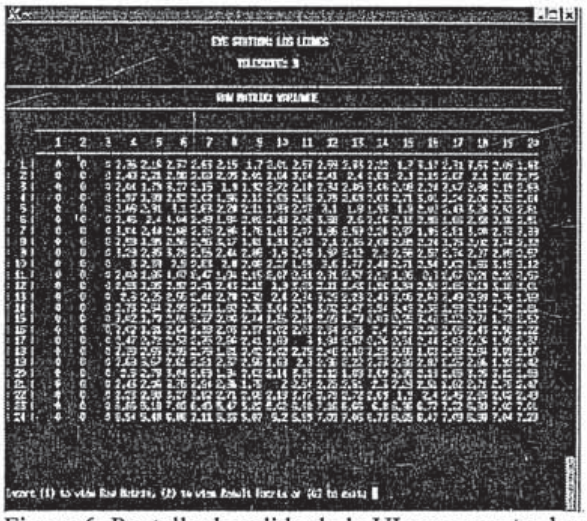


Figura 6. Pantalla de salida de la UI que muestra los datos de un parámetro

de la comparación del mismo parámetro con los valores de referencia.

5 RESULTADOS

El desarrollo del proyecto descrito se constituyó en un prototipo operativo del sistema de monitor y fue instalado en seis telescopios correspondientes al detector de fluorescencia Los Leones en Malargüe y en el sitio de prueba en Karlsruhe.
El sistema funcionó de forma estable en ocasión de las tomas de datos de los detectores durante periodos de al menos 6 horas continuas.
Se configuraron satisfactoriamente todos los ambientes de desarrollo, librerías y compiladores con el marco de trabajo de Auger. La producción de los códigos de programa y su integración con las aplicaciones de monitoreo procedió correctamente.
En esta etapa, algunas porciones de código referido a la adquisición de datos desde el sistema de SCS, no fueron codificados por resultar muy dificultoso el acceso a estos sistemas de control.
Durante las pruebas en campo, se encontraron algunas dificultades cuando interaccionaban los demonios de monitoreo con otros programas de los sistemas en producción en el sitio, especialmente durante las fases de calibración. Estas anormalidades fueron corregidas sucesivamente durante las pruebas pero también demostraron lo poco flexible que es el sistema de adquisición de datos, respecto a los pequeños cambios de configuración por la introducción de nuevos códigos.

6 CONCLUSIONES

La interacción de estos programas de monitoreo junto con los demás componentes del sistema de adquisición de datos debe ser aún evaluada. El funcionamiento en conjunto determinará si su inclusión definitiva será posible o bien se continuará con otros criterios referidos al sistema de monitoreo.

AGRADECIMIENTOS

En el desarrollo del proyecto intervino además la Dra. Beatriz Garcia que fijó los lineamientos generales de este trabajo con la Colaboración Internacional del PAO.

REFERENCIAS

[1] Observatorio Pierre Auger, Información general, http://www.auger.org.ar, [consultada el 20/08/2008]

[2] M. Kleifges, Minutes Auger FD Performance Monitoring Workshop, Forschungszentrum Karlsruhe, Germany, comunicación privada, 2003.

[3] The Technical Design Report (TDR), Pierre Auger Project, draf 2004, Auger Collaboration, http://www.auger.org/admin/, [consultada el 15/08/2008]

[4] CVS, Concurrent Versions System, manuales, http://cvsbook.red-bean.com, http://ximbiot.com/cvs/cvshome [consultadas el 1/07/2008]

[5] El Lenguaje de Programación C++, Edición especial, Bjarne Stroustrup, AT&T Labs, Florham Park, New Jersey, Madrid, 2002.

[6] KDE Development Environment, documentación, http://www.kdevelop.org [consultada el 15/08/2008]

[7] Qt Cross-Platform Application Framework, http://trolltech.com/products/qt [consultada el 15/08/2008]

[8] FD Auger Libreries, repositorio CVS del proyecto Auger, Alemania, ikauger1.fzk.de, comunicación privada, [consultado el 28/02/2006]

[9] Doxigen, Source code documentation generator tool, http://www.stack.nl/~dimitri/doxygen/, [consultada el 15/08/2008]

[10] CORBA, Common Object Request Broker Architecture, http://www.corba.org/, [consultada el 15/08/2008]

[11] ROOT, Object-Oriented Data Análisis Framework, http://root.cern.ch [consultada el 1/07/2008].

[12] OLE for Process Control (OPC), Final Specification V2.0. OPC Foundation, P.O. Box 140524, Austin, Texas, 1998, www.opcfoundation.org [consultada el 15/08/2008].

[13] Programación en Linux, 2a Edición, Al Descubierto, Kurt Wall et al., Pearson Educación, Madrid, 2001

Sistema de Descubrimiento de Recursos basado en P2P y RMI

S.A. Salinas & C. García Garino
ssalinas@itu.uncu.edu.ar & cgarcia@itu.uncu.edu.ar
LAPIC, Intituto Tecnológico Universitario, UNCuyo

A. Zunino
azunino@exa.unicen.edu.ar
ISISTAN, Facultad de Ciencias Exactas, UNICEN

RESUMEN: El sistema de descubrimiento de recursos (SDR), en Grid Computing, es un componente esencial del sistema de administración de recursos (SAR). En general, este último es responsable de gestionar la ejecución de trabajos en Grid, para ello el SDR provee información respecto de los recursos disponibles. Algunos sistemas utilizan un modelo cliente / servidor para proveer dicha información. En los útimos años han surgido propuestas de desarrollos de SDR basados en redes P2P, que apuntan a lograr mayor escalabilidad y tolerancia a fallas. En el presente trabajo se presenta un SDR sencillo, basado en un comportamiento P2P, como resultado de un análisis previo de distintos SDR. El sistema propuesto constituye una primera aproximación en la construcción de un SDR de mayor complejidad. De esta manera se logró identificar con mayor detalle aspectos a considerar en el desarrollo de SDR tales como organización automática de los pares y funcionamiento del sistema bajo firewalls.

Palabras clave: RMI – Descubrimiento de Recursos – P2P – Condor – Gris

ABSTRACT: Grid Computing Resource Discovery System (RDS) is one of the most important components of Resource Management System's (RMS) which is responsible for job submission in Computational Grids. In order to submit jobs, a RMS must be able to determine which resources are available according to certain search criteria. Most of the existing RDS systems are based on the client / server model. Recently, different RDS based on P2P networks have been proposed to achieve better scalability and fault tolerance. This paper discuss a simple RDS based on P2P behaviour, as a result of previous RDS analysis. The system proposed is simple and allow us to build more complex RDS, beside its simplicity shows issues to be consider when developing RDS.

Key Words: RMI – Resource Discovery – P2P – Condor – Grid

1 INTRODUCCIÓN

Una Grid Computacional administra recursos de naturaleza heterogénea (hardware, software, instrumentos, etc) e interactúa con gestores locales como puede ser el caso de Condor. Los sistemas de descubrimiento de recursos en Grid, en general, se basan en el modelo cliente / servidor. En este caso cada nodo participante de la Grid registra en algún servidor datos representativos que describen el recurso.

Los servidores se organizan en estructuras jerárquicas y la comunicación es ascendente en dicha jerarquía. Este esquema presenta desventajas tales como la generación de cuellos de botella y puntos importantes de falla. También muestra dificultades para mantener consistencia en la información redundante a través de los servidores [1].

Por otra parte, las redes P2P también deben enfrentar la tarea de descubrir recursos y para ello aplican diversas estrategias. Generalmente se basan en esquemas totalmente descentralizados o híbridos. En el segundo caso se utiliza un esquema centralizado al momento de realizar alguna consulta y descentralizado al momento de comunicarse entre los pares (peers). Las redes P2P se caracterizan por en general su alta disponibilidad, redundancia de información y tolerancia a fallos [2], motivo por el cuál se elige una arquitectura de este tipo que, a priori satisface requisitos de diseño del SDR propuesto. En el futuro se realizarán experimentos para estudiar el comportamiento en este sentido.

En Grid, uno de los sistemas de descubrimientos de recursos es MDS4 [3], incluido en Globus Toolkit, el mismo se basa en un modelo cliente / servidor.

En el contexto de redes P2P pueden citarse distintos sistemas como Gnutella [4], Chord [5], Pastry [6], Tapestry [7], Napster [8], que incluyen capacidades para descubrir recursos mediante diferentes técnicas.

La evolución de Grid y P2P ha generado propuestas que combinan características de ambos mundos.

En un estudio previo realizado por los autores relacionado con sistemas de descubrimiento de recursos y servicios [9] se identificó el potencial desarrollo de un SDR basado en redes P2P. De esta manera se busca obtener las ventajas que brindan este tipo de redes respecto al tradicional modelo cliente / servidor utilizado por MDS4.

En el presente trabajo se discute el desarrollo de un SDR que sigue un comportamiento P2P implementando llamadas a procedimientos remotos utilizando RMI [10]. El SDR propuesto plantea descubrir recursos individuales y otros administrados por middlewares como Globus mediante MDS4 o Condor [11]. Condor administra y explota de manera efectiva un conjunto de recursos computacionales distribuidos, denominados pools, para la ejecución de procesos que requieren grandes recursos de computo. En una Grid Computacional, es posible encontrar varios pools del sistema Condor.

De esta manera, se plantea el descubrimiento de recursos en dos niveles que se podrían reconocer como individuales y agrupados bajo el control de un gestor local como Condor o similares. En el trabajo no se discuten interfaces entre el SAR y el SDR.

En la sección 2 se presenta un modelo conceptual del sistema y en la sección 3 se muestra la implementación del mismo. En la sección 4 se discuten pruebas realizadas y resultados obtenidos. Por último en la sección 5 se presentan las conclusiones y trabajos futuros.

2 MODELO CONCEPTUAL DEL SISTEMA

Grid Computing ofrece capacidad de procesamiento en un entorno distribuido. En Grid, en general, el SAR es responsable de gestionar la ejecución de trabajos en el entorno distribuido. El SDR provee información de los recursos disponibles para que el SAR administre recursos y tareas. El desarrollo de un SDR sigue distintas estrategias, en este caso el sistema se basa en un comportamiento P2P descentralizado. En este tipo de sistemas se propagan consultas entre los pares participantes y se adoptan distintas estrategias para direccionar las mismas entre los pares. El concepto de par involucra que cada uno de ellos puede actuar como cliente de otro par o puede actuar como servidor de otro par. También un par puede comunicarse de igual a igual con otro par.

En la subsección 2.1 se introduce el SDR, en la sección 2.2 se discute las federaciones o agrupaciones de pares en redes P2P y en la sección 2.3 se presenta la evolución del SDR de acuerdo a la participación de los pares en el sistema. Por último, en la sección 2.4 se presenta la representación de los recursos por medio de pares.

2.1 *Visión Global del SDR*

La "Fig. 1." muestra el modelo general del SDR

propuesto. En la misma, se observa que los recursos se organizan en federaciones dentro de cada dominio administrativo de red. También se muestra que es posible interactuar con otros sistemas, en este caso Condor.

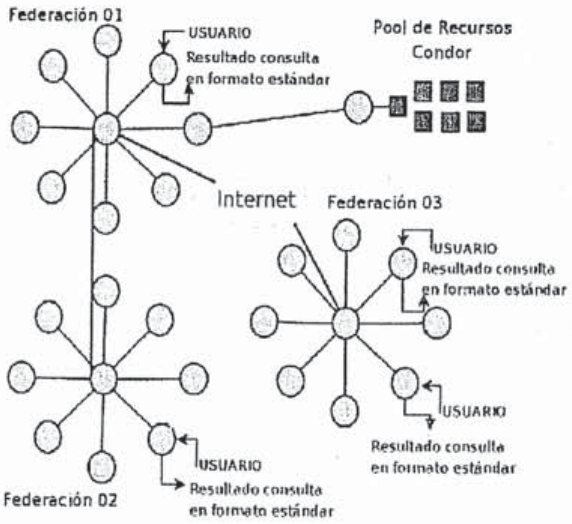


Figura 1. Modelo General del SDR propuesto

Para publicar información de los recursos el usuario ingresa la descripción de los mismos por medio de una interface gráfica. Esta información se almacena en forma local en el recurso. Un usuario también puede elaborar una consulta respecto a un recurso de determinadas características. Si existe tal recurso obtendrá un resultado que podrá almacenarlo en un formato estandar. Este modelo permite evaluar un SDR sencillo, su comportamiento y aspectos a considerar en el desarrollo de nuevos SDR.

2.2 *Federaciones*

Una federación es un conjunto de recursos, dentro de un dominio administrativo de red. En el SDR, cada recurso se denomina par, término utilizado en P2P. Cada par, puede comunicarse con cualquier otro integrante de la federación de igual a igual.
En cada federación, como se muestra en la "Fig. 2", existe un par central, el cual genera una lista de los miembros que la conforman. Para formar parte de una federación, un par debe localizar al par central (ubicación indicada por el usuario) y registrarse en el mismo.
Durante el proceso de registro, el par central recibe información de un nuevo miembro de la federación.

Por otra parte, la integración entre federaciones se logra cuando un par central se registra ante otro par central. De esta manera es posible escalar el sistema sin mayores dificultades, creando federaciones de federaciones, como se muestra en la "Fig. 3".

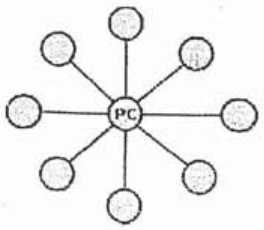


Figura 2. Representación gráfica de una Federación y su PC (Par Central)

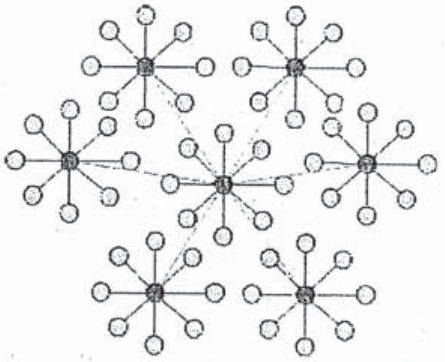


Figura 3. Representación de una federación compuesta por otras federaciones.

2.3 *Evolución del SDR*

En la "Fig. 4", se observa la evolución del SDR. La situación inicial de una federación, como se observa en la "Fig. 4.a", comienza con un par aislado denominado A. La lista de miembros de A, contiene información autodescriptiva. La lista de pares centrales en A, se encuentra vacía, ya que por el momento funcionará como par central de la federación.
En la "Fig. 4.b", se observa que un nuevo miembro se une a la federación localizando al par central y registrando en el par A información del par B. En la figura se observa como varían las listas de pares conocidos y pares centrales. En la "Fig. 4.c", se muestra como varían las listas al ingresar un nuevo miembro. Por último, en la "Fig. 4.d" , se observa la

comunicación entre federaciones y su impacto en las listas que administran los pares.
En cualquier momento, cualquier par podrá solicitar la localización de un recurso de determinadas características.
El par que recibe la consulta, verifica si los recursos que componen su lista de pares conocidos cumple con las características solicitadas. Si cumple, se devuelve como resultado, información completa del recurso. Si no existe ningún par conocido que cumpla los requisitos, entonces se reenvía la consulta a un par central de acuerdo a la lista de pares centrales.

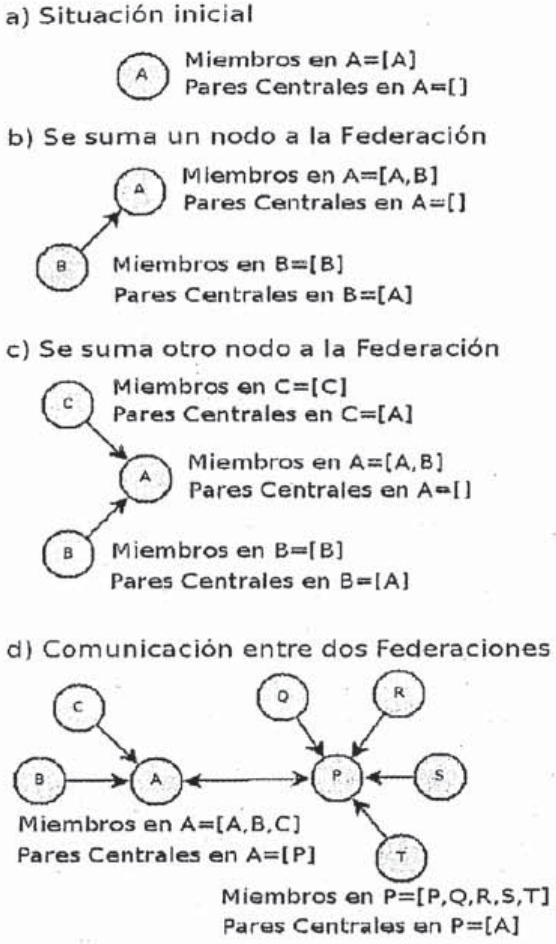


Figura 4. Ejemplo de evolución del SDR.

El par que recibe la consulta, verifica si los recursos que componen su lista de pares conocidos cumple con las características solicitadas. Si cumple, se devuelve como resultado, información completa del recurso. Si no existe ningún par conocido que cumpla los requisitos, entonces se reenvía la consulta a un par central de acuerdo a la lista de pares centrales.
Una consulta se propaga hasta que se localiza el recurso solicitado o bien hasta consultar el último par central. Para evitar lazos infinitos, no se propaga la consulta a nodos centrales ya consultados.

2.4 *Recursos*

Los recursos, que forman parte del SDR, mantienen información autodescriptiva, por ej. identificador único, dirección de IP, nombre, dominio administrativo al que pertenece, memoria RAM, tipo de procesador, entre otros datos.
Cada par, administra la lista de pares conocidos o miembros de la federación y la lista de pares centrales.
La lista de pares centrales indica el par al cuál se debe enviar la información autodescriptiva del recurso. En general esta lista contendrá un solo elemento, pero deja abierta la posibilidad registrar la información en más de un par central dentro de la federación.

3 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

En Grid Computing, existe hardware y software heterogéneo. Para lograr independencia de la plataforma se utilizará el lenguaje de programación Java. Para implementar el concepto de par, se utilizará Java RMI. Este componente de Java generalmente se utiliza bajo un modelo cliente / servidor. Por ejemplo, el servidor funciona en conjunto con una base de datos y el cliente invoca en forma remota métodos que acceden a la base de datos y retornan valores.

RMI involucra la interacción entre interpretes de Java distribuidos en diferentes máquinas. Esta interacción se realiza de acuerdo a ciertas políticas de seguridad.
Para integrar el SDR con otros sistemas se utilizará el formato XML para almacenar información. Para ello se utiliza el componente Java DOM (Document Object Model), en desarrollos futuros se considerarán la utilización de otras herramientas más potentes para gestionar la información en XML.
Utilizando las herramientas mencionadas se implementa mediante clases Java los conceptos de pares y recursos presentados anteriormente.
Los pares que componen el sistema se implementarán mediante la clase Peer, la misma está

compuesta por las clases Client y Server. Mediante la clase Client el par puede realizar consultas a otros pares. La clase Server permite al par responder consultas realizadas por otros pares utilizando las clases RDSInterface y ResourceRegistry. La información de los recursos se representa y administra mediante la clase Resource.
A continuación se describen brevemente cada una de las clases que componen el sistema.

3.1 *Clase Peer*

La clase Peer, refleja el concepto de par de una red P2P. En la "Fig. 5" se muestra el funcionamiento de la clase Peer, desde el punto de vista de la comunicación que se establece entre dos pares.

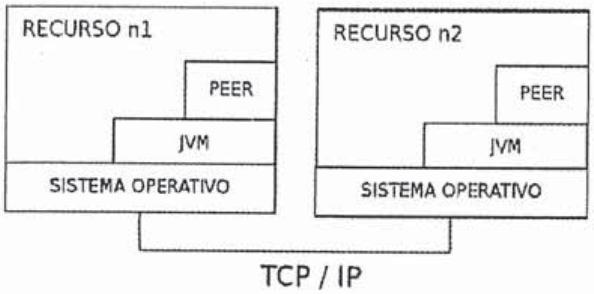


Figura 5. Modelo de interacción entre Recursos

De acuerdo al concepto de par, en redes P2P, un par cumple funciones de cliente y servidor ante otros pares. Esto se observa en la clase Peer que utiliza las clases Client y Server para llevar a cabo estas funciones. De esta manera la clase Client de un par, puede solicitar a la clase Server de otro par la ejecución de ciertos métodos, como se muestra en la "Fig. 6".

3.2 *Clase Client*

Por medio de esta clase es posible invocar, via RMI, métodos en forma remota. Para ello, se especifica la URL del par al cuál se desea contactar. Por ejemplo, dos instancias de la clase Peer, denominadas A y B interactuan entre si de la siguiente forma. La clase client contenida en la instancia A, localiza la clase server contenida en B. Luego A, obtiene mediante el método getResourceRegistry una instancia de la clase ResourceRegistry (ver subsección 3.5). Esta instancia, permite registrar en B datos descriptivos del recurso que representa A.

También es posible obtener datos de recursos basados en un criterio determinado por medio de la clase ResourceRegistry.

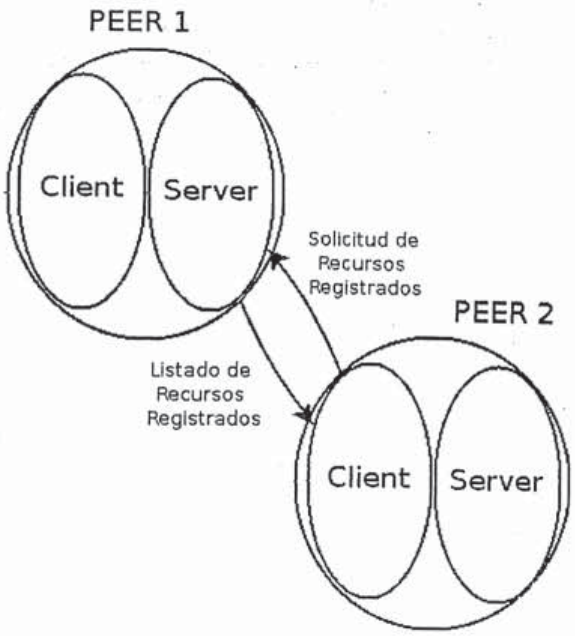


Figura 6. Modelo de interacción entre Pares

3.3 *Clase Server*

La clase Server implementa los métodos necesarios para cumplir las funciones de servidor RMI. El constructor de la clase genera el archivo java.policy, que contiene parámetros de seguridad utilizados por el interprete de Java.
La clase implementa los métodos startRegistry y stopRegistry. Los mismos crean una instancia de RMI Registry en un puerto determinado, que por defecto es el número 1099. Esta clase contiene las clases RDSInterface y ResourceRegistry detalladas en las subsecciones 3.4 y 3.5 respectivamente. Mediante la invocación de métodos de la clase ResourceRegistry, es posible enviar datos de un recurso a otros pares. Por otra parte, la clase RDSInterface, permite interactuar con el sistema Condor. En un futuro se extenderá esta clase para interactuar con otros middlewares como Globus, mediante MDS4.

3.4 *Clase RDSInterface*

Esta clase implementa interfaces con otros sistemas y middlewares de interes. Actualmente, esta clase

incluye la interface con el sistema Condor. Para ello, el interprete de Java, utiliza el sistema operativo subyacente como se observa en la "Fig. 7". Desde el interprete de java se solicita al sistema la ejecución del comando condor_status de Condor (pasos 1 y 2) que obtiene el listado de recursos disponibles y luego el interprete recupera este listado (pasos 3 y 4).

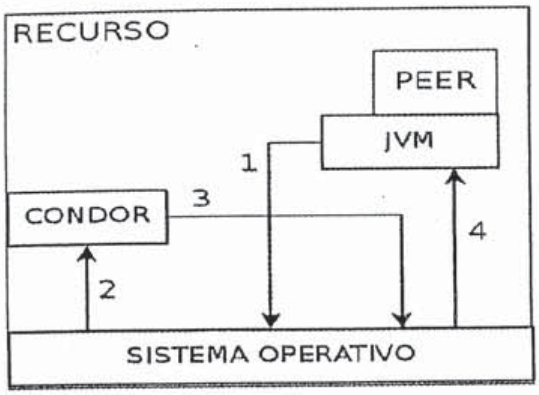


Figura 7. Pasos 1 y 2 Ejecución del comando condor-status. Pasos 3 y 4 Obtención del resultado del comando.

3.5 *Clase ResourceRegistry*

La clase contiene un array de objetos Resource, que representa la lista de pares de una federación. El método registryResouce, permite agregar un recurso a la lista evitando duplicaciones. También contiene una lista de pares centrales, esta lista contiene información provista por el usuario. El método getResourcesRegistred, devuelve una colección de objetos Resource, en base a una consulta, acorde al modelo presentado en la sección 2. La clase también implementa los métodos saveToXML y loadFromXML para almacenar y cargar la lista de recursos en formato XML. De esta forma es posible integrar esta información con otros sistemas.

3.6 *Clase Resource*

Esta clase tiene como objetivo permitir generar un identificador único para un recurso y registrar información sobre el mismo. También es posible leer y almacenar esta informacion en un archivo XML. De esta manera es posible acceder a la descripción del recurso sin tener que ingresar los datos cada vez que se inicia el sistema. Esta clase implementa la interface Serializable de esta forma una instancia de esta clase podrá enviarse, a través de la red, como parámetro o podrá recibirse como resultado de la invocación de un método en forma remota.

4 PRUEBAS Y RESULTADOS

Para observar el funcionamiento del sistema propuesto, se realizaron pruebas en entornos LAN y WAN. Las mismas se discuten en la subsecciones 4.1 y 4.2, respectivamente.

4.1 *Descubrimiento de recursos en un entorno LAN*

Se realizaron pruebas del SDR propuesto en la infraestructura mostrada en la "Fig. 8".

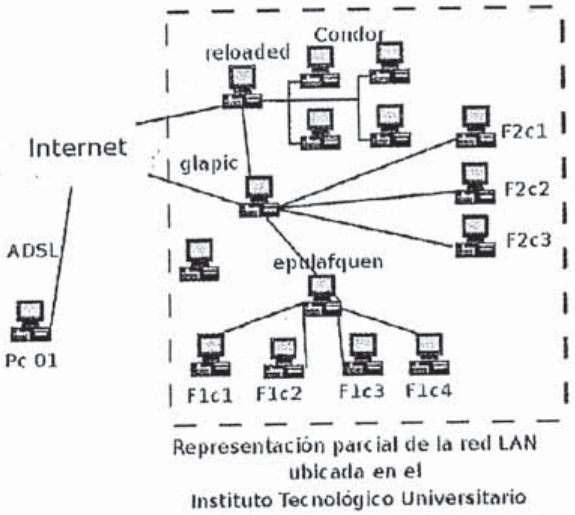


Figura 8. Arquitectura seguida para realizar pruebas del SDR

En primer lugar se determinaron los recursos que conforman las federaciones, i.e. Fdr01 está formada por los recursos denominados epulafquen, F1c1, F1c2, F1c3 y F1c4. Cualquiera de los recursos podría ser elegido como nodo central, en este caso se eligió epulafquen. La federación Fdr02 está formada por F2c1, F2c2 y F2c3 y el nodo central es glapic.
En el recurso identificado como reloaded y Pc 01 también se encuentra el SDR en ejecución. Por otra parte, por medio de reloaded se puede acceder al sistema Condor. En Glapic se encuentra el servidor de aplicaciones, desde el cual, utilizando Java Web Start, puede accederse al SDR por medio de la URL http://glapic.itic.uncu.edu.ar/rmi/rmirds.jnlp.
La aplicación provee una interface gráfica donde se ingresan datos descriptivos del recurso según se muestra la ventana incluida en la "Fig. 9". En el

campo resaltado, se ingresa la url donde cada recurso registra sus datos descriptivos a excepción del nodo central.
Los miembros de la federación Fdr01 y glapic utilizaron la URL rmi://epulafquen.itic.uncu.edu.ar puerto 1099, los de la federación Fdr02 y epulafquen utilizaron la URL rmi://glapic.itic.uncu.edu.ar puerto 1099.
Por medio de una consola del sistema operativo, en reloaded luego de haber adquirido el paquete rmirds.jar, se ejecuta una instancia del sistema de la siguiente forma:

```
java classpath .:rmirds.jar:.
rmirds.Peer
```

Luego de ingresar los datos requeridos por la aplicación, se encuentra disponible la interface para realizar consultas sobre recursos de Condor.

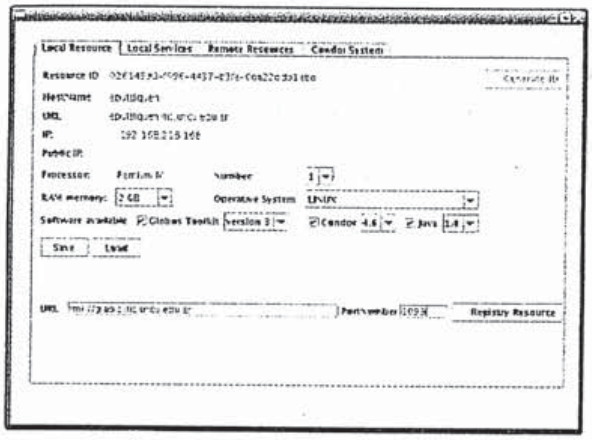


Figura 9. Ventana para el ingreso de datos del recurso

4.2 *Consultas realizadas a través de entorno WAN*

Con el propósito de ilustrar el comportamiento del SDR propuesto en un entorno WAN, se realizó una consulta sobre los recursos del sistema desde un recurso ubicado fuera del dominio de ITU (Instituto Tecnológico Universitario). Para ello se solicitaron los recursos recursos administrados por el pool de Condor, indentificado mediante la URL rmi://reloaded.itic.uncu.edu.ar puerto 1099. Como se muestra en la pantalla de la pantalla de la "Fig. 10", la misma se resolvió exitosamente listando los recursos incluidos en el pool. También se realizó una consulta descriptiva utilizando la URL rmi://glapic.itic.uncu.edu.ar puerto 1099. En este caso la URL especifica el par central al cuál se realiza la consulta. La misma está determinada por los siguientes requisitos que debe poseer el recurso: 2 GB de memoria RAM, el sistema operativo LINUX, el sistema GLOBUS versión 4 o superior, el sistema CONDOR versión 4.6 o superior y la máquina virtual JAVA versión 1.5 o superior. El resultado de la consulta se muestra en la pantalla de la "Fig. 11", donde se describen las características del recurso localizado.

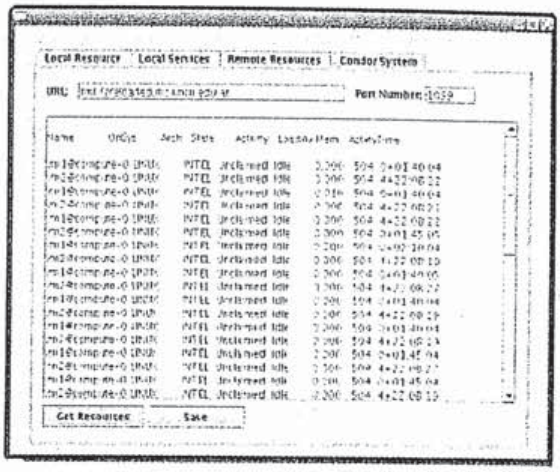


Figura 10. Lista de recursos del pool de Condor determinado por la url especificada.

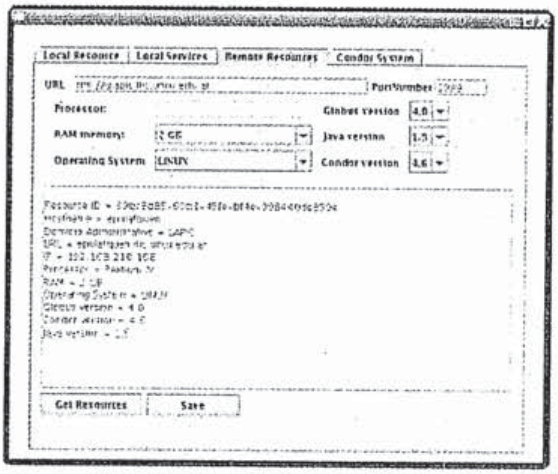


Figura 11. Información descriptiva del recurso que responde al criterio de búsqueda especificado.

5 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Se implementó un SDR basado en redes P2P que permite obtener datos de recursos de determinadas características. Para ello, RMI resultó una herramienta flexible para lograr el desarrollo del

sistema propuesto.Se realizaron pruebas que incluyeron el ingreso de datos descriptivos del recurso, consultas de recursos disponibles bajo cierto criterio de búsqueda.

Estas pruebas se realizaron en entornos LAN y WAN. Mediante las misma se obtuvieron recursos disponibles en los pares, así como información de los recursos administrados por Condor.

Las pruebas realizadas funcionaron son éxito y con tiempos de respuesta que no superan los 2 segundos en promedio. En el futuro se realizarán pruebas que involucren un mayor número de recursos para continuar evaluando el sistema propuesto.

Entre otras tareas futuras, se implementará una selección automática del par central. También se diseñará una estrategia para evitar la posibilidad de que en una federación existan más de un par central. De esta manera el sistema presentará una mayor robustez ante la posible falla del par central de una federación.

También se extenderá el SDR para incluir, entre otras posibilidades, una interface con un SAR; y extender la interfaz de Condor a otros middlewares de interés.

Finalmente se diseñarán pruebas específicas para comprobar en entornos LAN y WAN el comportamiento de las redes P2P en el contexto del SDR discutido.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo financiero recibido de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT), mediante los Proyectos PICTR 184 y Subproyecto 4 del PAV 127.

REFERENCIAS

[1] A. Mauthe and D. Hutchison. Peer-to-Peer Computing: Systems, Concepts and Characteristics. Praxis in der Informationsverarbeitung & Kommunikation (PIK), K. G. Sauer Verlag, Special Issue on Peer-to-Peer volume 26 March 2003.

[2] B. Pourebrahimi, K. Bertels & S. Vassiliadis. A Survey of Peer-to-Peer Networks. Computer Engineering Laboratory, ITS, TU Delft, The Netherlands.

[3] MDS4: The GT4 Monitoring and Discovery System. Disponible en: http://www.globus.org /toolkit/docs/4.0/info. Consultado abril de 2008.

[4] M. Ripeanu, I. Foster, & A. Iamnitchi, publicación de los mismos utilizando la arquitectura Mapping the gnutella network: Properties of de Internet large-scale peer-to-peer systems and Computing implications for system design, IEEE Internet Computing Journal, 6(1), 2002.

[5] Chord: Disponible en: http://pdos.csail.mit.edu /chord/pubs.html. Consultado abril de 2008.

[6] Antony I. T. Rowstron and Peter Druschel. Pastry: Scalable, decentralized object location, and routing for large-scale peer-to-peer systems. In Middleware 2001: Proc. of the IFIP/ACM Int. Conf. on Distributed Systems Platforms Heidelberg, pages 329–350, London, UK, 2001. Springer-Verlag.

[7] Ben Zhao, John Kubiatowicz, and Anthony D. Joseph. Tapestry: An infrastructure for fault-tolerant wide-area location and routing. Technical Report UCB Technical Report UCB/CSD-01-1141, Univ. of California Berkeley, Electrical Engineering and Computer Science Department, April 2001.

[8] S. Saroiu, P. K. Gummadi, and S. D. Gribble, "Measuring and Analyzing the Characteristics of Napster and Gnutella Hosts," Multimedia Systems Journal, vol. 9, no. 2, pp. 170–184, Aug. 2003.

[9] S. A. Salinas, C. García Garino & A. Zunino: Sistemas de descubrimiento de servicios y recursos. Desarrollos e Investigaciones Científico-Tecnológicos en Ingeniería, Maldonado, G., Veca, A. y Cremades, H.(Eds.), Anales del Congreso ENIDI 2007, pp. 195-202, Fac. Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional, 2007, ISBN 978-950-42-0087-1.

[10] Remote Method Invocation (RMI). Disponible en: http://java.sun.com/javase/technologies/ core/basic/rmi/index.jsp. Consultado abril de 2008.

[11] Condor. Disponible en: http//www.cs.wisc.edu /condor/publications.html. Consultado abril de 2008.

Modelos Operativos en Redes de Petri

E.E Iriarte, M. Distefano, R. Haarth

eiriarte@uncu.edu.ar; mdistefa@uncu.edu.ar; rhaarth@uncu.edu.ar
IAEI, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo

RESUMEN: Se presenta una herramienta informática que permite construir modelos basados en Redes de Petri para simulación e interacción en tiempo real con usuarios, sistemas físicos o sistemas pares, locales o remotos. La base es una colección de objetos, utilizables en un entorno gráfico, que permite representar los modelos y conectarlos a periféricos virtuales o reales para realizar interacción por pantalla, controlar procesos reales, interactuar con sistemas pares que se ejecuten en la misma computadora o en otras, y generar información para evaluar su desempeño.

Palabras clave: Modelos – Redes de Petri – Simulación – Control – LabView

ABSTRACT: A software tool for building Petri Nets models is shown. It permits simulation and interaction in real time with users, physical systems or peers, local or remote ones. The base is a collection of objects, usable at a graphic environment, that permits to represent models and to connect them with virtual or real devices, to accomplish human interaction, real processes control, interaction with equal systems executed in the same computer or in others, and generating information to evaluate his performance.

Key Words: Models – Petri Nets – Simulation – Control – LabView

1 INTRODUCCIÓN

Existe un gran número de paquetes académicos y comerciales para simulación de sistemas de eventos discretos en general y de Redes de Petri (RdP) en particular, en sus múltiples dialectos [1]. Sin embargo son pocas las herramientas que permiten vincular los modelos obtenidos a sistemas físicos reales [2] [3].
La posibilidad de ver el modelo en acción sobre un sistema real motiva al alumno en la búsqueda de soluciones. Genera, además, el desafío de proponer soluciones a problemas reales, con la posibilidad de experimentar y verificar hasta alcanzar el mejor resultado.

1.1 *Objetivos*

En la búsqueda de alternativas que faciliten al estudiante comprender y resolver problemas tecnológicos [4], en particular los de automatización en sistemas industriales discretos utilizando RdP, se procura ofrecerle una herramienta alternativa que permita, además de la implementación y simulación interactiva de dicha representación, su vinculación en tiempo real con sistemas físicos u otros modelos implementados con la misma herramienta, y la evaluación del desempeño a través de información generada durante el ensayo.
Las interfaces requeridas para comunicar el modelo con señales provenientes de otro sistema, deben ser de fácil implementación y uso intuitivo, lo que demanda funciones de comunicación sencillas, que mantengan un esquema de caja negra con terminales de Entradas/Salidas de datos a comunicar y un mínimo de parámetros de configuración.

2 DESARROLLO

El software LabView es un entorno de programación gráfica basado en un modelo de flujo de datos, esto es, una conexión entre terminales de elementos gráficos denota el suministro de datos de un terminal fuente a un terminal receptor [5]. Para que sea posible la conexión debe haber compatibilidad del tipo de dato entre dichos terminales. Esto facilita la depuración del programa. Se cuenta con todos los tipos de datos de un lenguaje textual, incluyendo *arrays*, estructuras (*clusters*), tipos enumerados, más una variedad de tipos especiales, con conversión automática cuando es posible, o mediante funciones específicas.

El elemento gráfico operativo típico se denomina Instrumento Virtual (VI) y es el equivalente a la función de los lenguajes de programación textual; sus terminales de entrada corresponden a los argumentos de llamada, (por referencia o por valor según el caso), y sus terminales de salida a los valores devueltos y/o a los datos referenciados o modificados.
El programador puede crear sus propia colección de VIs encapsulando código y definiendo los terminales de entrada y salida, luego utilizarlos en otros programas, y aún modificar su funcionalidad sin afectar la cadena de dependencias.
Así como una función puede ser invocada desde distintos puntos de un programa, un VI puede ser insertado múltiples veces. Importante es destacar que cada VI puede estar definido para comportarse como instancia única reutilizada o como múltiples instancias o clones (modo reentrant). El uso determina la conveniencia de un modo u otro; un VI de instancia única sólo puede ser invocado por un proceso a la vez, un VI clonado se puede ejecutar en paralelo, al costo de un mayor consumo de memoria.
Los VI pueden ser construidos con retención de sus valores de salida. En tal caso, el VI es de instancia múltiple, cada clon retiene sus propios valores, si es de instancia única, existe un único juego de valores retenidos, importante característica que se explota para compartir datos entre procesos inconexos, a modo de variable global.

2.1 *Redes de Petri vs Flujo de Datos.*

Existen en apariencia diferentes alternativas para abordar la implementación de RdP en LabView. A primera vista hay una aparente semejanza entre un diagrama en bloques de LabView y una red de estados y transiciones. Existen también semejanzas funcionales dado que pueden ejecutarse procesos paralelos (multitarea y multihilo), se dispone de estructuras de programación que permiten obtener máquinas de estado, y de funciones de temporizado, manejo de eventos y colas, sincronización y semaforización. Sin embargo no existen ambas cosas al mismo tiempo, es decir que un programa en LabView se asemeje visualmente a una RdP y se comporte como tal. El modelo flujo de datos implica que una función (instrumento o nodo) no puede ejecutarse hasta que no dispone de datos en todos sus terminales de entrada, lo que acontece cuando el nodo precedente se ha ejecutado y concluido. Por esto, sólo existe un nodo activo en una cadena de datos. Por otra parte un nodo no puede alterar el

valor de un nodo anterior, como se requiere cuando el nodo T quita marcas en los nodos P precedentes, ya que el flujo de datos es unidireccional.
Los *semáforos* de LabView equivalen a las *marcas* de una RdP. Múltiples procesos deben esperar un semáforo disponible, retenerlo mientras se ejecutan y finalmente liberarlo. Con este sistema se consigue una funcionalidad similar a la de una RdP. Sin embargo no se obtiene semejanza visual, pues estos semáforos no circulan entre los procesos.

2.2 *Elementos estructurales de las RdP*

Para conseguir una RdP funcional se construyeron VIs multi-instancia (*reentrant*) con memoria para representar los nodos P y T, VIs multi-instancia sin memoria para representar los arcos P→T y T→P, y una variable global Marcas – tipo *array* – que en cada iteración almacena las marcas de cada nodo P.

2.2.1 Nodo P

Está constituido como un VI con memoria tipo *reentrant*, es decir existirá una instancia con juego de valores propios por cada nodo P (Fig. 1).
El conector de entrada es tipo *array int32*, pudiendo recibir por cada elemento del *array* un entero que corresponde a la cantidad de marcas que se le suman, dado por los pesos (betas) de los arcos T→P.
Su conector de salida es tipo *string* y puede alimentar un número ilimitado de arcos P→T.
La salida de nivel es tipo booleano, y se mantiene activa mientras el nodo posea al menos una marca.
El nodo P provee además la cantidad de marcas disponibles, y el número de iteraciones durante las cuales ha estado activo.

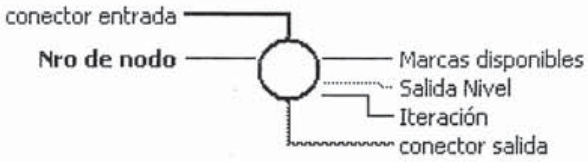


Figura 1. Terminales de un nodo P

2.2.2 Nodo T

Este VI no retiene valores entre iteraciones, sino que gestiona el paso de marcas entre nodos P en función de eventos y condiciones, al tiempo que genera una salida tipo impulso, que permanece una iteración.

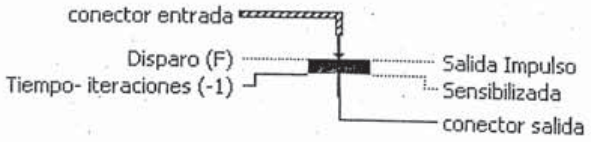


Figura 2. Terminales de un nodo T

El conector de entrada (Fig.2) es tipo *array* de clusters. Dichos clusters son un tipo compuesto por el identificador de nodo P predecesor y el peso o *alfa* del arco que lo conecta.
Su conector de salida es tipo *int32* y puede alimentar un número ilimitado de nodos P.
Provee una salida de impulso, tipo booleana, que se activa en el momento en que se hace efectiva la transición, y un indicador tipo booleano, que se activa cuando las marcas de todos los nodos P predecesores alcanzan o superan a los pesos de los arcos correspondientes.
La entrada Tiempo-Iteraciones permite programar con gran flexibilidad el comportamiento del nodo T, como se describe en la tabla 1

Tabla 1: Modos de uso de un nodo T

modo	Activación
0	instantánea
n > 0	luego de transcurridas n iteraciones
-1	por flanco en entrada Disparo, sin memoria
-2	por nivel en entrada Disparo, sin memoria
-3	por flanco/nivel en Disparo, con memoria
-4 ...	reservado para modos futuros

2.2.3 Arco P→T

Los arcos no corresponden a simples conexiones entre VIs, sino que también son VIs (Fig.3). Los arcos P→T se encargan de combinar las salidas de los nodos P, tipo *string* con los coeficientes *alfa* correspondientes a los pesos de cada arco, tipo *int32*, en un *array* de *clusters* para conectar a los nodos P.

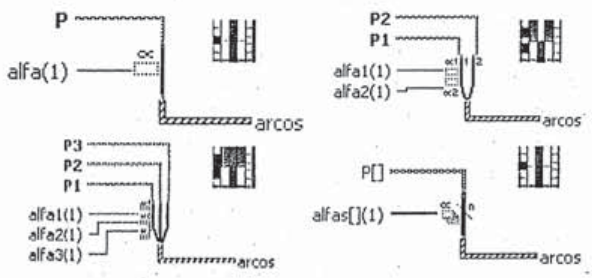


Figura 3. Funciones de 1, 2, 3 y N arcos P→T y sus terminales

Se realizaron arcos de 1, 2, y 3 entradas individuales. Con estos se resuelve la mayoría de los modelos didácticos. Para RdP que tengan más arcos hacia un nodo T, se dispone de arcos tipo *array*, que en vez de tener terminales individuales para los arcos y los pesos, poseen entradas tipo *array* para ambos, estableciéndose la correspondencia entre arcos y pesos mediante el índice.

2.2.4 Arco T→P

Combina las salidas de los nodos T con los pesos de cada arco, y da como resultado un array de marcas. De manera similar a los arcos P→T, se han construido arcos de 1, 2, 3 y n entradas (Fig. 4).

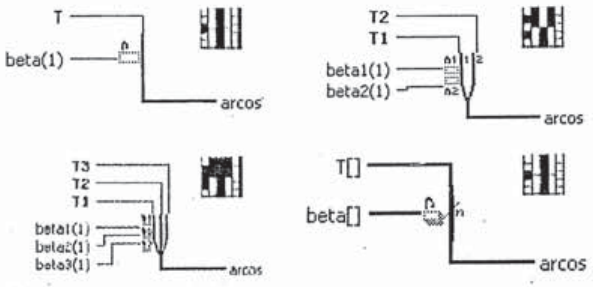


Figura 4. Funciones de 1, 2, 3 y N arcos T→P y sus terminales

2.2.5 Marcado inicial

El marcado inicial de la RdP lo realiza eun VI (Fig. 5) escribiendo un *array* de visibilidad global, en el que cada elemento corresponde a un número de marcas, correspondiendo el índice de cada elemento con el identificador de cada nodo P.

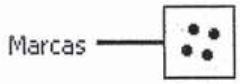


Figura 5. Función de marcado inicial

2.3 *Funciones accesorias*

Las funciones descriptas constituyen los elementos estructurales de la RdP. Conectando controles o constantes en sus terminales de entrada e indicadores en sus terminales de salida es posible realizar las simulaciones básicas, interactivas o no. La RdP se puede vincular a las funciones propias de LabView o se pueden desarrollar nuevas funciones a la medida de las necesidades.

2.3.1 Tiempo aleatorio

Estas funciones permiten evaluar el comportamiento de una RdP en condiciones no determinísticas. En la primera (Figura 6) se especifican los límites Tmin y Tmax, y la función genera un valor dentro de esos límites con probabilidad de distribución uniforme. En la segunda se especifica valor medio y desviación estándar, y genera un valor con distribución gausiana.

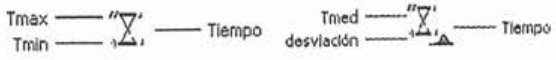


Figura 6. Funciones de tiempo aleatorio de distribución uniforme y gausiana

El valor de salida, denominado Tiempo, es un entero expresado en iteraciones. El tiempo efectivo es este valor multiplicado por el número conectado al VI de Retardo Waitms.vi, expresado en milisegundos.
Las funciones estructurales y las accesorias se disponen en una paleta de herramientas (Fig. 7) para facilitar su uso.

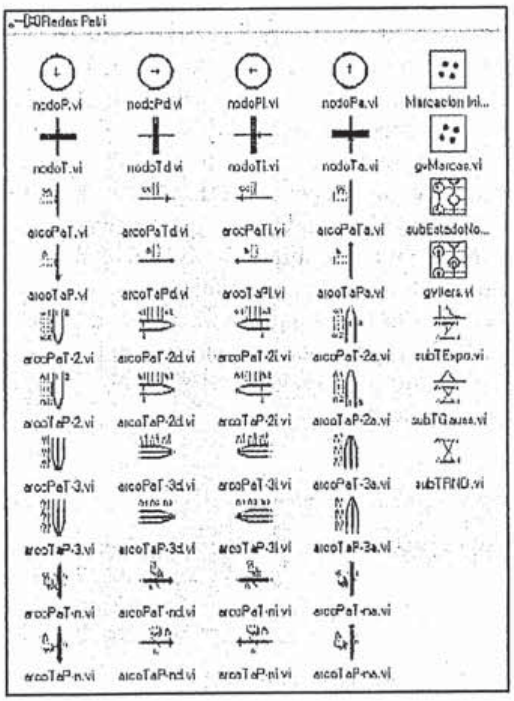


Figura 7. Paleta de funciones Petri en LabView.

2.4 *Conectividad a procesos reales y virtuales*

La posibilidad de vincular el modelo a otros procesos o a sistemas físicos, es decir de crear un Modelo Operativo y evaluar su desempeño, es la

principal ventaja de la herramienta desarrollada, y es el motivo por el que se implementó en este entorno.
Labview permite la comunicación a través de puertos serie, protocolos TCP/UDP/IrDA, variables globales y VIs como *Datasocket*, y placas de adquisición de datos e instrumentos de otros fabricantes o de desarrollo propio.
Para cubrir una amplia gama de experiencias factibles de realizar en un entorno educativo se implementaron VIs Puerto Serie para comunicación con microcontroladores, TCP para comunicación con equipos remotos (PC o microcontrolador con pila TCP), y VIs tipo Variable Global para comunicación con procesos paralelos (Fig 8).
La comunicación se realiza mediante operaciones de escritura o lectura de variables numéricas (terminales S-ANA y E-ANA) tipo *int32* y digitales (S-DIGI y E-DIGI) tipo booleano sobre un VI. La acción a realizar – escritura o lectura de variables numéricas o digitales – es seleccionable mediante un tipo enumerado, lo que facilita su uso.

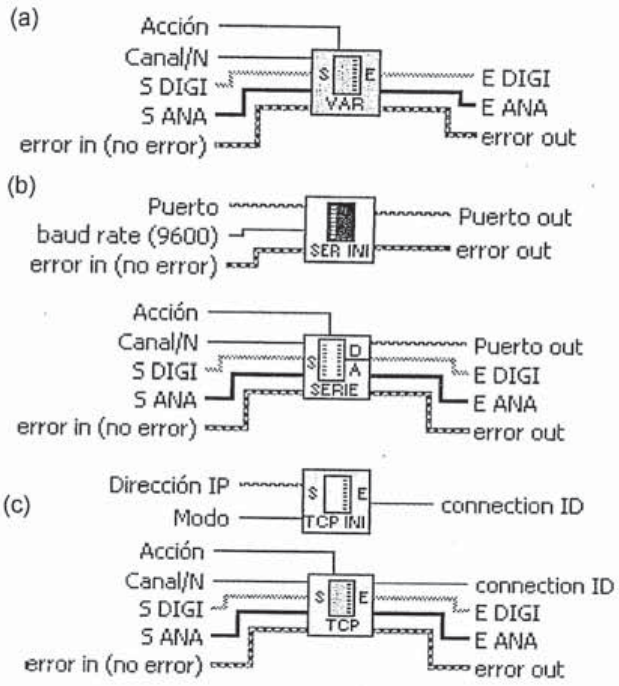


Figura 8. VIs de comunicación. (a) Por Variable Global, (b) Inicialización y E/S por Puerto Serie y (c) Inicialización y E/S por protocolo TCP

Estos VIs de comunicación se pueden utilizar con parámetros por omisión para facilitar su uso. Para modificar dichos parámetros por necesidades específicas, se han dispuesto VIs de inicialización, que deben insertarse al principio del programa.

En el caso del VI de inicialización de E/S Serie, puede cambiarse puerto, velocidad de transmisión, paridad, longitud de dato y bits de stop.
Para el VI de inicialización E/S TCP, puede especificarse la dirección IP del equipo remoto y el modo de trabajo (cliente/servidor). Como Cliente, la RdP realiza operaciones de lectura escritura directamente sobre la conexión TCP. Si se inicializa como Servidor, se lanza un proceso servidor TCP paralelo al proceso de la RdP, que esperará conexión y demandas de escritura y lectura de un cliente TCP y accederá a una variable global, que es compartida con el proceso de la RdP.
Estas operaciones son transparentes al usuario de los VI, que presentan una estructura similar, con terminales de entrada y salida digitales y numéricos, y el terminal enumerado de la acción de escritura o lectura a realizar.
Las E/S digitales pueden conectarse directamente a las E/S booleanas de los nodos P y T. Las entradas numéricas pueden ser insertadas en un proceso discreto si se las procesa a través de comparadores de magnitud. Las salidas numéricas pueden comunicar a otros procesos datos como el número de iteraciones, el número de marcas o el número de identificación de un nodo P. Las variables numéricas pueden ser escritas o leídas de forma individual, mientras que las digitales se leen y escriben en grupos de 8 bits, que pueden individualizarse mediante la entrada Canal.
En Serie y TCP el número de canal es transmitido junto con la solicitud de lectura o escritura. Esto permite implementar una red de microcontroladores con el fin de acceder a un número ilimitado de E/S digitales, manteniendo un formato de 8 bits que es manejable gráficamente.
Para Serie y TCP, entradas y salidas son variables distintas, pues son escritas y leídas por procesos distintos. En cambio para el VI Variable Global las salidas son las entradas previamente escritas.
Los procesos que utilicen este instrumento para comunicarse deben escribir y leer en canales complementarios.

3 ENTORNO DE TRABAJO

La plataforma de trabajo está constituida por la computadora, el software de diseño e interpretación del modelo gráfico y la maqueta experimental, aunque es posible adoptar otros esquemas (Fig. 9).

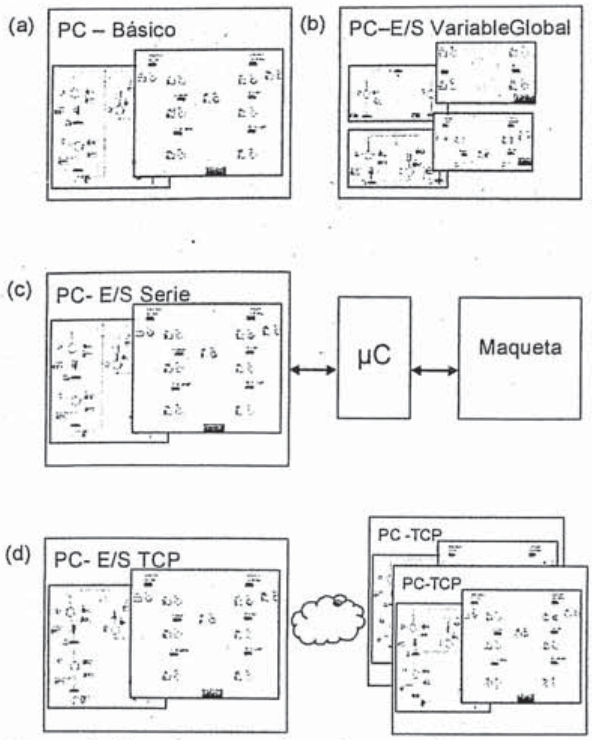


Figura 9. Esquemas previstos de uso del entorno. (a) Simulación básica del modelo. (b) Simulación de modelos de procesos independientes comunicados entre sí. (c) Operación del modelo sobre maqueta a través de Puerto Serie. (d) Interacción del modelo con sistemas remotos por TCP

Los VIs se han realizado en LabView v8.5, aunque es posible migrar a la v7.x sin cambios, y hasta la v5.x modificando la función E/S Serie y reemplazando los nodos de retroalimentación (desde v7.x) por nodos registros de desplazamiento, aunque esto último afectaría la claridad del diagrama. Tampoco se utilizan elementos específicos de un sistema operativo, por lo que puede utilizarse en versiones para Windows, Linux o Mac OS.

3.1 *Desarrollo de una aplicación*

A modo de ejemplo se ha desarrollado una aplicación del concepto de exclusión mutua, el caso del sistema Productor/Consumidor esquematizado en la Figura 10 [6]. La unidad de producción (UP) produce objetos que deposita en un almacén, con capacidad finita = 4. La unidad de consumo (UC) retira objetos para el posterior consumo
El control del sistema es capaz de ordenar las siguientes acciones: producir (p), depositar insumo (d), extraer producto (e) y consumir (c). Además recibe las señales Fp, Fd, Fe y Fc que indican el fin de dichas acciones.
No se puede depositar y extraer a la vez, es decir son acciones excluyentes.

3.1.1 Modelo funcional

La RdP de la Figura 11 describe el funcionamiento del caso planteado. La rama de la izquierda, de lugares (1,3,5,7) corresponde a los procesos de la UP, y la de la derecha (2,4,6,8) a los de la UC.

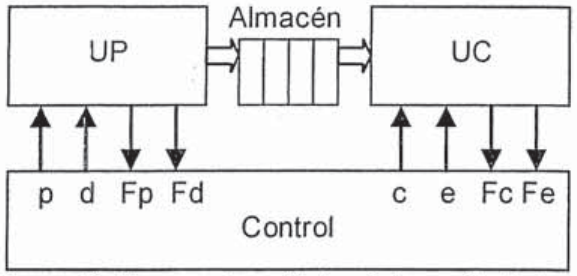


Figura 10. Esquema tecnológico del caso Productor-Consumidor.

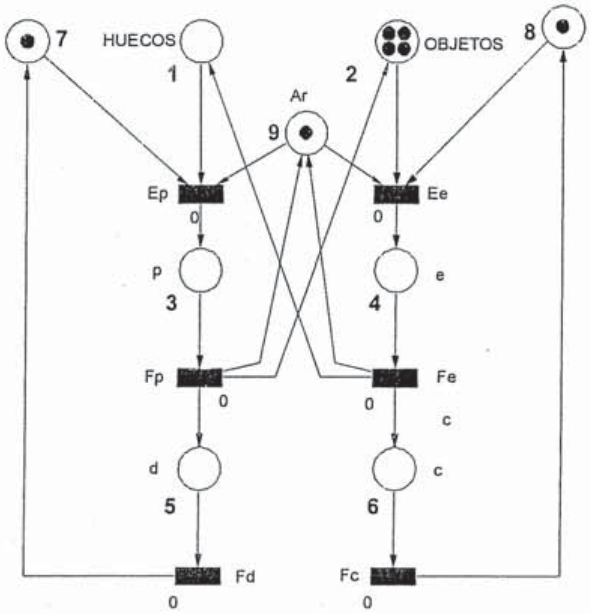


Figura 11. Modelo en Red de Petri para el caso Productor-Consumidor planteado.

El lugar (9) es compartido y coordina el acceso al almacén de los procesos (3) y (4). Para producir (3) es necesario disponer de insumos depositados (7), lugar en el almacén (1) y de la marca en (9). Para extraer (4) es necesario haber concluido el consumo anterior (8), disponer de objetos en el almacén (2) y

de la marca en (9). La marca en (9) es disputada por los procesos de producción y extracción, no pudiendo realizar ambos a la vez. Al concluir (3) se entrega marca a (2) (producto ingresa en almacén) y a (9), y al concluir extracción se entrega marca a (1) (hueco disponible en almacén) y a (9).

3.1.2 Implementación en el entorno LabView

Una aplicación en LabView se desarrolla en 2 ventanas, una de código (Diagrama de Bloques), que es en la que se implementa la RdP en modo gráfico, y una de controles e indicadores (Panel Frontal), donde se visualiza el comportamiento dinámico.

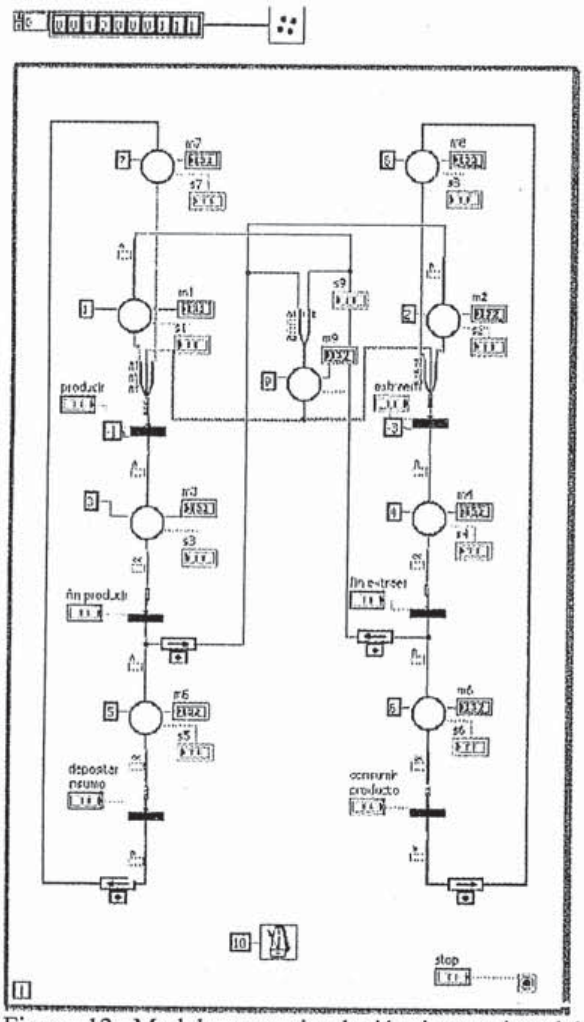


Figura 12. Modelo para simulación interactiva del caso Productor-Consumidor planteado

En el primer caso (Fig. 12) se implementa una simulación interactiva del ejemplo, con transiciones controladas por pulsadores, indicadores booleanos en las salidas de nivel de los lugares s1 a s9, e indicadores numéricos en las salidas de marca m1-9. Estos controles tienen conexión a la RdP en el Diagrama en Bloques y son visibles en el Panel Frontal.

En el segundo caso (Fig.13) se realiza una simulación animada libre. Se quitan los disparos manuales de las transiciones, y éstas se programan con valores de tiempo aleatorios. La velocidad de simulación se puede ajustar. Se han agregado además barras indicadoras (*slides*) que permiten apreciar en el Panel Frontal el nivel de marcado de cada nodo P.

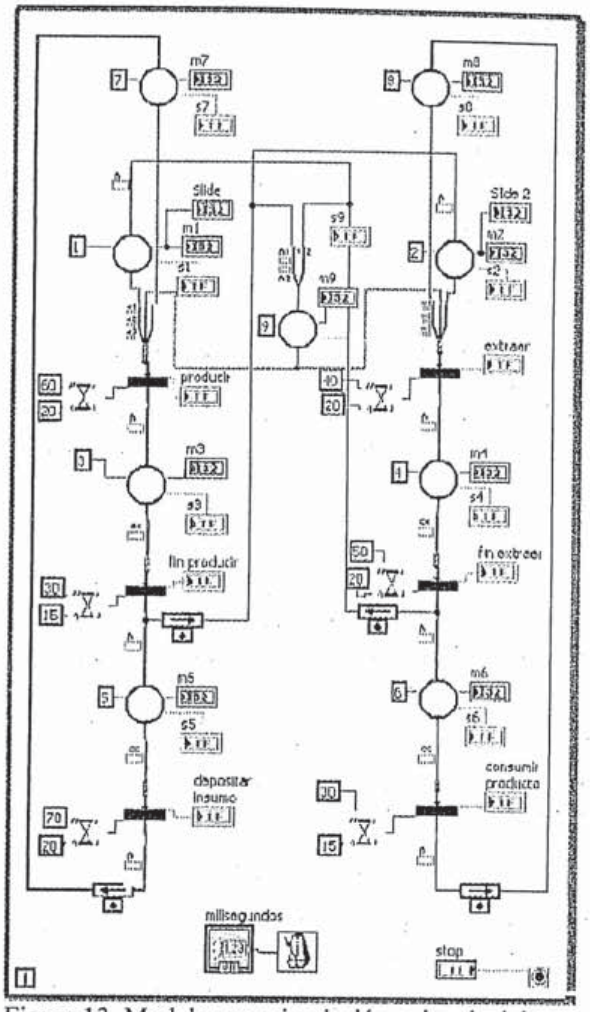


Figura 13. Modelo para simulación animada del caso Productor-Consumidor planteado.

En el tercer caso (Fig. 14) se utilizan los VIs de comunicación para interactuar con un sistema físico externo. Fuera lazo while se coloca, además del VI de marcado inicial, el de Inicialización del Puerto Serie. Luego, dentro del lazo while se conecta el VI de E/S Serie a los disparos y salidas de la RdP.

Las E/S serie tiene sus entradas y salidas agrupadas en *arrays* para evitar errores de cableado. Por este motivo Se han utilizado dos elementos propios de LabView – los VI *array to cluster* y *unbundle* para desagrupar los bits leídos, y el *build array* para agruparlos antes de escribirlos en la salida. Exceptuando estas operaciones intermedias, la comunicación con el sistema físico es tan directa como un cableado a una bornera.

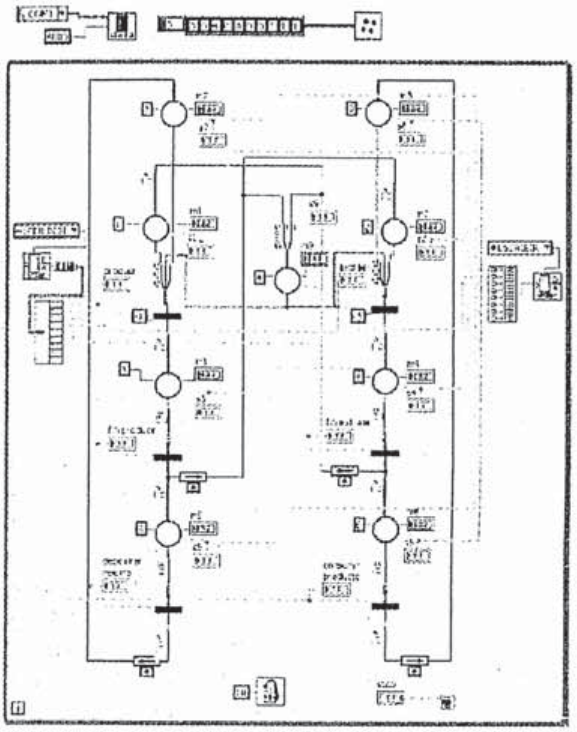


Figura 14. Diagrama para simulación en tiempo real del automatismo conectado a un sistema físico.

4 CONCLUSIONES

Se ha presentado una herramienta que permite representar RdP mediante funciones dentro del entorno LabView. Se han desarrollado algunas funciones para comunicación sencilla a sistemas físicos o lógicos, pero a partir de aquí se abre un enorme campo de exploración, tanto desde lo estructural en el desarrollo de otras variantes de RdP (coloreadas, estocásticas, difusas etc.), como desde las capacidades de vinculación a otros sistemas.

Desde lo pedagógico, la herramienta permite que los alumnos desarrollen aptitudes y capacidades para la comprensión, análisis y resolución de problemas tecnológicos de gran similitud con el mundo real, experimentando un ciclo de estudio, análisis, comprensión, representación, verificación y optimización frente a problemas, en forma similar al enfoque del ingeniero en su actividad profesional.

REFERENCIAS

[1] Bastide R, D. Buchs, M. Buffo y F. Kordon (2000) Questionnaire for a Taxonomy of Petri Net Dialects En:www.informatik.uni-hamburg.de/TGI/PetriNets/ tools/Survey_May2000.pdf

[2] Vázquez H C, L. Chirinos G., A.C. González G. y K.-H. Kayser (2003) Alternative Methodology for Modeling and Simulation of On-line Manufacturing Systems using Petri Nets- En: Proceedings (p 380) Modelling and Simulation

[3] Proske, D, O. Modrlák y M. Sbieschni - SCD(BP) Sequential Control of the Drilling Machine by SIMATIC S7-300- Experiment Instructions- -2005- Faculty of Electrical Engineering and Information Technology

[4] Buch, Tomás. Sistemas Tecnológicos (1999). Aique. México.

[5] National Instruments (2007). LabView Fundamentals. National Instruments.

[6] Bonet P, C M Llado, R Puijaner y WJ Knottenbelt (2007). PIPE v2.5: A Petri Net Tool for Performance Modelling. En: Proc. 23rd Latin American Conference on Informatics (CLEI 2007), San Jose, Costa Rica.

Hidrología y vivienda social: tendencias hacia un desarrollo urbano de bajo impacto

V.H. Burgos
vhburgos@yahoo.com.ar
Instituto Provincial de la Vivienda – Programa Mejoramiento de Barrios

RESUMEN: El crecimiento urbano no planificado afecta a nuestra sociedad con efectos negativos sobre el ciclo hidrológico. Genera mayores escurrimientos pluviales, incrementando velocidades, volúmenes y contaminantes, que terminan afectando poblaciones ubicadas aguas abajo, con el consiguiente colapso de obras, inundaciones y pérdidas económicas. Estudios recientes indican que el cambio de paradigma es inminente, y consiste en el control del escurrimiento en la fuente, destacándose los sistemas de infiltración. Trabajar sobre metodologías de aplicación y profundizar la innovación e incorporación de estas tecnologías, favorecerá al desarrollo económico local por dos vías; logrando eficiencia económica e hidrológica al minimizar costos de urbanización y caudales; e indirectamente, evitando externalidades negativas y sus impactos sobre el medio social, ambiental y productivo. El objetivo del proyecto fue contribuir a la solución de problemas de drenaje pluvial en zonas urbano-marginales del Gran Mendoza, mediante el desarrollo y aplicación de sistemas de drenaje urbano no convencional. Se presentan comparaciones hidrológicas y económicas de modelos realizados dentro del Programa Mejoramiento de Barrios. Los resultados demuestran que un diseño adecuado implica importantes ahorros en los presupuestos por infraestructura pública.

Palabras clave: desarrollo urbano sustentable – hidrología – infiltración

ABSTRACT: Land development changes the natural hydrologic cycle affecting our society with increases in surface runoff, volume and pollutants, involving downstream population causing malfunctioning structures, flooding and economical losses. Recent studies indicate an imminent paradigm change going to runoff control on site, specially through infiltration trenches. Working on applications of these technologies will favor local economic growth in two ways: achieving economic and hydrological efficiency by reducing structure costs and runoff, and, indirectly, avoiding negative impacts on society, environment and production. The objective of the project was to provide solutions in stormwater system of marginal communities of Gran Mendoza city, through the application of nontraditional stormwater designs. Hydrological and economical comparisons of prototypes are shown. The results indicate an important saving in public budgets with adequate design.

Key Words: sustainable urban development – hydrology – infiltration

1 INTRODUCCION

1.1 *Contexto del problema*

El intenso crecimiento del conglomerado urbano constituye una de las temáticas más importantes de la actualidad dentro del ordenamiento territorial.
Este proceso tiene diversos efectos sobre el ciclo del agua en el medio urbano, entre los cuales, la influencia sobre el drenaje pluvial se manifiesta con aumentos en el volumen, caudal pico, velocidad de escurrimiento y de contaminantes arrastrados por la superficie.
Uno de los problemas más angustiantes de las ciudades en los últimos años, con relación al agua, lo constituyen las inundaciones locales y ribereñas. De acuerdo al Banco Mundial, Argentina se encuentra dentro de los 14 países más afectados por inundaciones, alcanzando pérdidas del orden de 1,1% del PBI nacional. Ref.[1]
Mendoza no está fuera del problema, y lo evidencian las recurrentes situaciones de anegamientos e inundaciones urbanas que sufre ante eventos cada vez más frecuentes.
La urbanización aumenta el riesgo al desastre y los más vulnerables son los sectores con menor capacidad económica. La necesidad de expandir el espacio urbano para satisfacer la gran demanda habitacional existente, ha provocado el mal uso de tierras marginales, expuestas a situaciones de riesgo.
El sistema hídrico de Mendoza data de tiempos prehispánicos. Su nacimiento posibilitó una cultura de oasis, organizada sobre la base de un sistema de canales y acequias de riego, hoy utilizadas como drenaje pluvial.
El concepto sanitarista de drenar rápidamente hacia aguas abajo la escorrentía pluvial debe ser dejado de lado para pasar a un nuevo paradigma en cuanto a la gestión del drenaje urbano.
En la ciudad de Mendoza, se retiran cerca de 2000 tn/mes de residuos en la limpieza de las acequias, por lo que el cambio deberá ser también cultural.
En consecuencia para mitigar los efectos negativos es necesario conocer las causas que lo determinan, las circunstancias que aseveran la situación y las medidas preventivas o mitigadoras junto a la respuesta de la sociedad a tales soluciones.

1.2 *Análisis del problema-oportunidad*

La experiencia internacional indica y demuestra el correcto funcionamiento de dispositivos hidráulicos no convencionales, pero siempre aplicados en zonas de alto valor económico, con lotes de importantes dimensiones, amplios espacios verdes, etc. Por tal motivo, siempre se relacionó el Desarrollo Urbano de Bajo Impacto (DUBI) como solución antieconómica.
Una forma de implementar y promover aquella situación sustentable en cuanto al drenaje, es por medio de investigaciones con prototipos y cuencas piloto, de forma de obtener parámetros locales de diseño.
Son muy pocos los estudios realizados en zonas urbanas de bajos recursos. En Ref.[2] se presenta un sistema laminador de techos en un barrio de Rosario ejecutado por la Dirección de Vivienda.
Analizando licitaciones de infraestructura pública, de barrios que actualmente ejecuta el Instituto Provincial de la Vivienda (IPV), es de destacar que el rubro Desagües Pluviales se lleva en promedio cerca del 25% del costo total de la urbanización.
Además cabe destacar la gran inercia que presentan tanto los organismos del Estado, como las propias empresas a llevar a cabo un cambio respecto a la forma tradicional de urbanizar.

1.3 *Objetivos y resultados esperados*

El objetivo general es contribuir a la solución de problemas de drenaje pluvial en zonas marginales de Mendoza, mediante el desarrollo y aplicación de sistemas de drenaje no convencional que minimicen los costos de obra, y reduzcan los costos ambientales.
Como objetivos particulares se tuvo la comparación hidroeconómica de una urbanización tradicional respecto a un DUBI, y la estimación de costos unitarios y evitados.
Se espera un impacto positivo en el pensamiento y accionar de municipios, profesionales y empresas, responsables de la construcción del hábitat, que permita producir avances dirigidos a alcanzar en forma gradual pero sostenida, la consecución de la sustentabilidad hidrológica de urbanizaciones de Mendoza.

1.4 *Fundamento de la investigación*

Siguiendo las líneas de prioritarias de Ref.[3] en su plan Bicentenario (2006-2010), y atendiendo la referente al hábitat, vivienda y asentamientos

humanos; este trabajo intenta avanzar en las siguientes líneas de acción:

- Dinámica de las transformaciones territoriales: Gestión urbana y habitacional, su impacto en el desarrollo de la calidad de vida.
- Desarrollo sustentable de las ciudades: Uso y desarrollo eficiente de los recursos suelo, agua y ambiente.
- Desarrollo de hábitat básico: urbanización, infraestructura de servicios, equipamiento comunitario, obras complementarias y mejoramiento habitacional.

1.5 *Descripción del DUBI*

El Desarrollo Urbano de Bajo Impacto (DUBI) controla el escurrimiento pluvial desde su fuente, al ir dejando áreas reservadas que minimicen el impacto hidráulico hacia aguas abajo, mediante retenciones temporales o infiltración. Ref.[4]
Esto se logra integrando al paisaje urbano funciones hidrológicas, como el control de volumen, frecuencia, recarga y descarga por medio de acciones como minimizar la impermeabilidad, mantener o aumentar los tiempos de concentración y capacitar a la población.
Las ventajas sociales y ambientales que surjan de un eficiente control de caudales pluviales, en cualquier intervención urbana, son un tema sin discusión, pero que nadie asume a la hora de decidir.
Existen amplias diferencias entre un sistema de drenaje tradicional y uno aplicado en un DUBI. Entre ellas se destacan el objetivo y el tamaño: mientras que el primero tiene un enfoque sanitarista para drenar rápidamente el escurrimiento con obras de importante envergadura (canales, colectores), el segundo por medio de pequeñas obras controla en la fuente permitiendo otros usos.
Estos sistemas no tradicionales se pueden clasificar en medidas estructurales y no estructurales. Dentro de las primeras se encuentran la educación y participación ciudadana, el control y planificación del uso del suelo, sistemas de alerta hidrológica, etc.
Entre las estructurales, se pueden citar elementos constructivos que gestionan la escorrentía contaminada mediante la retención temporal, como cubiertas vegetadas, pavimentos permeables, trincheras filtrantes, pozos de infiltración, drenes franceses, cunetas verdes, reservorios de infiltración y/o detención, bioretenciones, jardines de lluvia, humedales, parques fluviales, etc.

1.6 *Aspectos asociados a dispositivos de infiltración*

Los sistemas de infiltración han sido utilizados en diversas ciudades del mundo. En Ref.[5] se destacan ventajas como la generación de condiciones de recarga próximas a la natural, la reducción de contaminantes, reducción de caudales, y la menor relación de ocupación de superficie respecto a otros dispositivos. Entre las desventajas remarcan que algunos suelos pueden tornarse impermeables luego de algún tiempo, y la reducción de la capacidad de infiltración debido a la colmatación si en el drenaje existen materiales finos.
En el hemisferio norte existen numerosos antecedentes, así en Ref.[6] se presentaron dos sistemas de infiltración empleados en Yokohama (Japón) los cuales redujeron los picos del sistema de drenaje en un 15% y 20%; en Ref.[7] se relata la experiencia con trincheras en Copenhague (Dinamarca); en Ref.[8] se caracterizaron cuatro cuencas experimentales en Lyons (Francia).
En el sur, en Ref.[9] se analiza un sistema experimental instalado en Porto Alegre (Brasil) monitoreado desde 1999 con excelentes resultados; en Ref.[10] presentan resultados en 14 dispositivos filtrantes sobre suelos arenosos de Woy Woy (Australia); en Ref.[11] se desarrolló un modelo para estimar reducciones con sistemas de infiltración distribuidos espacialmente con resultados de hasta un 60%. En Ref.[12] se sugiere que la vida útil de estos sistemas puede superar los 10 años.
Por último cabe mencionar que en el Mercosur, existen importantes avances tanto en Brasil, Ref.[13] como en Chile Ref.[11]. En Argentina el panorama es distinto; si bien ya existen tendencias en incorporar medidas no estructurales en planes directores de ordenamiento hidráulico Ref.[14] [15], no se evidencian intentos por aplicar en forma sistemática y planificada soluciones estructurales no convencionales en avances urbanos de tipo vivienda social.

2 MATERIALES Y METODOS

2.1 *Metodología*

La aplicación del concepto se hará por medio de una comparación con lo que actualmente se ejecuta en nuestra región, de forma de tomar los resultados como herramienta de decisión.

El desarrollo se muestra desde dos enfoques, el primero parte del diseño del loteo, remarcando diferencias y analizando la eficiencia hidráulica y económica, y el segundo desde el desarrollo de dispositivos de infiltración de bajo costo, aplicados en barrios próximos a urbanizarse.
El estudio utilizó para su desarrollo sistemas CAD, y un modelo hidrológico simple, por lo que su aplicabilidad es inmediata.

2.2 *Hipótesis de partida*

La comparación hidrológica se hará con un modelo de parámetros concentrados, contrastando tres escenarios (natural, urbano tradicional y no convencional) en un punto específico de la cuenca.
Se relacionarán sólo costos directos de urbanización, no teniendo en cuenta beneficios indirectos.
Se considera un avance urbano a 20 años.

2.3 *Área de estudio*

Se presentan tres casos aplicados en Mendoza. El primero en el Bº 8 de Abril (Las Heras), enmarcado en el límite oeste del avance urbano, con relieve ondulado, red de drenaje tipo aluvional y altas pendientes. El segundo en el Bº Cosquín (Santa Rosa) con relieve plano y depresiones naturales con puntos inundables y el último en el Bº Nebot, (Guaymallén) en el límite nor-este de la expansión urbana, con terrenos limitados por barreras físicas como el ferrocarril y la ruta a Lavalle.

2.4 *Modelo Hidrológico*

El modelo Arhymo empleado es un modelo hidrológico de transformación lluvia-escorrentía cuyos parámetros de entrada son las características morfométricas de la cuenca de aporte y la tormenta de proyecto, dando como resultados los caudales de salida, Ref.[16] Para el dimensionamiento de trincheras de infiltración se aplicó el método de la curva envolvente, el cual permite hacer un balance simple entre los volúmenes de agua escurridos e infiltrados, Ref.[17]

2.5 *Tormenta de proyecto*

Se utilizó la tormenta de proyecto del Gran Mendoza, desarrollada por Ref.[18] para tormentas con 60 minutos de duración y tiempos de recurrencia (TR) de 5, 25 y 50 años. Las láminas de lluvia acumulada para cada recurrencia, sin decaimiento espacial, son de 60, 70 y 97mm respectivamente.

3 RESULTADOS

3.1 *Evaluación hidrológica*

3.1.1 Comparación hidrológica de urbanización convencional vs DUBI

El primer escenario corresponde al loteo convencional, con técnicas de urbanización tradicional (dameros, calles rectas, máxima densidad urbana, gran impermeabilidad); el segundo representa la condición pre-urbana y el tercer escenario es un DUBI aplicado desde el diseño del loteo.
El loteo convencional, típico de nuestra región, utiliza manzanas rectangulares dispuestas en damero, con lotes mínimos de iguales dimensiones.
El caso de estudio, recientemente ejecutado, tiene una superficie de 8,2 Ha, próximo al piedemonte, altas pendientes (5%) en sentido W-E, suelos aluvionales, vegetación escasa y xerófita. Posee 234 lotes de 200 m², y el 37.4% del área es destinada a calles, con una longitud de 2240m.

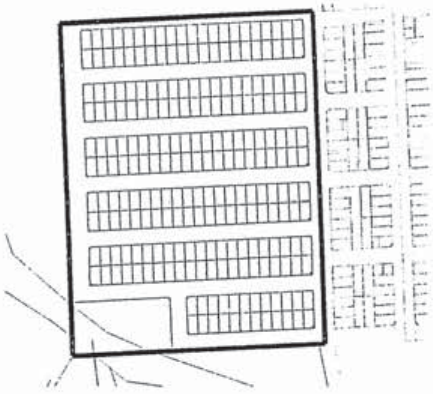


Figura 1. Loteo Bº 8 de Abril, Las Heras

Se subdividió en subcuencas y se extrajeron los parámetros morfométricos necesarios para la modelación hidrológica, destacando los bajos tiempos de concentración, menores a 10 minutos.
La condición pre-urbana se estableció con parámetros similares al piedemonte adyacente.
El escenario no convencional, incluye el diseño del loteo, amoldando las calles a curvas de nivel y respetando los drenajes naturales.

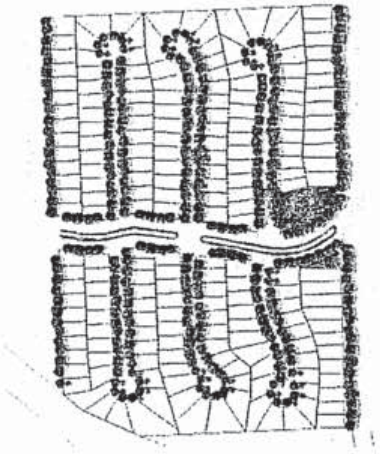


Figura 2. Loteo DUBI propuesto en B° 8 de Abril

Se proyectó una calle principal en el sentido del escurrimiento, con boulevard, canal rectangular en gaviones y pasto, y calles secundarias siguiendo curvas de nivel. En total son 203 lotes (13% menos), con lotes variados (mínimo 220 m²), calles abarcando un área igual al 34% del total con 1626m de longitud (73% del anterior).

Tabla 1. Comparación hidrológica, caudales pico, en m³/s

Tiempo de Recurrencia	Esc. I Loteo Tradic.	Esc. II Natural	Esc. III DUBI
5 años	2.53	0.90	0.90
25 años	3.05	1.17	1.36
50 años	4.55	2.03	2.18

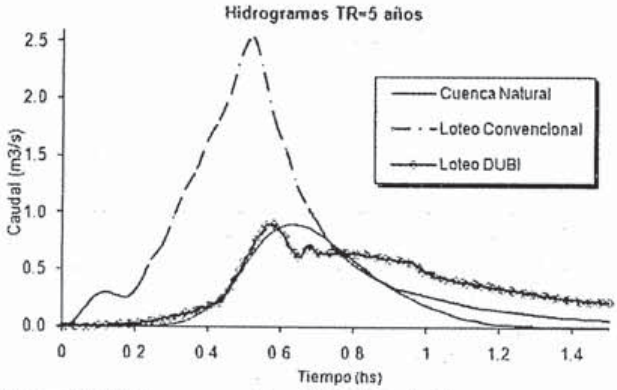


Figura 3. Hidrogramas de salida TR=5 años.

Se modeló la hidrología urbana, con uso de trincheras de infiltración y retención temporal en el espacio verde proyectado, por medio de un reservorio de detención de 700m³, logrado mediante un desmonte de 0,75m en con taludes suaves 8:1.
En la Tabla 1 y Fig.3 se observan los caudales de salida de los escenarios modelados.

3.1.2 Aplicación de diseños no tradicionales para el drenaje pluvial

Esta segunda etapa consistió en diseñar alternativas para el sistema menor de drenaje y aplicarlos en dos obras de urbanización próximas a ejecutarse.
El primer sistema corresponde al B° Cosquín (Santa Rosa). La urbanización de este barrio presentaba el problema de poseer una zona en depresión que impedía el uso de sistema tradicional de acequias revestidas. La aplicación del DUBI se resolvió mediante la incorporación de un sistema mixto, compuesto por pequeñas acequias trapeciales de 0,4m de fondo y alto, con soleras discontinuas apoyadas sobre cajones drenantes, tal como se muestra en la Fig.6.
La cuenca urbana de aguas arriba que drena hacia el predio bajo estudio alcanza las 46 Has.
Se modeló el sistema hidrológico, siguiendo la metodología expuesta en el apartado anterior. Se verificó la sustentabilidad hidrológica al igualar las condiciones naturales de escurrimiento pluvial, que para el caso en particular y para TR=5 años llega a 1.34 m³/s.
Se proyectaron trincheras de infiltración bajo veredas y en jardines con micro pozos filtrantes.

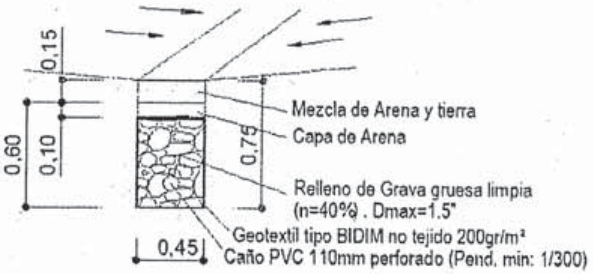


Figura 4. Detalle de trinchera de infiltración intralote

Las trincheras de infiltración se modelaron en Arhymo, siguiendo una analogía con la abstracción inicial y luego dimensionadas con el método de la curva envolvente de los volúmenes escurridos e infiltrados según Ref.[17].

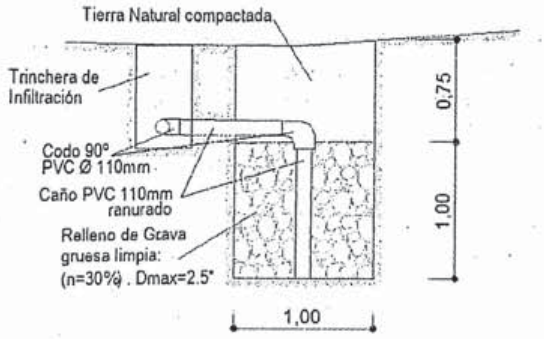
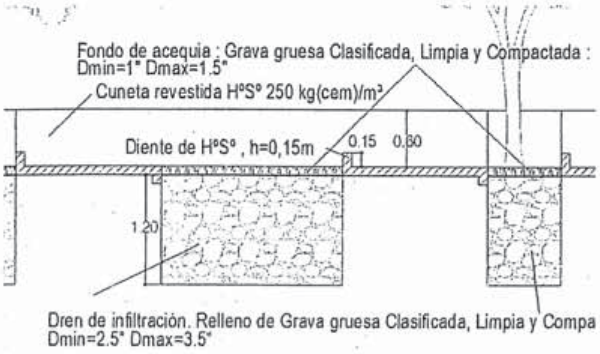


Figura 5. Detalle de micro pozo de infiltración



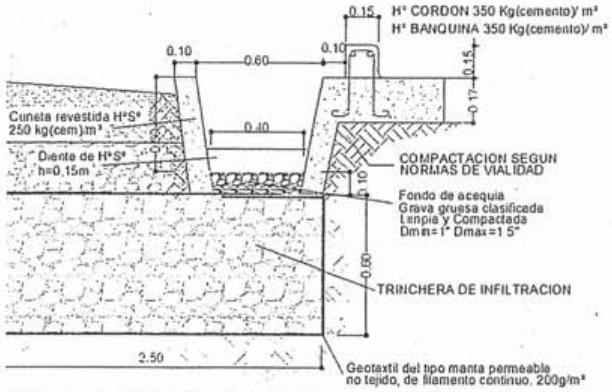


Figura 6. Detalle de trinchera de infiltración bajo vereda y acequia de solera discontinua (Sist. Mixto)

El segundo sistema propuesto se aplicó en el B° Nebot (Guaymallén). Se realizó la modelación hidrológica, obteniendo caudales de salida, para la cuenca en estado original, de $1.05 m^3/s$. Se dimensionaron los dispositivos de infiltración para que el caudal de salida del loteo con proyecto sea el mismo que el caudal del estado previo. Ref.[19].
El diseño del sistema pluvial está compuesto por una banquina colectora con bocas de tormenta y trincheras de infiltración bajo banquina. Los cruces de calles son por medio de badenes, evitando alcantarillas y puentes vehiculares.

La construcción del sistema propuesto sigue la misma metodología de ejecución que los cordones con el agregado de una banquina más ancha y con una sección de escurrimiento. Las trincheras de infiltración son cajones excavados a máquina o a mano y rellenos de grava seleccionada envueltos en geotextil de $200 gr/m^3$. Todos los patios de las viviendas drenan hacia las trincheras y en las conexiones domiciliarias se diseñó una pequeña cámara de limpieza y sedimentación.

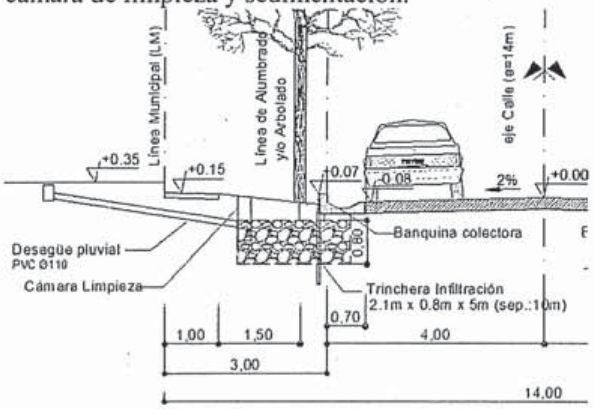
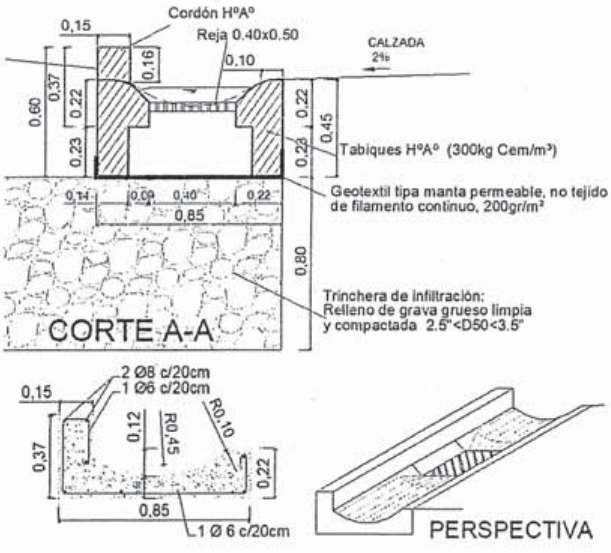


Figura 7. Medio perfil tipo de calle con banquina colectora y trincheras de infiltración

Para el riego forestal se planteó un sistema individual compuesto por un ducto perforado con cámara de acceso. El concepto implica además un cambio cultural ya que el vecino frentista es quien debe mantener y cuidar su árbol.
Las bocas de tormenta se diseñaron para fabricarse in situ, en hormigón armado, mediante un cajón de 0.85 x 0.70m apoyado sobre la trinchera. Cuenta con una reja metálica de 0.5x04m y filtro geotextil.



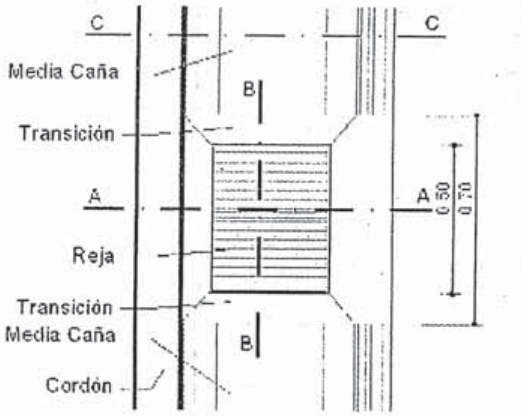


Figura 8. Detalle de boca de tormenta

3.2 *Evaluación económica*

3.2.1 Comparación económica de urbanización convencional vs DUBI

La siguiente etapa del estudio consistió en analizar la diferencia económica que resultaría de la aplicación del DUBI en el mismo terreno donde se ejecutó el Bº 8 de Abril. Para ello se utilizaron los mismos precios unitarios que el presupuesto original de la urbanización, variando sólo las cantidades de todas las obras de infraestructura.
Se muestran los resultados en Tabla 2.

Tabla 2. Comparación económica [en miles $]

Rubro	Esc. I Loteo Tradic.	Esc. III DUBI
Sist. de abastecim. agua potable	222.2	198.1
Sist. desagües cloacales	275.3	245.4
Sist. desagües pluviales	436.1	467.9
Red Vial	339.1	175.9
Red eléctrica y AP	221.8	195.5
Red peatonal	119.8	79.4
Prov contenedores domic	22.1	18.8
Prov y coloc forestales	14.6	18.2
Movimiento de suelos	279.9	60.9
Total Infraestructura Pública	1931.0	1454.3

3.2.2 Análisis de costos unitarios de sistemas no convencionales

El último objetivo propuesto fue determinar un costo unitario de los sistemas propuestos y comparar nuevamente respecto del sistema tradicional.
Para ello se tomó como unidad de medida, el metro lineal de sistema de drenaje pluvial, incluyendo puentes vehiculares, peatonales, alcantarillas, badenes, trincheras de infiltración, etc.
En la comparación se utilizaron otros barrios que se encontraban en licitación en ese momento. Los precios son al mes de Setiembre de 2007.

Tabla 3. Costos unitarios [en $]

Barrio	Cant. Viv.	Desagüe (ml)	Costo unit. Sist. Pluvial	Sist.
Sol y Sierra	333	5200	323.7	Tradic.
Costa Atuel	177	3495	348.7	Tradic.
Ramonot	226	5196	320.2	Tradic.
Nebot	160	3580	165.7	No Tradic.
Cosquin	88	2235	277.7	Mixto
Cordón del Plata	160	2282	356.9	Tradic.

3.2.3 Análisis de costos ahorrados

Se estimaron los costos ahorrados en función de la incorporación del costo unitario promedio para un sistema tradicional ($ 337.4), aplicado en el cómputo representativo por barrio (metros lineales de drenaje). En la Tabla 4 se consignan los presupuestos finales para todas las obras de urbanización, incluyendo el Rubro Sistema Pluvial, el cual representa en ambos casos cerca del 25% del total.

Tabla 4. Costos ahorrados [en miles $]

Barrio	Presup. Total DUBI	Presup. Total Sist. Tradicional	Costo ahorrado	% Reducc
Nebot	2443.7	3058.1	614.4	20.1
Cosquin	2233.3	2366.7	133.4	5.6

4 CONCLUSIONES

En el primer caso de estudio, se aplicó el concepto del DUBI desde el diseño del loteo, que comparado con lo ejecutado por el IPV, se aprecia una

considerable reducción de los volúmenes y caudales pico, cercana al 40% para TR=5 años y próxima al 30% para TR=50 años.

Siguiendo la comparación económica del primer caso, se observa una reducción en el presupuesto por infraestructura básica, para la urbanización de bajo impacto hidrológico, respecto al loteo convencional. Si bien la reducción en cantidad de lotes llega al 13%, el costo total de la urbanización descendería en un 25%, en contrapartida con la creencia común de que un loteo de este tipo incrementa los costos. La disminución de los costos en redes de servicios fue debido a la menor longitud de calles del nuevo loteo propuesto.

Por último, en la comparación de los costos unitarios de los sistemas no convencionales, se observa una disminución del costo por metro lineal de drenaje, que oscila entre el 51% para un sistema no tradicional puro y un 18% para un sistema mixto, respecto al costo unitario promedio de un sistema tradicional, compuesto por acequias revestidas, alcantarillas y puentes vehiculares y peatonales. Con un análisis de costos ahorrados, se observó una reducción del costo final de la obra, que oscila aproximadamente entre el 6% y el 20%.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece la colaboración de sus compañeros de trabajo en el Instituto Nacional del Agua - Centro Regional Andino (INA-CRA) en especial al tutor del presente trabajo, Ing. Jorge A. Maza y a los compañeros del Instituto Provincial de la Vivienda: Arq. Oscar Mazza, Ing. Agrim. Daniel Videla, Ing. Mariana Vidal Mazzeo, Arq. Gabriela Diaz Moyano.

REFERENCIAS

[1] C. Bertoni & C. Catalini, Representación del funcionamiento hidráulico de trincheras urbanas de drenaje pluvial mediante el modelo SWMM, XXI CNA, Tucumán, 2007.

[2] A. Secchi, R. Giacosa, H. Bianchi & R. Manzon, Desarrollo y aplicaciones del dispositivo regulador de crecidas en cuencas urbanas , INA-CRL, 1995

[3] Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología, Plan nacional de ciencia, tecnología e innovación productiva, 2004

[4] V. Burgos, Desarrollo Urbano de Bajo Impacto Hidrológico (DUBI): Una alternativa para una adecuada hidrología urbana del Gran Mendoza, XXI CNA, Tucumán, 2007

[5] B. Urbonas, Hydrologic Design for Urban Drainage and Flood Control, Handbook of Hydrology. D.R. Maidment (ed) Cap 28, 1994

[6] S. Watanabe, Study on Storm Water Control by Permeable Pavement and Infiltration Pipes, Novatech, 1995, pp 455-462

[7] E. Warnaars, Long-term hydrologic behavior of stormwater infiltration trenches in central urban areas, Novatech, 1998, pp 533-540

[8] S. Barnaud, Statistical analysis of pollution in stormwater infiltration basins, Novatech, 2004, pp 1485-1492

[9] J. Goldenfumn & V. Borges de Souza, Infiltration trenches in urban runoff control: on experimental study, Novatech 2001. pp 1039-1042

[10] Matuzic, Stormwater Infiltration Experiments on a Sandy Area in Eastern Australia, Novatech, 2001, pp 825-832

[11] B. Fernandez, J. Montt & P. Rivera, Nuevos Enfoques para el Drenaje Urbano de Aguas Lluvias, P. Universidad Católica de Chile, 2004

[12] S. Fujita, Measures to promote stormwater infiltration, International Conference On Urban Storm Drainage, 1996, p.407-412

[13] C. Tucci, Tendências da Gestão das Águas Pluviais, IPH-UFRGS. Porto Alegre, RS, 2007

[14] P. Broinster, Plan Director de Ordenamiento Hidráulico de la Ciudad de Buenos Aires, M.P.yO.P. Dirección Gral. de Hidráulica, 2007

[15] F. Adler, Plan Director para manejo de Aguas Pluviales de la Ciudad de San Carlos de Bariloche, CFI , DPA, 2007

[16] J. Maza, L. Fornero, C. Litwin & P. Fernandez, Arhymo, Manual del Usuario. INCyTH-CRA. Mendoza, 1993

[17] A. Lopes da Silveira, Pré-dimensionamento hidrológico de pavimentos permeáveis e trincheiras de infiltração, Simpósio ABRH Curitiba/PR, 2003

[18] INA CRA, Tormenta de proyecto para el Gran Mendoza, 2007

[19] J. Maza & V. Burgos, Sustentabilidad Hidrológica de Urbanizaciones en Piedemonte, INA CRA, 2004

Método de las fibras para obtener el diagrama de interacción M-N

P. Cuadros
pcuadros@unsj.edu.ar
Departamento de Matemática, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional De San Juan

RESUMEN: El diagrama de interacción es de uso universal y de gran utilidad para calcular y dimensionar las columnas que son asociadas a carga normal N y momento flector M. Este trabajo presenta el método de las fibras o capas para la construcción del diagrama de interacción. Entre los objetivos básicos planteados está aprovechar las posibilidades educativas en el estudio de calculo de estructuras de hormigón. Destacando la utilidad del método porque proporciona una manera lógica y sencilla de construcción del diagrama, que permite programarlo fácilmente en distintos software.

Palabras clave: diagrama de interacción – hormigón armado

ABSTRACT: The interaction diagram is of universal use and of great utility to calculate and dimension the columns that are associated to loads normal N and flexural moment M. This work presents the method of the fibers or layers for the construction of the interaction diagram. Among the outlined basic objectives take advantage of the educational possibilities in the study of I calculate of concrete structures. Highlighting the utility of the method because it provides a logical and simple way of construction of the diagram that allows to program it easily in different software.

Key Words: interaction diagram – Reinforced concrete

1 INTRODUCCIÓN

El diagrama de interacción es de uso universal y de gran utilidad para calcular y dimensionar las columnas que son asociadas a carga normal N y momento flector M, interpreta específicamente la flexocompresión, define todas las posibles combinaciones de N-M que provoquen la falla de una columna prediseñada en el intervalo completo de excentricidades, no tiene en cuenta la fluencia lenta y el pandeo.

Para el diagrama de interacción en el plano, como se muestra en la Fig. 1, en el eje de las ordenadas se representan las cargas actuantes N y en el eje de absisas los momentos flectores M. Para una columna de sección y cuantía establecida la curva de la figura indica los puntos de rotura para todas las interacción posibles de N y M. Esta curva que conformará un diagrama para una cuantía particular, es para la cual se empleará el método de las fibras en su construcción.

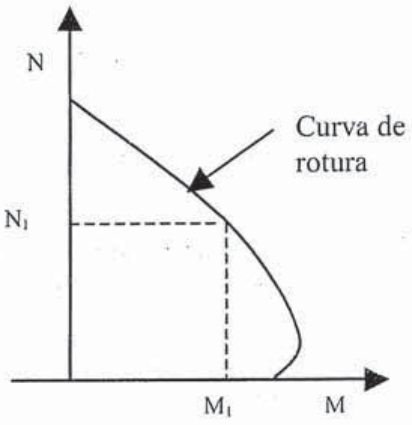


Figura 1: Diagrama de interacción .

En este trabajo se presenta el uso del método de las fibras, destacando la utilidad del mismo porque proporciona una manera lógica y sencilla de construcción del diagrama, que permite programarlo fácilmente en distintos software, siendo una herramienta con potencialidad en el campo profesional. Entre los objetivos básicos planteados está aprovechar las posibilidades educativas en el estudio de calculo de estructuras de hormigón. Con el avance en rapidez y precisión de las computadoras, programas como el Matlab, permiten reemplazar el tiempo empleado en cálculos manuales, con el análisis y profundización de conceptos básicos de estructuras, que son necesarios para programar el método. Convirtiéndose en una herramienta de gran ayuda para los estudiantes de carreras de ingeniería.

2 CONSTRUCCIÖN DEL DIAGRAMA DE INTERACCIÓN

Para la construcción del diagrama de interacción M-N se considera una sección rectangular de hormigón con armadura simétrica normal al plano de flexión en dos caras opuestas como la mostrada en la Fig. 2.

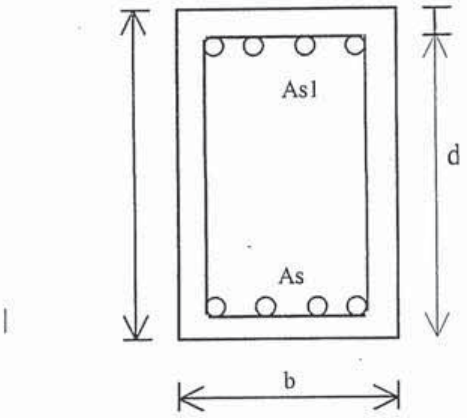


Figura 2. Sección de un elemento de hormigón armado.

Siendo:
h = altura de la sección
b = base de la sección
r = recubrimiento
d = altura efectiva de la sección.
As = armadura de tracción
As1= armadura de compresión

2.1 *Principios básicos*

El método se ha desarrollado teniendo en cuenta las ecuaciones de equilibrio y compatibilidad, atendiendo al comportamiento de los materiales definido por sus ecuaciones constitutivas. En su planteamiento se han contemplado las siguientes hipótesis:

1. Se considera que los esfuerzos se aplican en un plano de simetría de la sección.
2. Las deformaciones específicas de las distintas fibras de la sección son proporcionales a su distancia al eje neutro.
3. Las secciones planas antes de la aplicación de una acción permanecen planas después de la aplicación de una carga o una deformación específica.
4. Se considera que la deformación específica máxima del hormigón es $\varepsilon_{cu}=0,0035$,Ref. [2].
5. La magnitud y la posición de la fuerza de compresión depende de la forma del diagrama tensión-deformación del hormigón.
6. Se desprecia la contribución del hormigón en tracción.

2.2 *Ecuaciones constitutivas de los materiales*

Para las relaciones tensión deformación de los materiales pueden usarse las dadas en la norma CIRSOC 201 o como en este trabajo, la ecuación constitutiva del acero empleada es la propuesta por Cheng y Mander , mostrada en la Fig. 3.
Siendo para el campo elástico, con deformación específica entre:

$$0 \le \varepsilon_s \le \varepsilon_{sy}$$

$$f_{si} = \varepsilon_{si} \cdot Es \qquad (1)$$

Para el plafón de fluencia, con deformaciones entre:

$$\varepsilon_{sy} \le \varepsilon_s \le \varepsilon_{sh}$$

$$f_{si} = fy \qquad (2)$$

Para el campo de endurecimiento por deformación, con deformaciones entre:

$$\varepsilon_{sh} \le \varepsilon_s \le \varepsilon_{su}$$

$$fs = Es.\varepsilon_s \cdot \left[1+\left(\frac{Es.\varepsilon_s}{fy}\right)^{20}\right]^{-0,05} + (fsu-fy)\left[1-\left(\frac{\varepsilon_{su}-\varepsilon_s}{\varepsilon_{su}-\varepsilon_{sh}}\right)^{p}\right] \qquad (3)$$

Siendo:
ε_s = deformación específica del acero
ε_{sy} = deformación de fluencia del acero
Es = módulo de elasticidad del acero
f_{si} = tensión del acero
f_y = tensión de fluencia del acero
$f_{su}=1,32 f_y$

$E_{sh}=0,05 Es \pm 20\%$

$\varepsilon_{sh}=0,017$
$\varepsilon_{su}=0,17$
$k=1$ para endurecimiento, 0 antes de este campo.

$$p = Es_h \cdot \left[\frac{\varepsilon_{su}-\varepsilon_{sh}}{fsu-fy}\right] \qquad (4)$$

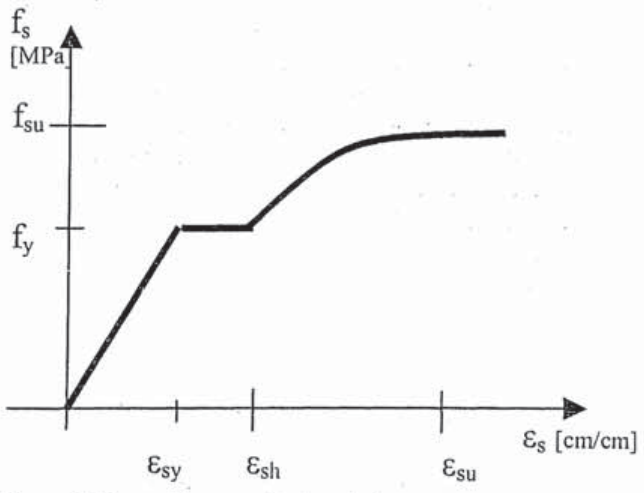


Figura 3. Ecuación constitutiva del acero

La ecuación constitutiva del hormigón es la propuesta por Hognestad, Ref. [3] mostrada en la Fig. 4.
Si $\varepsilon_b < \varepsilon_0$

$$fc = fc'\left[\frac{2\varepsilon_b}{\varepsilon_0} - \left(\frac{2\varepsilon_b}{\varepsilon_0}\right)^2\right] \qquad (5)$$

Si $\varepsilon_b > \varepsilon_0$

$$fc = fc'\left(1-100\left(\varepsilon_b-\varepsilon_0\right)\right) \qquad (6)$$

Siendo :
fc : tensión de compresión del hormigón para $\varepsilon_b < \varepsilon_0$
fc' : tensión máxima de compresión del hormigón para $\varepsilon_0 = 2‰$
ε_b: deformación de compresión del hormigón
ε_0: deformación para la máxima tensión de compresión del hormigón.

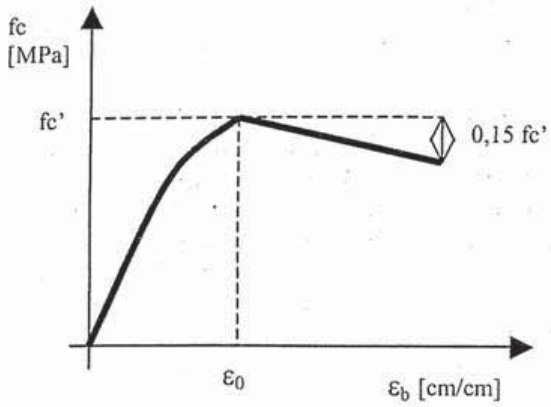


Figura 4. Ecuación constitutiva del hormigón

2.3 *Método de las fibras*

El método de las fibras se emplea para determinar y graficar el diagrama de interacción M-N para columnas. Consiste en:

1. Dividir la sección del elemento estructural en capas o fibras, por ejemplo en un número de 50 capas. Cp es la posición del centroide plástico de la sección, que es el punto de aplicación de la carga externa que produce la falla de la sección por carga axial. Cuando el elemento estructural tiene armadura simétrica, el centroide plástico corresponde al centro de la sección. Ver Fig. 5.

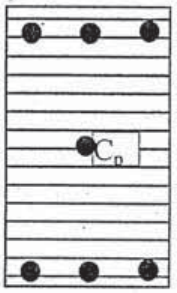


Figura 5. División en capas de la sección total del elemento.

2. Obtener los parámetros geométricos de la sección y las correspondientes capas, como ser centroide plástico de la sección, cp, y de cada capa, c_f, y área de cada capa, a_i.

$$cp = d.\frac{0,0015}{0,0035} \qquad (7)$$

$$a_i = b.\frac{d}{n} \qquad (8)$$

Siendo
n = número de fibras o capas en que se divide la sección.
No se toma en cuenta el área de hormigón desplazada por el acero de compresión, As1.

3. Los diagramas de deformación correspondientes a los estados límites o de agotamiento utilizados son los que establece el reglamento CIRSOC 201, artículo 17.2.1, 1982. Ver Fig. 6.

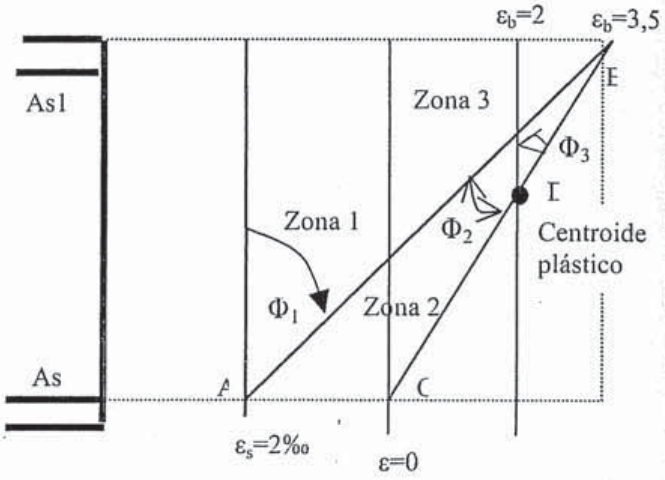


Figura 6. Diagrama de deformación correspondiente a los estados límites o de agotamiento.

En la Fig. 6 las zonas indicadas corresponden, de acuerdo con el artículo 17.2.1 del reglamento CIRSOC 201, 1982, a:
Zona 1: tracción céntrica y con pequeña excentricidad, hasta ε = 0. Y flexión simple o compuesta hasta el agotamiento de la resistencia del hormigón , εb=3,5 ‰ , y con tensión de fluencia en el acero, εs=2‰.
Zona 2: Flexión simple o compuesta con agotamiento de la resistencia del hormigón y con tensión de fluencia en el acero. Y luego flexión compuesta sin llegar al límite de fluencia del acero, εs < 2‰, y con agotamiento de la resistencia del hormigón.
Zona 3: compresión céntrica y flexocompresión con pequeña excentricidad.
Para el estado de deformación vertical que pasa por A, Fig. 6, si la armadura es simétrica, el estado es de tracción pura, en caso contrario hay un momento y una tracción. Para cada faja de la sección

discretizada existe tracción nula (despreciamos la tracción en el hormigón).
Con centro en A, Fig. 6, se gira el diagrama de deformaciones en forma horaria hasta el punto B, zona 1, el ángulo varía desde cero a:

$$\Phi_1 = \frac{0{,}0035 + 0{,}002}{d} \qquad (9)$$

Esta variación se realiza paso a paso, incrementando el ángulo Φi en ΔΦ y calculando la deformación correspondiente en cada capa, como sigue:

$$\Delta\Phi = \frac{\Phi_1}{no} \qquad (10)$$

$$\Phi_{i+1} = \Phi_i + \Delta\Phi \qquad con \qquad i = 1...no \qquad (11)$$

$$\varepsilon_{fi} = \Phi_i . c_f \qquad (12)$$

Siendo:
no = número de diagramas a dibujar en la zona.
ΔΦ = incremento del ángulo.
Φ_i = ángulo correspondiente a un diagrama de deformaciones
ε_{fi} = deformación de cada capa
c_f = centroide plástico de una capa

Los diagramas de deformación que se obtienen se muestran en la Fig. 7, con esta variación se pasa de flexotracción a flexocompresión.

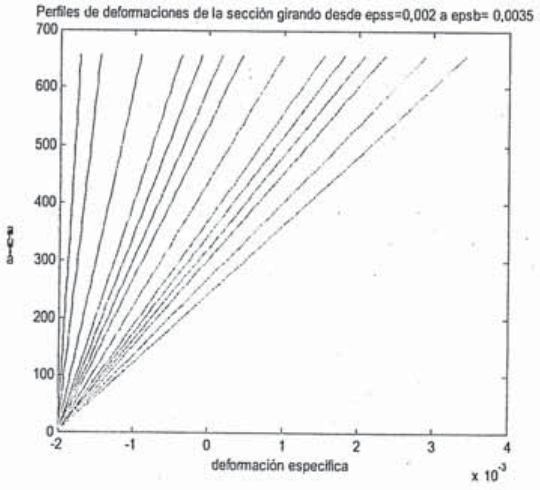


Figura 7. Perfiles de deformación de la sección girando desde $\varepsilon_s = 0{,}002$ a $\varepsilon_b = 0{,}0035$, en zona 1

Con centro en B, Fig. 6, se gira el diagrama de deformaciones en forma antihoraria hasta alcanzar el punto C, zona 2. El ángulo Φ_2 es:

$$\Phi_2 = \Phi_1 - \frac{0{,}0035}{d} \qquad (13)$$

En la zona 2 se continúa con solicitaciones de flexocompresión hasta alcanzar el punto de falla balanceada. Los perfiles de deformación obtenidos se muestran en la Fig. 8.
Con centro en D, Fig. 6, se gira el diagrama en forma antihoraria hasta que el diagrama sea nuevamente vertical, variando los ángulos con un esquema similar que para la zona 1.
El ángulo Φ_3 es:

$$\Phi_3 = \frac{0{,}0015}{x} \qquad (14)$$

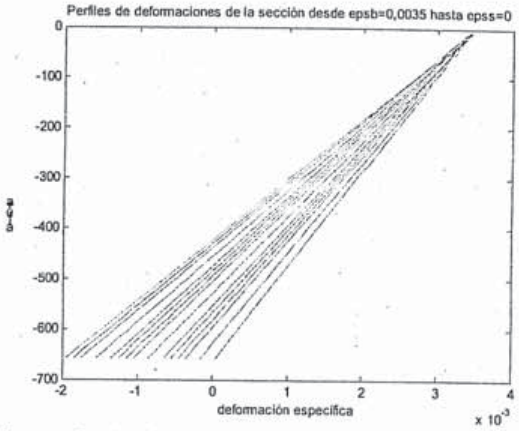


Figura 8. Perfiles de deformación de la sección girando desde $\varepsilon_b = 0{,}0035$ a $\varepsilon_s = 0$, en zona 2

Finalmente, en zona 3, se varía desde falla balanceada, que es el punto donde el acero en tracción alcanza la deformación εs=2‰ y la fibra extrema de la sección la deformación de compresión en el hormigón máxima de $\varepsilon_b = 0{,}0035$; hasta compresión pura en el caso de que la armadura sea simétrica. Los perfiles de deformación obtenidos se muestran en la Fig. 9.

4. Para varios pasos discretos de estos giros se calcula la deformación específicas en las fibras y en el baricentro de las armaduras, como indican las ecuaciones (10) a (12), con esas deformaciones y utilizando las ecuaciones constitutivas de los materiales se calculan las tensiones en cada capa o fibra.

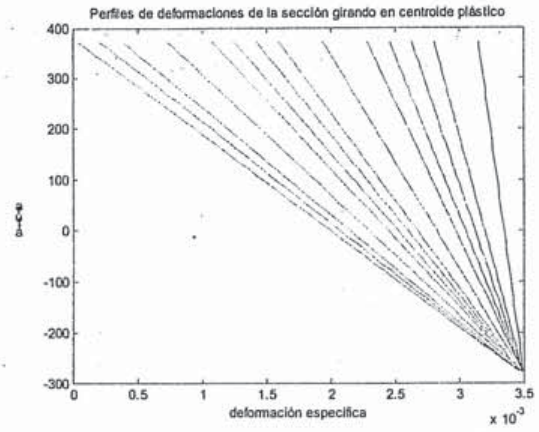


Figura 9. Perfiles de deformación de la sección girando en centroide plástico, zona 3

5. Con los valores del área de cada fibra y de las armaduras, y las tensiones obtenidas en el apartado anterior se calculan las fuerzas, en el hormigón:

$$C = fc.a_i \tag{15}$$

Las fuerzas en el acero:

$$T = fs.As$$
$$T_1 = fs_1.Asl \tag{16}$$

6. Con ese conjunto de fuerzas se calculan los momentos respecto de Cp (centroide plástico) y fuerzas normales del diagrama de interacción.
7. Se grafican los valores M-N correspondientes a cada perfil de deformación, Fig. 10

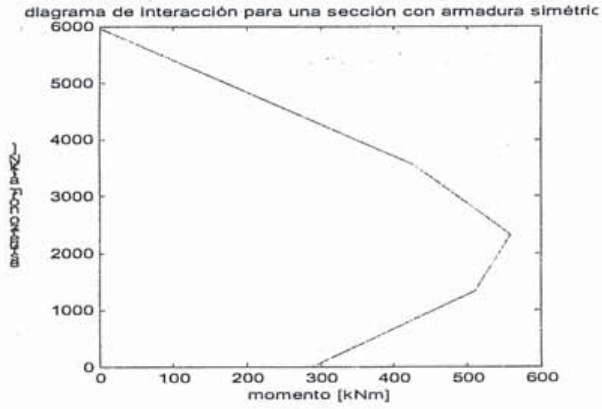


Figura 10. Diagrama de interacción para una sección de hormigón armado con armadura simétrica

El diagrama obtenido responde a la filosofía del reglamento CIRSOC 201 edición1982. La nueva filosofía introducida por el CIRSOC 201 edición 2005 cambia la forma del diagrama de interacción al introducir los coeficientes de reducción por resistencia.

Debe destacarse también que es posible graficar las curvas para las distintas cuantías agregando un paso más al método lo que permite explotar las diversas alternativas para el diseño de columnas, esto contribuye a optimizar los diseños.

3 CONCLUSIONES

Se muestra un método para la obtención del diagrama de interacción que puede ser totalmente automatizado con distintos software y de utilidad en el campo de la práctica profesional.

El método permite un enfoque racional, relativamente simple y directo para la construcción del diagrama de interacción en el diseño de columnas que lo transforma en una herramienta potente en el campo de la enseñanza de las asignaturas correspondientes.

REFERENCIAS

[1] Normas Argentinas para Construcciones Sismorresistentes INPRES - CIRSOC 103 - Parte I - Parte II . , INPRES, 1983.

[2] Normas Argentinas para la Construcción- CIRSOC 201, INTI, 1982.

[3] E. Hognestad, A Study of Combined Bending and Axial Load in Reinforced Concrete Members, University of Illinois Engineering Experimental Station, Serie de Boletín N° 399, Noviembre 1951, pag. 128

[4] R. Park, T. Pauly, Estructuras de concreto reforzado, Limusa, Noriega Editores, 1999

[5] T.Paulay, M.J.N. Priestley, Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings John Wiley & Souns, Inc, 1992.

[6] New Zeland Standard Code of Practice for the Desing of Concrete Structure. NZS 3101 – Part I. Standards Association of New Zeland, 1982.

[7] MATLAB Reference Guide, The Mathworks, Inc. Natick, Massachussetts, 2004.

Comparación de un método semi-analítico versus modelación mediante elementos finitos para vibración de placas.

N.F. Pizarro & N.D. Agüera
nery@frm.utn.edu.ar & naguera@frm.utn.edu.ar
CEREDETEC, Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional

RESUMEN: se realiza un estudio comparativo entre los resultados obtenidos por el método semi-analítico realizado por R. M. Lin y M. K. Lim sobre las frecuencias naturales de vibración en placas y la modelación mediante el uso de programas computacionales de elementos finitos. Se comparan las frecuencias de los primeros modos de vibrar de una placa simplemente apoyada en sus cuatro bordes con masa uniformemente distribuida por unidad de superficie, con la introducción de modificaciones respecto a las masas asociadas a la misma en puntos preestablecidos, como también las variaciones de rigidez y amortiguamiento. Se concluye que los resultados obtenidos por medio de la modelación con programas de uso corriente se ajustan a los obtenidos por los autores del método semi-analítico.

Palabras clave: placas – frecuencias naturales – modelación – elementos finitos

ABSTRACT: A comparative study between the results obtained by the semi-analytical method by R.M. Lin and M.K. Lim on the natural frecuencies of vibration in plates and the modeling by the use of computer programs of finite elements. The frequencies of the first mode are compared to vibrating of a plate simply supported in their four edges with mass uniformly distributed by surface unit, with the introduction of modifications with respect to the associated masses to the same in pre-established points, like also the variations of stiffness and damping. It is concluded that the results obtained be means of the modeling whith programs of current use adjust to the obtained be the authors of the semi-analitical method.

Key Words: plates – natural frequencies – modeling – finite elements

1 INTRODUCCIÓN

En ingeniería es habitual el uso de placas vibratorias para la realización del análisis de las estructuras, como pueden ser las losas de puentes carreteros y peatonales, losas de entrepisos de edificios, placa metálicas para soporte de equipamiento, almas de perfiles de acero y otros tipos de estructuras. En el trabajo realizado por R. M. Lin y M. K. Lim [Ref. 1] se hace una propuesta de un método semi-analítico para el cálculo de las frecuencias de los modos de vibrar de una placa simplemente apoyada en sus cuatro bordes con masa uniformemente distribuida por unidad de superficie (masa propia) con la introducción de modificaciones respecto a las masas asociadas a la misma en puntos preestablecidos, como también la variación de rigidez y amortiguamiento, como se muestra en la Fig. 1.

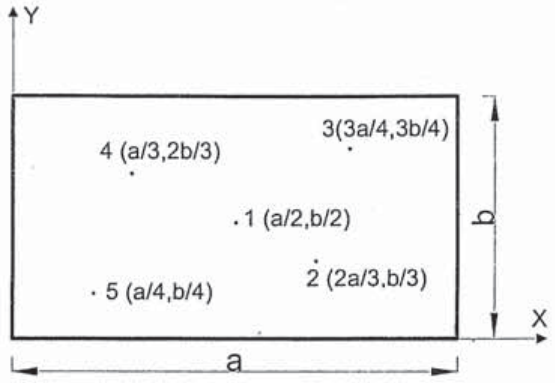


Figura 1. Placa en estudio.

Este método es muy ágil para su resolución con herramientas de cálculo sencillas. Debido a esto se propone comparar los resultados de este método con la modelación mediante elementos finitos y la utilización de programas computacionales de última generación.
En la primera parte de este trabajo se realiza el cálculo de las frecuencias de los doce primeros modos de vibrar de la placa sin modificaciones para comparar los resultados que se publican en el trabajo de Lin y Lim. En ésta no influye el nuevo método propuesto por los autores sino que se utiliza lo ya conocido en el análisis dinámico para el caso. Este cálculo se realiza en forma manual, utilizando como herramienta una planilla de cálculo, y mediante la modelación de la placa en los programas ABAQUS [Ref. 2] y SAP2000 [Ref. 3]. En esta etapa se trata de reproducir la gráfica de las formas modales que se muestran en la publicación.
En la segunda parte se modelan los cuatro casos propuestos por Lin y Lim utilizando el programa SAP2000 y se realizan las comparaciones pertinentes.

En todos los casos se usaron en la modelación de elementos finitos y en ambos programas, elementos tipo placa cuadrada de 4 nodos, de 0.01 metros por 0.01 metros.

Por último se plantean las conclusiones respecto de la metodología utilizada y de la comparación de los resultados obtenidos.

2 DESARROLLO DEL TRABAJO

2.1 *Primera Etapa*

Se calculan las frecuencias de los modos de vibrar de la placa con los datos indicados en la Tabla 1. Donde la Rigidez de la placa se calcula con la siguiente expresión:

$$D = \frac{E\ h^3}{12\left(1-\mu^2\right)} \qquad (1)$$

Donde:

E: Módulo de elasticidad longitudinal.
h: espesor de la placa.
μ: coeficiente de Poisson

Tabla 1. Datos de la Placa en estudio

Espesor h =	0,01	m
Densidad =	7800	kg/m^3
Coef. Poisson =	0,3	
E =	2,55E+11	N/m^2
Dimensiones de la placa		
a =	0,3	m
b =	0,4	m
Puntos característicos para estudio y modificaciones		
Punto	x_i	y_i
1	0,150	0,200
2	0,200	0,133
3	0,225	0,300
4	0,100	0,267
5	0,075	0,100
D =	23351,65	Rigidez placa

En la Tabla 2 se presenta un resumen de los 10 primeros valores de frecuencias, obtenidos mediante el cálculo manual, los presentados por Lin y Lim y los provenientes de la modelación por elementos finitos utilizando los programas ABAQUS y SAP2000.

Tabla 2. Frecuencias de la placa primitiva en Hertz

Modo Nº	Frec. Natural Calculada por planilla	Frec. Natural del Paper de Lin y Lim	Frec. Natural Calculada con ABAQUS	Frec. Natural Calculada con SAP2000
1	471,86	471,67	465,78	471,57
2	981,46	981,07	967,43	980,33
3	1377,82	1377,27	1364,60	1376,68
4	1830,80	1830,08	1806,90	1828,25
5	1887,42	1886,68	1850,60	1882,89
6	2736,76	2735,69	2669,40	2726,58
7	2887,75	2886,62	2857,90	2885,19
8	3019,87	3018,69	2979,30	3015,33
9	3397,36	3396,03	3328,10	3387,16
10	3925,84	3924,29	3819,60	3907,73

En la Fig. 2 se observa la modelación de la placa, el mallado de elementos y la forma del primer modo de vibrar en SAP2000.

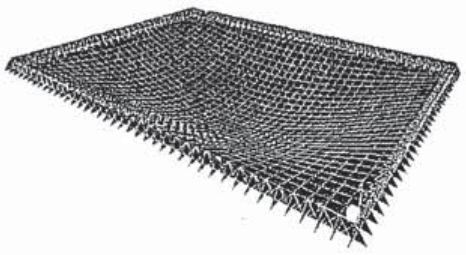


Figura 2. MEF en Sap2000

En la Fig. 3 y Fig. 4 se observa la modelación de la placa, el mallado de elementos y la forma del primer y segundo modo de vibrar en ABAQUS.

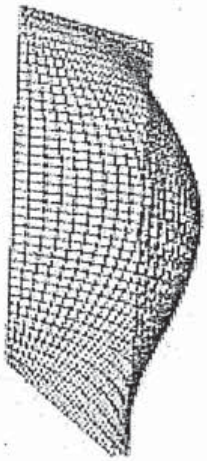


Figura 3. MEF en ABAQUS. Primer modo

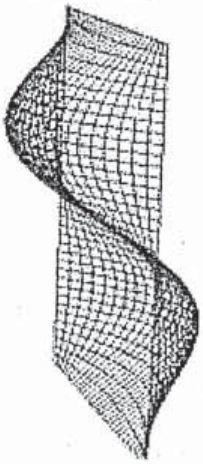


Figura 4. MEF en ABAQUS. Segundo modo

2.2 *Segunda Etapa*

Se calculan las frecuencias de los modos de vibrar de la placa, con la inclusión de modificaciones de masas, rigidez y amortiguamiento. En esta etapa se verifican los resultados obtenidos por Lin y Lim de acuerdo al método que proponen. Para ello se sigue el esquema utilizado en su trabajo, donde se desarrollan cuatro casos, los que, en este estudio se los ejecutan a continuación modelándolos con el programa SAP2000.

2.2.1 Caso 1: Modificación de masa

Se le adicionan las siguientes masas en los puntos indicados en la Fig. 1:
Matriz de masas adicionadas:

$$[M] = \begin{Vmatrix} 0,6 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,2 \end{Vmatrix}$$

En la Tabla 3 se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 3. Frecuencias naturales Caso 1 en Hertz

Modo N°	Frecuencia Natural según Lin y Lim.	Frecuencia Natural Calculada con SAP2000
1	382,4886	382,5555
2	849,7388	848,8964
3	1180,4364	1179,2453
4	1500,0967	1497,0060
5	1619,9516	1615,5089
6	2253,8860	2544,5293
7	2594,0735	2583,9793

Como se puede observar en la tabla, los resultados de los siete primeros modos de vibrar calculados con SAP2000 son prácticamente iguales. Se aclara que el mallado de la placa en el modelo de cálculo es de 1x1.

2.2.2 Caso 2: Modificación de masa y rigidez

Se le adicionan las siguientes masas en los puntos indicados en la Fig. 1 y se modifica la rigidez de la placa en los puntos mencionados según las siguientes matrices:

Matriz de masas adicionadas:

$$[M] = \begin{Vmatrix} 0,6 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,2 \end{Vmatrix}$$

Matriz de rigidez para modificación:

$$[K] = \begin{Vmatrix} 1,5E+07 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1,5E+07 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2E+07 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2E+07 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2E+07 \end{Vmatrix}$$

Como se puede observar en la Tabla 4, los resultados de los siete primeros modos de vibrar calculados con SAP2000 son prácticamente iguales a los obtenidos por Lin y Lim.

Tabla 4. Frecuencias naturales Caso 2 en Hertz

Frecuencia Natural según Lin y Lim.	Frecuencia Natural Calculada con SAP2000
679,2250	678,8866
1024,2147	1023,5415
1323,7812	1322,7513
1637,9228	1636,6612
1713,0620	1709,4017
2581,6210	2577,3196
2626,1668	2617,8010

2.2.3 Caso 3: Modificación de masa, rigidez y amortiguamiento

Se le adicionan las siguientes masas en los puntos indicados en la Fig. 1 y se modifica la rigidez y el amortiguameinto de la placa en los puntos mencionados según las siguientes matrices:
Matriz de masas adicionadas:

$$[M] = \begin{Vmatrix} 0,6 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,2 \end{Vmatrix}$$

Matriz de rigidez para modificación:

$$[K] = \begin{Vmatrix} 1,5E+07 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1,5E+07 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2E+07 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2E+07 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2E+07 \end{Vmatrix}$$

Matriz de amortiguamiento para modificación:

$$[C]=\begin{Vmatrix} 1{,}2E+3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1{,}2E+3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1{,}6E+3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1{,}6E+3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1{,}6E+3 \end{Vmatrix}$$

Se presentan en la Tabla 5 los resultados de las frecuencias naturales asociadas a los siete primeros modos de vibrar calculados con SAP2000 y por Lin y Lim.

Tabla 5. Frecuencias naturales Caso 3 en Hertz

Frecuencia Natural según Lin y Lim.	Frecuencia Natural Calculada con SAP2000
679,0250	681,6633
1024,2147	1030,9278
1322,8701	1347,7089
1636,9742	1703,5775
1714,2371	1766,7845
2580,8362	2645,5026
2628,2486	2717,3913

Como se puede observar en la Tabla 5, los resultados de los tres primeros modos de vibrar calculados con SAP2000 son prácticamente iguales con respecto al método semi-analítico propuesto por Lin y Lim, en cambio se comienza a notar diferencias a partir del cuarto modo. Puede ser que en la modelación comienza a influir en mayor medida el amortiguamiento ya que no se ha variado en solo un punto sino en las regiones de la malla que son adyacentes a los puntos que se indican en la Fig. 1. Los autores del trabajo, con su método propuesto, modifican solo la región del punto. Sin embargo el factor de participación de superposición modal de los modos altos es muy bajo, por lo que influye poco en la misma, que es lo que utilizamos en el cálculo de estructuras.

2.2.4 Caso 4: Modificación de masa, rigidez en coordenadas traslacionales y rotacionales

Se le adicionan las siguientes masas en los puntos 2 y 3 indicados en la Fig. 1 y se modifica la rigidez de la placa en los puntos mencionados según las siguientes matrices:

Matriz de masas adicionadas:

$$[M]=\begin{Vmatrix} 0{,}25 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1E-3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1E-3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0{,}25 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1E-3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1E-3 \end{Vmatrix}$$

Matriz de rigidez para modificación:

$$[K]=\begin{Vmatrix} 1{,}5E+7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 3E+3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 3E+3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1{,}5E+7 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 3E+3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3E+3 \end{Vmatrix}$$

Se presentan en la Tabla 6 los resultados de las frecuencias naturales asociadas a los siete primeros modos de vibrar calculados con SAP2000 y por Lin y Lim.

Tabla 6. Frecuencias naturales Caso 4 en Hertz

Frecuencia Natural según Lin y Lim.	Frecuencia Natural Calculada con SAP2000
624,4625	674,3088
996,7627	1014,1988
1369,6289	1315,7895
1756,7871	1481,4815
1779,9940	1706,4846
2735,7202	1976,2846
2771,5210	1984,1270

Como se puede observar en la Tabla 6, los resultados de los modos de vibrar calculados con SAP2000 se diferencian en alguna medida con los obtenidos por Lin y Lim, en especial los modos altos. Esta diferencia se la puede atribuir a la forma de asignación de las propiedades que se utilizan en la modelación como se describió para el caso 3.

3 CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en la modelación de elementos finitos utilizando los programas mencionados se ajustan a los obtenidos en el trabajo de Lin y Lim [Ref. 1].
Las pequeñas diferencias observadas entre un método y otro se deben a la influencia de la forma y tamaño de la malla utilizada en la modelación por elementos finitos. Para tender a la solución exacta se debería utilizar un mallado más denso, por lo menos en las zonas en donde se modifican las características de masa, rigidez o amortiguamiento de la placa.

REFERENCIAS

[1] R. M. Lin y M. K. Lim, "Natural frequencies of plates with arbitrary concentrated mass and stiffnes modifications", Computers & Structures, Vol. 57, No 4, pp. 721-729, 1995.
[2] ABAQUS/CAE, User`s Manual, 2003.
[3] SAP2000, Computers & Structures, 2007.

Estimación del riesgo hidrológico por derrame superficial de hidrocarburos: un caso de estudio en Malargüe

V.H. Burgos
vhburgos@yahoo.com.ar
Depto. Ing. Civil, Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional

RESUMEN: La presente contribución propone un método expeditivo para determinar el riesgo hidrológico ante un derrame superficial de hidrocarburos. Se describe el modelo conceptual usado y la metodología de aplicación. Se consideran dos escenarios, el primero con una tormenta de recurrencia 2 años que acelere el proceso de tránsito y el segundo sin tormenta. El análisis se basa en estudios realizados sobre situaciones reales en yacimientos ubicados al sur de la Provincia de Mendoza, en el departamento de Malargüe. El resultado se muestra mediante un mapa de isocronas que representa el tiempo de traslado y avance de la contaminación, permitiendo la planificación de la contingencia. El mapa de riesgo hidrológico y la metodología desarrollada para confeccionarlo, es una contribución al conocimiento de los incidentes y pasivos ambientales, su prevención y la protección y cuidado del medio ambiente.

Palabras clave: riesgo hidrológico – isocrona – SIG

ABSTRACT: The present study propose an expedited technique to determinate the hydrological risk of overland oil spill. Conceptual model and methodology used are described. Two situations are care about, a state with 2 year storm which accelerate the travel time and a second scenario without the storm. The analysis is based on real studies located in Malargüe at south of Mendoza, Argentine. The results are shown through an isochrones map representing travel time and advance of pollutant. These maps allow the management plan. The hydrological risk map and the methodology developed is a contribution to knowledge of incident and environment passives, his prevention and environment care.

Key Words: hydrological risk – isochrones – GIS

1 INTRODUCCION

1.1 *Contexto del problema*

En la actividad petrolera, las disposiciones y el manejo habitual de hidrocarburos (HC), en algunos casos conlleva a la contaminación del medio ambiente, cuando tanques, cañerías de transporte, piletas o pozos sufren pérdidas o accidentes.
Dentro de los daños naturales, el caso más común son los derrames producidos por roturas de cañerías debidas a colapsos originados por crecidas aluvionales. Ref. [1]
Los líquidos así derramados migran hacia el subsuelo (zona vadosa), hacia al agua subterránea (zona saturada, acuífero) y superficialmente hacia un bajo topográfico o curso de agua, logrando en consecuencia grandes áreas contaminadas, importantes pérdidas económicas, fuerte desprestigio de la actividad en general y de la empresa en particular, etc.
Desde el año 2004 a comienzos del 2008, se han registrado 1903 comunicados de incidentes de la actividad petrolera, según el Registro de la Situación Ambiental Petrolera. Ref. [2]
Para evitar o minimizar los daños ambientales y contener cualquier posible derrame de petróleo de manera efectiva y eficiente, se requiere de un Plan de Contingencia adecuado, y éste a su vez de una herramienta que permita predecir el área afectada por un derrame y evaluar el efecto de éste sobre el ambiente.
En el desarrollo de mapas de sensibilidad ante derrames de hidrocarburos, el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) combinados con modelos hidro-fisicoquímicos, se encuentra en rápida evolución, aunque todavía no está desarrollado el derrame de petróleo en tierra *(on-shore)* como lo está el *off-shore* para situaciones lacustres o marítimas. Ref. [3]
El comportamiento de un derrame de petróleo y su efecto sobre el ambiente es un proceso de alta complejidad dada la heterogeneidad espacial y temporal de los factores que interactúan. Depende principalmente de la topografía del terreno, de la evaporación, la permeabilidad del suelo, la vegetación y de las propiedades físico-químicas del petróleo como la densidad, viscosidad, etc.
Por lo tanto, para modelar de manera acertada el comportamiento del petróleo derramado y su efecto sobre el ambiente se requiere manejar e integrar un gran volumen de información de diferentes disciplinas entre los que destacan: geomorfología, suelos, vegetación, topografía, clima, hidrología, actividad humana, uso de la tierra, características del petróleo y de las instalaciones petroleras entre otras. Ref. [4]

1.2 *Legislación vigente*

La ley provincial de medio ambiente 5961 y Decretos 437/93 y 691/93; regulan el sector petrolero. Por su importancia para el desarrollo y la protección del ambiente se ha emitido recientemente la Resolución 170/08; una nueva normativa respecto de la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) en el sector.
La EIA requiere un Estudio de Contingencia Hidrometeorológica con alto contenido hidrológico que permita al concesionario realizar un Plan de Contingencias ante eventos de derrame, por medio de mapas de riesgo hídrico.

1.3 *Análisis del problema-oportunidad*

Una forma de encarar el problema, sería confeccionando un modelo matemático específico que determine en forma conjunta el movimiento del contaminante en los tres medios; (subsuelo, agua subterránea y superficie) sistema complejo, que determine el área afectada y los tiempos de tránsito desde el lugar de la pérdida o derrame hasta un lugar determinado. Otra forma de establecer el riesgo ante derrames, es mediante una simplificación del sistema considerando como área de análisis la cuenca hidrográfica haciendo un análisis temporal del avance de la contaminación.
Esta última solución sería la más adecuada en este caso, debido a que proporcionaría una visión general del problema, obteniendo directamente los tiempos en que el derrame saldría de la cuenca de análisis o visto desde otro enfoque, sería el tiempo máximo de que se dispone para interceptar la contaminación y que no llegue al curso de agua permanente.
Fundamentado en el anterior razonamiento, el enfoque principal fue generar una metodología en el contexto de los Sistemas de Información Geográfica, que permitiera simular la distribución temporal de un derrame de petróleo en tierra.
De esta forma la representación gráfica del riesgo de contaminación quedaría conformada por el mapa de isocronas de cada cuenca que sería utilizado como dato para el análisis del riesgo y así cumplimentar con la normativa respecto de la sensibilidad ambiental.

Las isocronas, son líneas imaginarias que cubren los sitios de la cuenca en los que el fluido tendría un mismo tiempo de viaje hasta la salida.

1.4 *Revisión de modelos (Marco de referencia)*

El mercado ofrece varios sistemas comerciales y desarrollos matemáticos que permiten calcular los parámetros previamente descritos. Ref.[5] Desafortunadamente tales sistemas sólo pueden aplicarse para simular derrames en agua. Es importante resaltar que el comportamiento de un derrame de petróleo en agua y su efecto en el ambiente es completamente diferente al de un derrame en tierra. Por consiguiente para predecir el comportamiento de un derrame en tierra y su impacto sobre el ambiente, se requiere el desarrollo de un sistema específico para tal fin. Ref.[6]
El derrame de HC puede ser tenido en cuenta como derrame temporal o volumétrico. El volumétrico no es requerido en la modelación general pero es imperativo en la determinación de la verdadera extensión de la pluma de contaminación superficial. En cambio el derrame temporal, permite a los operadores incluir el tiempo requerido para cerrar válvulas de seguridad o conocer el tiempo de respuesta ante emergencia. Ref.[7]
Hay varios regímenes de flujo superficial que deben ser tenidos en cuenta dentro de un modelo de flujo: flujo en ladera, en cauce y en zona plana.
Cada tipo de flujo depende fuertemente de la topografía y un derrame de HC puede atravesar todos estos tipos de topografía. Ref[8]
Por lo tanto la topografía juega el principal papel en la distribución horizontal y acumulación del petróleo sobre la superficie, quedando la densidad y viscosidad del HC con efecto en la velocidad de desplazamiento vertical y la infiltración, siendo despreciable su efecto sobre la cantidad retenida en el suelo y el tamaño total del área afectada. Ref.[9].
Autores como Ref.[10] argumentan que, dada la escasa variabilidad espacial de la velocidad de flujo sobre la superficie de la cuenca, se puede considerar la velocidad uniforme en toda la cuenca hidrográfica, en función de la pendiente, del área y un parámetro que representaría las demás variables (rugosidad, radio hidráulico, etc). En la Ref. [10] expresan a la velocidad en función de la pendiente (S) y el área (A) de la siguiente forma:

$$v = \beta \cdot A^{n} S^{1/2} \qquad (1)$$

Donde, β es una variable que depende de la distancia de flujo, el área drenada y la pendiente, y n una constante de ajuste que oscila entre 0.15 y 0.35.
Otros autores como Ref.[11] introducen la diferenciación entre el flujo en ladera (o flujo difuso) y el flujo en el cauce (o canales concentrados). Sin embargo, los mismos autores, argumentan la ausencia de una base teórica consistente para estimar la distribución espacial de la velocidad, con lo que trabajan con valores medios de la velocidad de flujo en cada instante.

1.5 *Objetivos y resultados esperados*

El objetivo del presente estudio fue desarrollar y aplicar un modelo expeditivo en cuanto a la generación de mapas de riesgo hidrológico en yacimientos petroleros de Mendoza.
Asimismo, se pretende crear la motivación necesaria para profundizar en el conocimiento de este tipo de metodologías, y estimular su utilización al evaluar aspectos de la seguridad en operaciones petroleras e instalaciones industriales.

2 MATERIALES Y METODOS

2.1 *Modelo conceptual*

Un modelo hidrológico es una representación simplificada del sistema real cuyo objetivo es estudiar la operación del sistema y predecir su salida. Su estructura es un conjunto de ecuaciones que conectan las entradas con las salidas, las cuales pueden expresarse como función del tiempo.
El modelo conceptual desarrollado, parte de la consideración de dos elementos básicos: el medio físico y la dinámica hidrológica, más un componente interfacial determinado por la vegetación que cumple un rol esencial, aún tratándose de un escenario ambiental con una pobre cobertura y diversidad.
El medio físico aporta las características fisiográficas, más importante: los niveles aterrazados o planos y conos aluvionales, pendientes, distancias de flujo, morfometrías de cañadones y cauces secos o torrenciales.
La ubicación de la fuente, es la representación de un derrame y puede tomar la forma de un punto o línea. Los focos puntuales representan casos de derrames de pozos, tanques o baterías. En cambio las fuentes lineales representan tuberías o cañerías con derrame.

En la dinámica hidrológica se considerará dos escenarios de modelación, el primero será aquel en que exista sólo un derrame de petróleo y el segundo en el que se acople al derrame una tormenta de lluvia (de 2 años de recurrencia), incrementando obviamente los riesgos al disminuir los tiempos de tránsito (situación más crítica pero menos probable).
Se presenta entonces un aspecto importante a resolver, que sería la determinación de la velocidad del fluido viscoso en situación con y sin lluvia.
El cálculo de la velocidad de propagación del flujo estará dividido en tres bloques según que el área drenada esté por encima, debajo o dentro de ciertos umbrales expresados en número de celdas. Ref.[12]

$$si[area_drenada] > 400 \rightarrow v = 1.5\left(\frac{area_drenada}{400}\right)^{0.07} \quad (2)$$

$$si.400 > [area_drenada] > 40 \rightarrow v = 1.5m/s \quad (3)$$

$$si[area_drenada] < 40 \rightarrow v = 0.5m/s \quad (4)$$

La primera ecuación expresa que si el área drenada supera un umbral de 400 celdas (100 Ha) la velocidad estará en función del área drenada con un mínimo de 1,5m/s. La siguiente ecuación expresa la velocidad en cauce (v=1.5m/s) cuando el área se encuentra entre el mínimo y el máximo umbral. Por último se define la velocidad en ladera cuando el área drenada no supere las 40 celdas (10Ha) igual a 0.5m/s.
En el caso del escenario de contaminación por derrame sin lluvia, los parámetros establecidos fueron:

$$si[area_drenada] > 40 \rightarrow v = 0.05\left(\frac{area_drenada}{40}\right)^{0.03} \quad (5)$$

$$si.40 > [area_drenada] > 8 \rightarrow v = 0.05m/s \quad (6)$$

$$si[area_drenada] < 8 \rightarrow v = 0.01m/s \quad (7)$$

La resistencia superficial al flujo es tenida en cuenta en las ecuaciones que gobiernan la velocidad de flujo. El parámetro exponencial envuelve el tipo de vegetación existente y la rugosidad del terreno.
El estudio utilizó para su desarrollo sistemas de información geográfica, (ArcView y Woditem Hygrid 2K2), cartografía general y de detalle (mapas de vegetación, geomorfología, geología, infraestructuras de comunicación, etc.) y un modelo hidrológico conocido y difundido como lo es el HEC HMS con su interfase GeoHMS para SIG.

2.2 *Hipótesis de partida*

Se han considerado las siguientes hipótesis de simplificación:

- La velocidad de escurrimiento superficial del fluido es función del área de aporte y de la pendiente del terreno e independiente de la recurrencia asociada a la tormenta generadora del escurrimiento.
- El derrame es temporal, pero con el volumen necesario como para salir de la cuenca (situación más crítica)
- El límite modelado del derrame es el cuerpo hídrico superficial receptor (en este caso el Río Grande)
- Las recurrencias para los escenarios hidrológicos son de 2 años de retorno, debido a que se quiere establecer una probabilidad de ocurrencia media.
- El tránsito del agua por la zona no saturada no será tenido en cuenta, si bien es importante, el objetivo del modelo será la estimación de tiempos de tránsito superficial.

2.3 *Área de estudio*

Se presenta un caso aplicado en un yacimiento de la cuenca Neuquina, localizado en el departamento de Malargüe al sur de la Provincia de Mendoza.

2.4 *Modelo Digital de Elevaciones*

En la cartografía convencional la descripción de las elevaciones a través del mapa topográfico constituye la infraestructura básica del resto de los mapas. El modelo digital de elevaciones (MDE), describe la altimetría de una zona mediante un conjunto de cotas. Es posible construir un conjunto de modelos derivados, elaborados a partir de la información contenida explícita o implícitamente en el MDE.
Los modelos derivados más sencillos reflejan características morfológicas simples (pendiente, orientación, etc.). Incorporando información auxiliar es posible elaborar otros modelos más complejos, utilizando conjuntamente la descripción morfológica del terreno y simulaciones numéricas de procesos físicos. Ref. [13]
El MDE es el principal dato de entrada para cualquier modelo de escorrentía superficial, debido a que gobierna el potencial de energía disponible para que escurra el fluido controlando su dirección de flujo.
La corrección y mejoramiento del MDE es esencial para establecer una red de drenaje lo más cercana a la realidad posible.
Hoy en día existen cada vez más fuentes de información global donde encontrar de manera

gratuita modelos digitales de elevación, imágenes satelitales, cartografía, etc. Ahora el problema pasa por validarlo y/o mejorarlo, con puntos de control, relevamientos topográficos tradicionales, análisis de residuos, etc.

La captura de la información hipsométrica constituye el paso inicial en el proceso de construcción del MDE. Se trata de una fase de gran trascendencia porque la calidad de los datos es el principal factor limitante para los tratamientos que se realicen posteriormente.

En el caso de estudio, los MDE se elaboraron a partir de los datos de la misión SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) que la NASA lanzó en febrero del 2000. El objetivo de la misión SRTM fue la de generar un modelo global de elevaciones por medio de interferometría radar, con una resolución de 90 m por píxel.

Una vez obtenido el MDE, validado y/o mejorado, se integró al SIG junto con las otras capas temáticas.

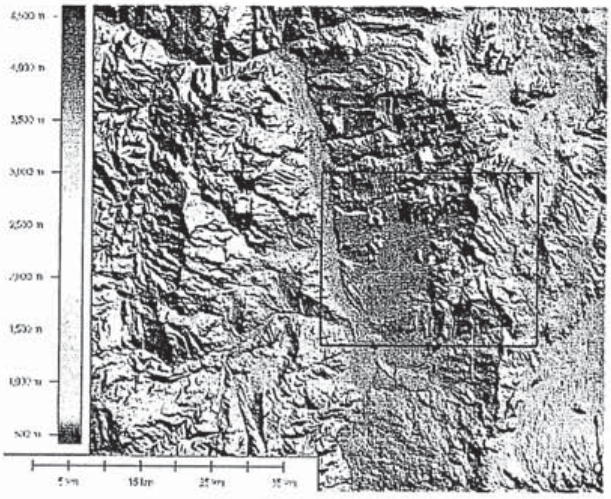


Figura 1. Modelo Digital de Elevaciones

2.5 *Factores físicos*

2.5.1 Clima

La zona de estudio posee un clima frío y árido (Árido mesotermal), con precipitaciones invernales del orden de los 250 mm anuales.

2.5.2 Geomorfología

En las partes altas de las cuencas se presentan planicies estructurales lávicas con mesetas residuales de la Altiplanicie del Payún, con basaltos terciarios, mesetas neopleistocenas y conos piroclásticos con escoriales y aluvios.

En las zonas centrales de las cuencas se presentan planicies y depresiones con bajadas; y en zonas bajas se observa el valle fluvial del río Grande, con depósitos glacifluviales y aluvio actual.

2.5.3 Suelos

Se observan en su mayoría suelos del tipo aridisoles. En la parte superior y central de las cuencas se encuentran aridisoles de tipo torrifluventes y torriortentes, y en la parte baja fluvacuentes.

2.5.4 Vegetación

La cobertura vegetal es del orden del 30% al 40%. En toda la zona se observa vegetación de la Región Volcánica de la Payunia, travesía de Chachahuén con estepas arbustivas de *Larrea* con *Grindelia chiloensis*, *Retamilla patagónica*, etc.

2.5.5 Clasificación hidrológica de suelos

De acuerdo al análisis de los mapas geomorfológico y tipo de suelo Ref. [14 a 16], se clasificó al suelo hidrológicamente. Siguiendo la metodología propuesta en Ref [17]. se generó un modelo cartográfico de distribución espacial del Número de Curva (CN), para aplicar la metodología del Natural Resources Conservation Service (NRCS) Ref.[18] y determinar la precipitación efectiva que escurre superficialmente.

2.6 *Modelo Hidrológico*

La determinación de las divisorias de cuencas, se realizó en forma automática mediante SIG ArcView con la interfase HEC GeoHMS Refs.[19-20]

2.6.1 Mapa de dirección y acumulación de flujo

La orientación de una celda puede definirse como el ángulo existente entre el vector que señala el Norte y la proyección sobre el plano horizontal del vector normal a la superficie en ese punto. Como en el caso de la pendiente, el valor de orientación se estima directamente a partir del MDE.

El mapa de dirección de flujo así generado indica la inclinación que posee cada celda de análisis respecto del norte. Las orientaciones están categorizadas en 8 clases (E, NE, N, NW, W, SW, S, SE) codificadas con números del 1 al 8 respectivamente.

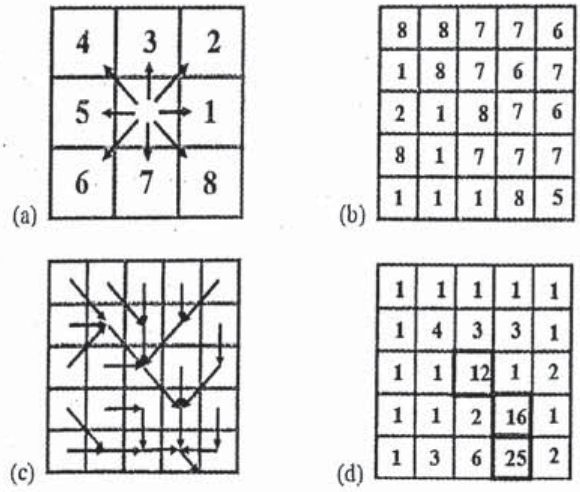


Figura 2. (a): Codificación de direcciones, (b): Codificación de orientaciones en una grilla de 5x5; (c) Red de flujo; (d) Grilla de acumulación de flujo

2.6.2 Mapa de distancias de flujo

Este mapa se obtuvo siguiendo la red de flujo establecida en el mapa de acumulación de flujo y sumando las distancias recorridas hasta el cierre de cuenca.

3 RESULTADOS

3.1 *Cuencas Hidrográficas*

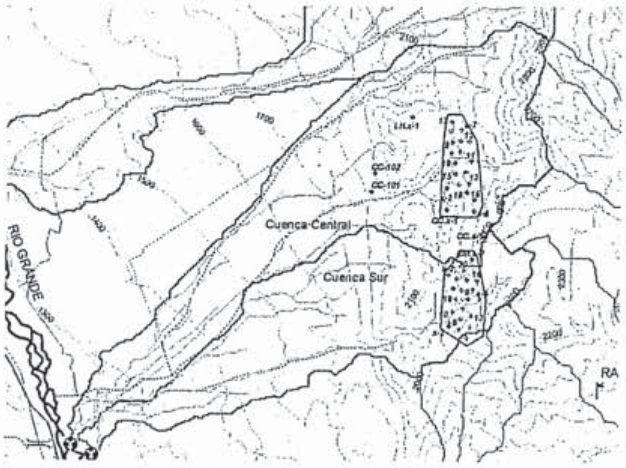


Figura 1. Cuencas aluvionales Central y Sur

Tabla 1. Parámetros morfométricos de Cuencas

Sub-cuenca	Área [Km^2]	Curso más largo [Km]	Cota máx. [msnm]	Cota min [msnm]	S [m/m]
Norte	58.2	24.5	3011	1284	0.070
Central	74.6	25.3	2816	1257	0.062
Sur	46.9	19.7	2409	1255	0.058

3.2 *Riesgo Hidrológico*

El mapa de Riesgo Hidrológico será representado través del mapa de isocronas. La confección del mapa de isocronas se obtuvo mediante la aplicación dos SIG: Woditem (Udine) y ArcView 3.2a (ESRI), los cuales procesan el modelo digital de elevaciones determinando:

a) Mapa de velocidades: Establecido mediante las ecuaciones (2) a (7) con los umbrales establecidos para cada escenario.
b) Mapa de Isocronas: Mediante el análisis y álgebra de mapas entre los anteriores.

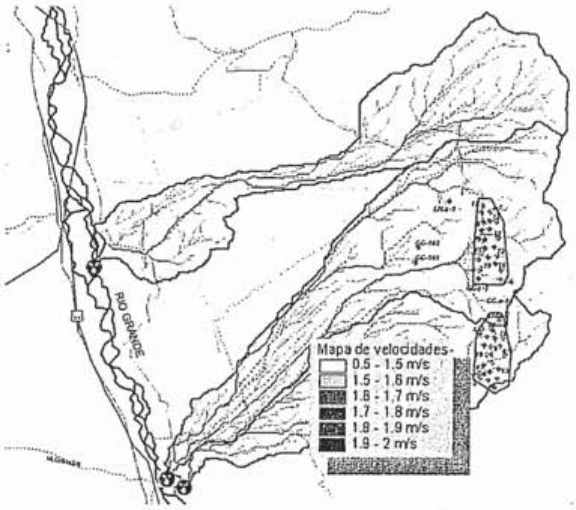


Figura 3. Mapa de isovelocidades de flujo (Esc. I: Derrame con tormenta)

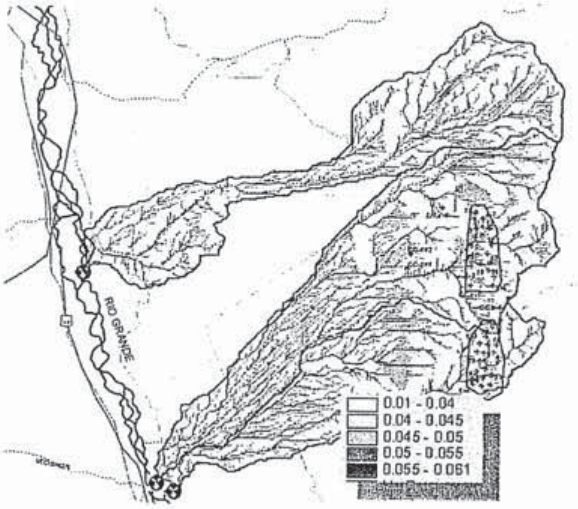


Figura 4. Mapa de isovelocidades de flujo (Esc. II: Derrame de petróleo sin tormenta)

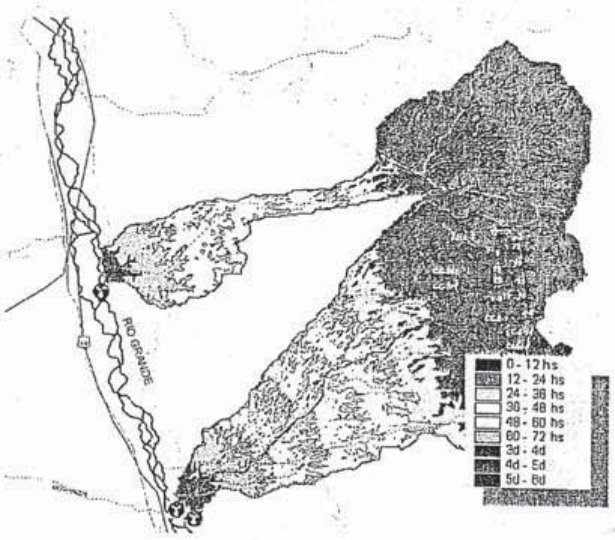


Figura 6: Mapa de isocronas para cuencas Norte, Central y Sur (Esc.II: Derrame de petróleo sin tormenta)

3.3 *Mapas de Riesgo*

Se muestra en las figuras siguientes parte de los planos o mapas de isocronas generados para ambos escenarios. Se observan las tres cuencas de análisis y sus descargas al Río Grande. Cada banda de color representa una coropleta, es decir el tiempo de viaje desde ese punto hacia la descarga. Además se incluyen los pozos petroleros involucrados, las instalaciones y cañerías no soterradas.

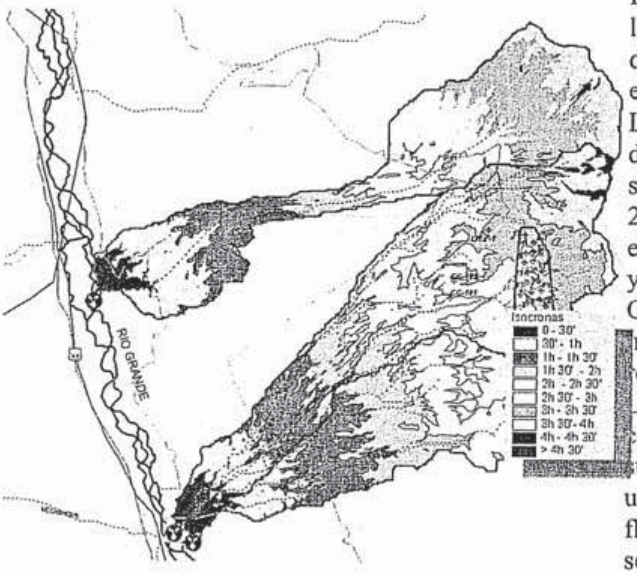


Figura 5: Mapa de isocronas para cuencas Norte, Central y Sur (Esc. I: Derrame con tormenta)

4 CONCLUSIONES

La presente contribución, propone un método práctico para representar el riesgo hidrológico de un derrame superficial de hidrocarburo, a través de un mapa de isocronas, que indique el avance temporal de la contaminación hasta un curso de agua permanente.

El mapa de riesgo hidrológico así generado, habilita la planificación de contingencias. Además, permitirá derivar elementos de juicio para diseños estructurales de obras de defensa hidráulica.

Los resultados indican que los tiempos de viaje desde los pozos hacia la salida de la cuenca, para la situación de derrame con tormenta oscilan entre las 2.3 hrs y las 3.3hr aproximadamente, mientras que en el escenario sin tormenta, oscilan entre los 3 días y los 4.5 días.

Como tareas futuras se pretende involucrar en el modelo más parámetros físicos, de forma de representar mejor el fenómeno bajo estudio.

Un modelo completo de derrame debería ser la conjunción entre un modelo de transporte subterráneo, un modelo de transporte superficial, y uno atmosférico que contemple la evaporación del fluido. De todas formas el modelo presentado puede ser utilizado para asistir en los procesos de planificación de tiempos de respuesta ante una emergencia y en la elección de puntos de control.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece la colaboración del Lic. Adrián Vargas Aranibar por su constante apoyo y motivación.

REFERENCIAS

[1] C. Debandi & M. Zurbriggen, Riesgo aluvional en áreas petroleras, Congreso PyG, 2001.

[2] Dirección de Saneamiento y Control Ambiental del Ministerio de Ambiente y Obras Públicas, Informe Anual 2008

[3] M. Cokland-Vendl & G. Gin, Pipeline Spill Fate and Transport Analysis, Petroleum Users Group, ESRI Conference, 2007

[4] D. Mackay, Oil spill modelling: problems and purposes. In proceeding of a Oil Spill Modelling, Workshop Canada. pp. 1 – 4, 1978.

[5] S. Simmons & J. Keller, Status of Models for Land Surface Spills of Nonaqueous Liquids, U.S. Department of Energy, 2003

[6] A. Denby J. Humber, Overland flow: comparison of modeling methods, Geospatial information technology association, 2004

[7] J. Catalini, Mapa de saneamiento ambiental: registro y análisis geográfico de incidentes ambientales en el yacimiento Sierra Barrosa - Aguada Toledo en a Provincia del Neuquén - Argentina. Congreso PyG, 2004.

[8] J. Myles & P.Wotherspoon, Evaluación y administración de riesgos de derrames de hidrocarburos, Guía Arpel,1998

[9] P. Tchilinguirian et al , Método de evaluación y mitigación del riesgo de erosión aplicado a poliductos en ecosistemas del monte patagónico, 2005

[10] L. Leopold, Downstream change of velocity in rivers, American Journal of Science, 251, págs. 606-24, 1953.

[11] L. Garrote. ; R. Bras, A distributed model for real-time flood forecasting using digital elevation models, Journal of hydrology , vol. 167, no1-4, pp. 279-306, 1995

[12] F. Cazorzi, Hygrid 2K2 Hidrological Model, Udine, 2002

[13] A. Felicisimo, La utilización de los MDT en los estudios del medio fisico,1999

[14] M. Ragaraiz, Clasificación Taxonómica de Suelos – Mendoza, INTA 1996)

[15] R. Candía & G. Ibañez, Mapa de Cobertura Vegetal Inventario de Recursos de la Región Andina Argentina – Sistema Físico Ambiental Cuyo – Pcia. de Mendoza . 1996

[16] F. Roig, et al, Mapa de Vegetación de la Pcia. de Mendoza, IADIZA, 1996

[17] V. Burgos, Modelación Hidrológica de Cuencas Piedemontanas. Uso de Sistemas de Información Geográfica en Hidrología Superficial, XX CONAGUA, 2005

[18] J. Van Mullen, D. Woodward, R. Hawkins & A. Hjelmfelt, Runoff Curve Method: Beyond the Handbook, USDA, ARS, NRCS,2001

[19] ESRI, ArcView 3.2 User Manual , 2001

[20] Hydrologic Engineering Center, Geospatial Hydrologic Modeling Extension, User's Manual US Army Corps of Engineers, 2000

Aplicación del modelo Bayesiano en el estudio de dosificación de mezclas cementicias para hormigones de alta performance

R.M. Césari
ricardo.cesari@speedy.com.ar
Departamento Electrónica, Facultad Regional Mendoza, UTN

N.G. Maldonado
ngm@frm.utn.edu.ar
Departamento Ingeniería Civil y Ceredetec, Facultad Regional Mendoza, UTN

RESUMEN: El trabajo presenta los resultados de aplicar el método gráfico Bayesiano a un conjunto de mezclas cementicias para dosificación de hormigones de elevada resistencia y seleccionar las variables más influyentes, su discretización y generar un modelo formal probabilístico de la base de datos de dosificaciones evaluadas.

Palabras clave: modelo – probabilístico – Bayesiano – dosificación – hormigón

ABSTRACT: The work presents the results of applying the Bayesiano graphic method to a cementitions mixtures set used in proportioning concretes of high resistance and selecting the most influential variables, your discretization and to generaeting a formal probabilistic model to the data base of evaluated proportions.

Key Words: model – probabilistic – Bayesiano – proportions – concrete

1 INTRODUCCION

La estimación del comportamiento futuro de algunas variables puede realizarse utilizando diversas técnicas de pronóstico. Cada una de las técnicas de proyección tiene una aplicación de carácter especial que hace de su selección un problema de decisión influido por la validez y disponibilidad de los datos, la precisión deseada del pronóstico, el costo del procedimiento, los beneficios del resultado y el tiempo disponible para hacer el estudio, entre otros.
El hecho de que las redes Bayesianas constituyan una combinación de técnicas estadísticas y modelos gráficos, les provee una serie de importantes ventajas:

- Guardan información sobre las dependencias e independencias existentes entre las variables, permitiendo manejar situaciones donde exista "incertidumbre".
- La presentación gráfica facilita la interpretación y obtención de conclusiones sobre el dominio en estudio.
- Combinan relaciones causales con lógica probabilística y permiten integrar el conocimiento experto humano, con relaciones de causalidad.
- Permiten definir modelos y utilizarlos tanto para realizar razonamiento de diagnóstico (obtener causas probables dado conjunto de síntomas), como hacer razonamiento predictivo (obtener probabilidades de presencia de un cierto síntoma suponiendo la existencia de una causa conocida)

En esta aplicación, la dosificación de mezclas cementicias para ser utilizadas en la fabricación de hormigón de alta resistencia y perfomance, es analizada y descripta mediante una red bayesiana que permite ejecutar simulaciones efectuando hipótesis sobre cualquiera de los datos e incluso, considerando ignorancia en algunos de los parámetros de entrada. [Ref.1]

2 METODOLOGÍA

El modelo Bayesiano se construye en base a las relaciones causales entre las variables involucradas cuantificadas por la distribución de las probabilidades, estimadas junto con el experto.
En esta tarea se puede usar el protocolo SRI, propuesto por el Grupo de Análisis de Decisiones de SR Internacional de la Universidad de Stanford, a comienzos de 1970. Se trata de un procedimiento formal para la codificación de las probabilidades a partir de entrevistas estructuradas [Ref.2].
Las recomendaciones de este protocolo, junto con sus extensiones, han demostrado a lo largo del tiempo su eficacia en la extracción de conocimiento a partir de juicios subjetivos.
La codificación de las probabilidades es una actividad algo dificultosa cuando el problema tratado es estructuralmente continuo y complejo, con un alto grado de asimetrías y un gran número de dependencias entre las variables consideradas. En Fig. 1 se presenta el procedimiento general de la formulación del modelo:

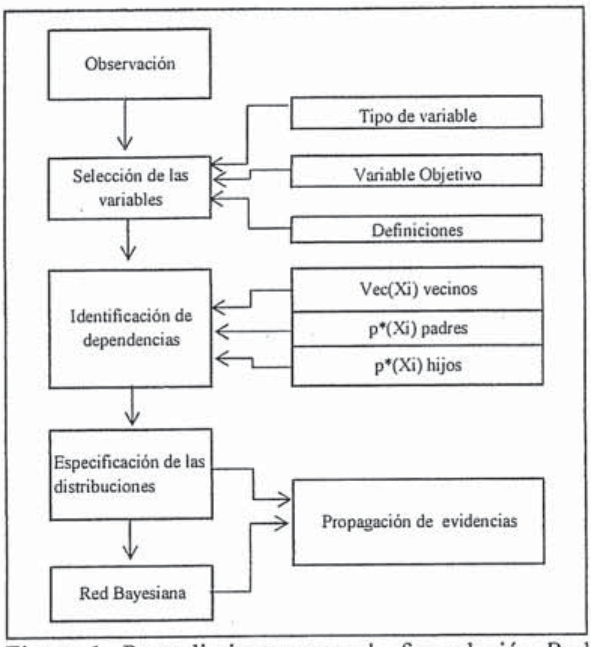


Figura 1. Procedimiento general formulación Red Bayesiana

En nuestro caso, se propone la discretización de las variables continuas que definen el sistema, para trabajar con intervalos de valores y manejar relaciones no lineales entre ellas. Una vez creado el grafo de las causas–efectos y agregadas las distribuciones de probabilidades a cada nodo, se realiza una simulación para comprobar el efecto producido.
Las redes Bayesianas o probabilísticas se fundamentan en la teoría de la probabilidad y combinan la potencia del teorema de Bayes con la expresividad semántica de los grafos dirigidos.
Se puede interpretar a una red bayesiana de dos formas:
1. Distribución de probabilidad, que representa la distribución de la probabilidad conjunta de las variables representadas en la red.
2. Base de reglas, donde cada arco representa un conjunto de reglas que asocian a las variables

involucradas y que están cuantificadas por las probabilidades respectivas.
Si los enlaces de la Red concuerdan con una estructura "causa - efecto", se dan dos tipos de aprendizajes esquematizados en las Fig. 2 y 3.

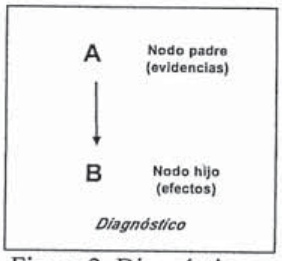


Figura 2. Diagnóstico

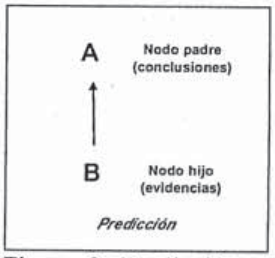


Figura. 3. Predicción

Cuando los nodos evidencias concuerdan con una variable de clase, la Red aprendió a realizar "clasificación". Cuando los nodos evidencias son "descendientes" (hijos), la Red aprendió a realizar una "predicción".
Si se supone que es cierto un hecho del mundo real que está representado en la Red como un nodo padre, la red puede deducir cuáles serán sus efectos; para ello se debe introducir esta hipótesis en el nodo correspondiente y propagar esta información hacia el resto de los nodos.
Este razonamiento es predictivo y está regido por una inferencia "deductiva" donde el conocimiento se puede expresar de la forma "si a entonces b" y se cumple que el hecho conocido es "a" y el hecho deducido es"b".
Cuando los nodos de evidencias son "padres" de los nodos conclusión (efectos), podrá decirse que la Red aprendió a realizar "diagnóstico".
Las mismas relaciones representadas en la red en forma causal permiten hacer inferencias "abductivas", donde conocidos los "síntomas" se puede saber cuales son sus posibles causas (diagnóstico).
El conocimiento es el mismo que en el caso anterior: "si a entonces b" pero ahora el hecho conocido es "b" y el hecho abducidos "es posible a"; este modo de razonamiento es el que permite la interpretación de las causas que generan determinados fenómenos. [Ref. 3].

2.1 Selección de las variables relevantes

El proceso de la formulación del modelo comienza generalmente con la especificación de un conjunto de variables de interés. Esto corresponde a los expertos de la especialidad.

Tabla 1. Denominación de cada variable

variables	Definición
X1	Agreg grueso / agreg fino
X2	Agua / mater cementicios
X3	Agua / cemento
X4	Microsilice / cemento
X5	Agreg fino / cemento
X6	Agreg tot / cemento
X7	Agreg tot / mate cementicios
X8	Superplastifi / mate cementicios
X9	Superplastifi / cemento
X10	Aditi tot / mate cementicios
X11	Adit tot / cemento
X12	Tipo agreg grueso
X13	Tipo cemento
X14	Tipo aditivo
X14	Tamaño máx agreg grueso
X16	Módulo finura arena
X17	Resistencia a compresión

Esta aplicación se refiere a la descripción de diferentes dosis de componentes en mezclas cementicias definidas por 17 variables continuas $\{X_1,....X_{17}\}$, discretizadas en rangos óptimos, definidas en la Tabla 1.
La variable objetivo es la prueba de resistencia a compresión, X_{17} presentada por las distintas muestras y parámetro fundamental en el diseño de estructuras de hormigón. Un ingeniero civil identifica inicialmente las variables principales que intervienen en la dosificación de las diferentes mezclas cementicias. Mediante la técnica de clasificación automática se obtienen seis clustering, que agrupan mezclas cementicias homogéneas de características distintas, denotándolas con la variable tipológica X_{18} en la Tabla 2.

2.2 Identificación de las dependencias

La etapa siguiente en la formulación del modelo consiste en la búsqueda de la estructura de dependencias e independencias entre las variables seleccionadas. Esta identificación corresponde también a un ingeniero civil y se hace normalmente reconociendo el menor conjunto de variables de vecinos, Vec (X_i) para cada variable X_i, que tengan dependencia.
Las variables y sus correspondientes vecinos pueden

Tabla 2. Clustering de las mezclas cementicias en seis clases homogéneas

Variable tipológica X_{18} Clustering de las Mezclas Cementicias							
variable	denominacion	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5	Clase 6
X_1	Agreg grueso / agreg fino	Bajo	Bajo	Bajo	Medio	MuyBajo	MuyAlto
X_2	Agua / mater cementicios	MuyAlto	MedBajo	MuyAlto	Bajo	MedioAlto	MedioAlto
X_3	Agua / cemento	Medio	Bajo	MuyAlto	Bajo	MuyBajo	MuyBajo
X_4	Microsilice / cemento	MuyBajo	MuyAlto	MuyAlto	Medio	Medio	MuyBajo
X_5	Agreg fino / cemento	MedioAlto	Alto	MuyAlto	MedBajo	Bajo	MuyBajo
X_6	Agreg tot / cemento	Alto	Bajo	MuyAlto	Alto	Bajo	MuyBajo
X_7	Agreg tot / mate cementicios	MuyAlto	Medio	Alto	Alto	Bajo	Bajo
X_8	Superplast/mate cementicios	MuyBajo	Bajo	Medio	Alto	Medio	MuyAlto
X_9	Superplast / cemento	MuyBajo	Bajo	Alto	Alto	Medio	MuyAlto
X_{10}	Aditi tot / mate cementicios	MuyBajo	Bajo	Bajo	Alto	Medio	MuyAlto
X_{11}	Adit tot / cemento	MuyBajo	Bajo	Alto	Alto	Medio	MuyAlto
X_{12}	Tipo agreg grueso	sin-info	caliza	sin-info	caliza	basáltico	granitico
X_{13}	Tipo cemento	portl. con escoria	portlan-alt-res-ini.	cementos especiales	portland	portland	portland c/escoria
X_{14}	Tipo aditivo	s-aditivo	alt-efic-ret	sin-ident	sin-ident	altaeficien	sin-ident
X_{15}	Tamaño máx agreg grueso	alt-efic-ret	Bajo	MuyBajo	MuyBajo	MedioAlto	MuyBajo
X_{16}	módulo finura arena	Bajo	Alto	Bajo	Bajo	Medio	Bajo
X_{17}	resistencia	MuyBajo	Alto	MuyAlto	Alto	Medio	Alto
X_{18}	% de Clase	28%	28%	2%	8,6%	30%	3,4%

observarse en la Tabla 3. El ingeniero especifica las relaciones causa–efecto entre las variables, es decir, específica qué variables las del conjunto de Vec (Xi) son causas directas de Xi.

El conjunto de causas directas de X_i se conoce como conjunto de padres y se denota con p_i* y el conjunto de efectos de X_i como conjunto de hijos, denotándose como h_i*.

Una forma de reducir considerablemente el espacio de búsqueda es la aplicación del Algoritmo K_2, desarrollado por Cooper y Herskovits (1992), a la base de datos disponible del estudio. [Ref. 4]

En realidad lo que hace este algoritmo es encontrar el conjunto de padres más probables, utilizando la métrica Bayesiana, que mide precisamente la probabilidad de la estructura dados los datos.

Tabla 3. Relaciones de dependencias entre variables.

nodos Xi	vecinos Vec (Xi)	nodos padres Causas	nodos hijos Efectos
X1	x2,x4,x5,x6,x8		x2,x4,x5,x6,x8
X2	x1,x3,x4,x17	x1	x3,x4,x17
X3	x2,x4,x5	x2	x4,x5
X4	x2,x3,x1,x7,x8	x2,x3,x1	x8,x7
X5	x3,x1,x6	x1,x3	x6
X6	x1,x5,x7	x1,x5	x7
X7	x4,x6	x4,x6	
X8	x4,x1,x9,x10,x12,x14,x13	x4,x1	x13,x14,x12,x10,x9
X9	x8,x12,x11,x10,x18	x8	x12,x18,x11,x10
X10	x9,x8,x12,x18,x11	x9,x8	x12,x18,x11
X11	x9,x10,x18	x9,x10	x18
X12	x9,x10,x15,x13,x8	x8,x9,x10	x13,x15
X13	x8,x12,x15,x14,x16	x8,x12	x14,x16,x15
X14	x13,x8,x15,x17	x13,x8	x15,x17
X15	x13,x14,x16,x12	x13,x14,x12	x16
X16	x13,x15	x13,x15	
X17	x14,x2	x14,x2	
X18	x9,x10,x11	x9,x10,x11	

De esta forma se reduce, también, el tiempo de ordenamiento, por lo que un nodo que está después de otro no puede ser su padre. Puede ser considerado el primer algoritmo basado en búsqueda u optimización de métrica bayesiana.

En este trabajo se utilizó la implementación hecha del algoritmo K_2 en la Plataforma Elvira [Ref. 5] aplicada sobre la base de datos de las variables consideradas influyentes en la dosificación de mezclas cementicias. Habiéndose identificado las dependencias directas encontradas y observadas en la Tabla 3, se puede considerar que:

-La relación de agregado grueso/agregado fino X_1, no depende de ninguna otra variable, pero afecta a X_2, X_4, X_5, X_6, X_8, es decir, a las relaciones agua/mat.cementicios, microsílice/cemento, agreg. fino/cemento, agreg. totales/cemento y superplastificantes/materiales cementicios.

-La relación agua/materiales cementicios X_2 depende de la relación de agregado grueso/agregado fino X_1 y afecta a X_3, X_4, X_{17}; agua /cemento, microsílice/cemento y la resistencia a compresión.

-Y así en el listado, todas las variables del conjunto X_i $\{x_1,\ldots, x_{18}\}$ tienen como "causas" las indicadas en la 3° columna de padres, dependiendo de ellas y "afectan", a las variables indicadas en la 4° columna de hijos.

La variable "objetivo" X_{17} prueba de resistencia a compresión, depende fundamentalmente de X_{14}, X_2 es decir, la relación agua/materiales cementicios y tipo de aditivo.

Las diferentes clases de mezclas X_{18}, dependen de X_9, X_{10}, X_{11}; superplastificante/cemento, aditivos totales/materiales cementicios y aditivos totales /cemento.

2. 3 Creación del grafo dirigido

Seguidamente se construye el grafo dirigido, donde cada variable está representada por un nodo y las causas efectos mediante aristas dirigidas (línea que conecta dos nodos). La dirección de la línea determina la dirección causa efecto entre las variables. Este tipo de gráfico es llamado Red Bayesiana. Ver figuras 1 y 2.

Si no se diesen relaciones causa efecto, esto se representaría mediante aristas no dirigidas (sin el sentido).

A este proceso en la formulación del modelo se lo denomina *estructural.* Obtiene la estructura de la red bayesiana a partir de las relaciones de dependencia e independencia entre las variables.

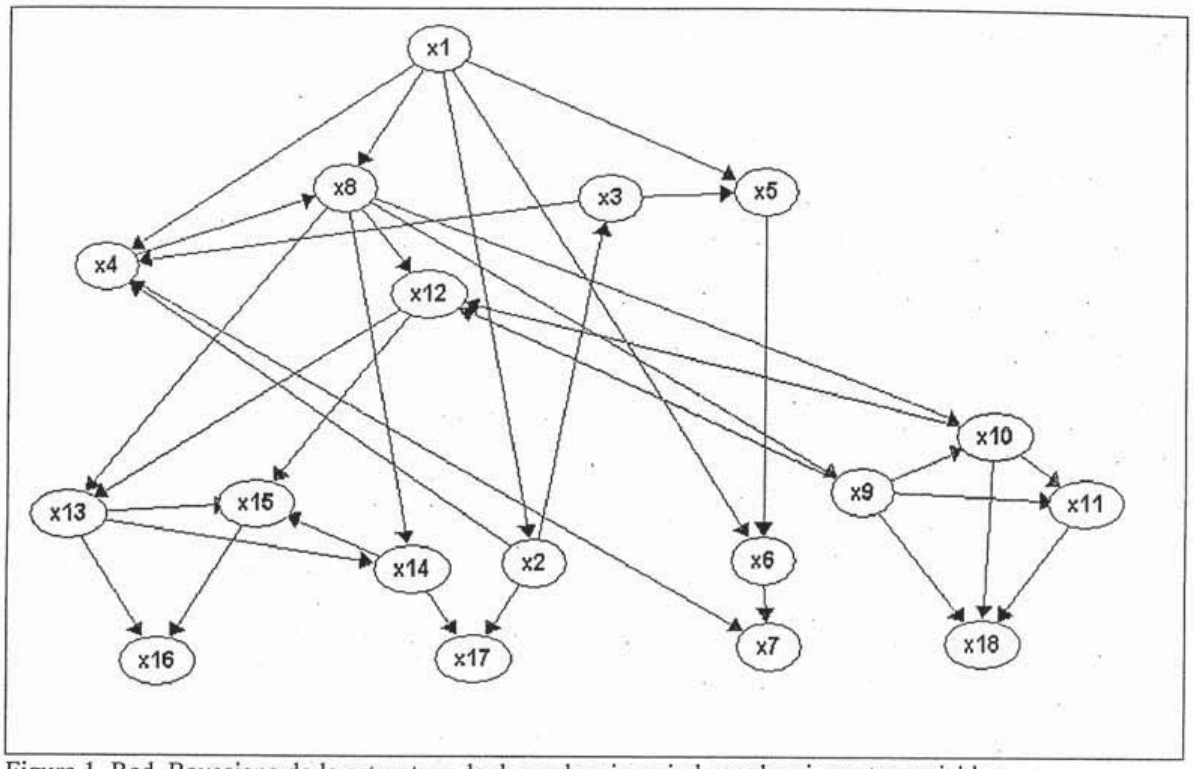


Figura 1. Red Bayesiana de la estructura de dependencias e independencias entre variables.

2. 4 *Especificación de distribuciones*

Una vez que se ha especificado la estructura gráfica de dependencias entre las variables, el ingeniero define un conjunto de probabilidades a priori de cada variable y condicionales con las demás, sugeridas por el Grafo, estableciendo una tabla de probabilidades TPC de cada nodo. La variable objetivo X_{17} resistencia a compresión, por ejemplo, puede tomar sólo cinco valores: muy baja, baja, media, alta y muy alta, según la discretización óptima efectuada a las pruebas de mediciones realizadas en las muestras.

Así todas las variables son discretas y se supone que siguen una distribución hipergeométrica con parámetros (X_i: N, n, p), con N+1 estados posibles para cada variable. A este proceso en la formulación del modelo se lo denomina *paramétrico.*

Consiste encontrar los parámetros asociados a la estructura de la red bayesiana.

Dichos parámetros son las probabilidades a priori de los nodos raíz y las probabilidades condicionales de las demás variables dados sus padres.

En la Figura 3 se dan las distribuciones a priori correspondientes a todas las variables, sin ninguna evidencia.

2. 5 Propagación de evidencias.

Se pueden obtener las probabilidades conjuntas (probabilidades a posteriori), dado varios tipos de evidencias, que van desde la evidencia nula, al conocimiento de los valores que tomen todas las variables.

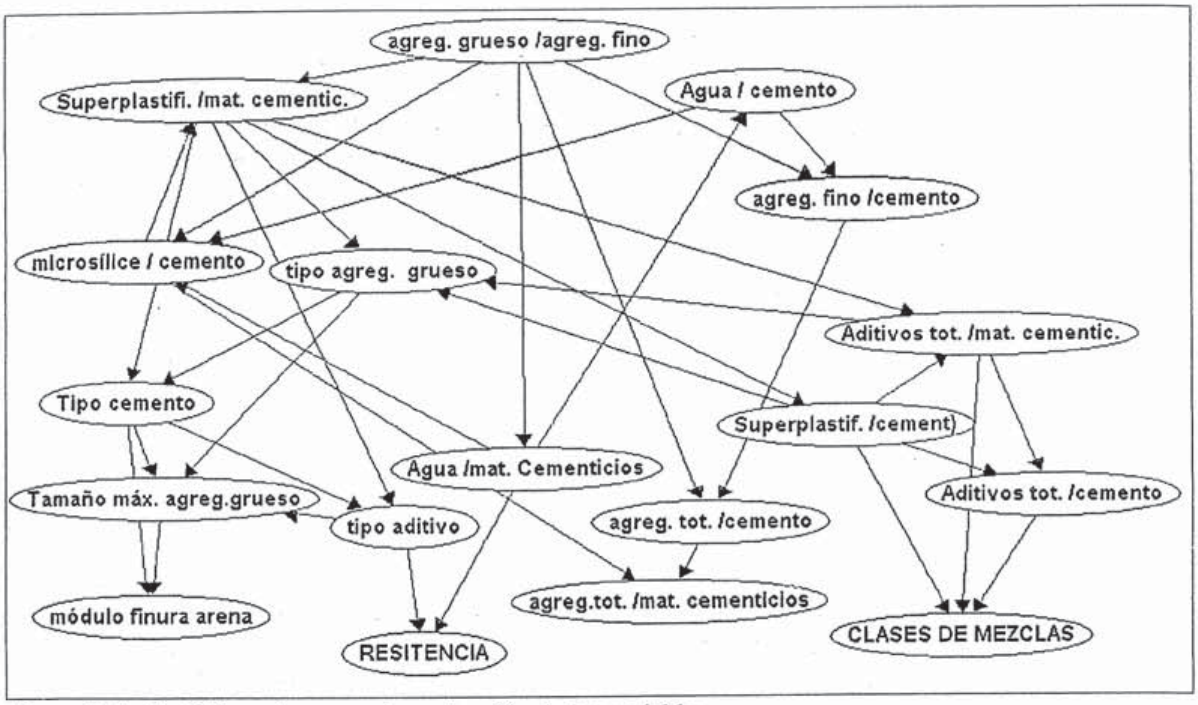


Figura 2. La Red Bayesiana con denominación de las variables.

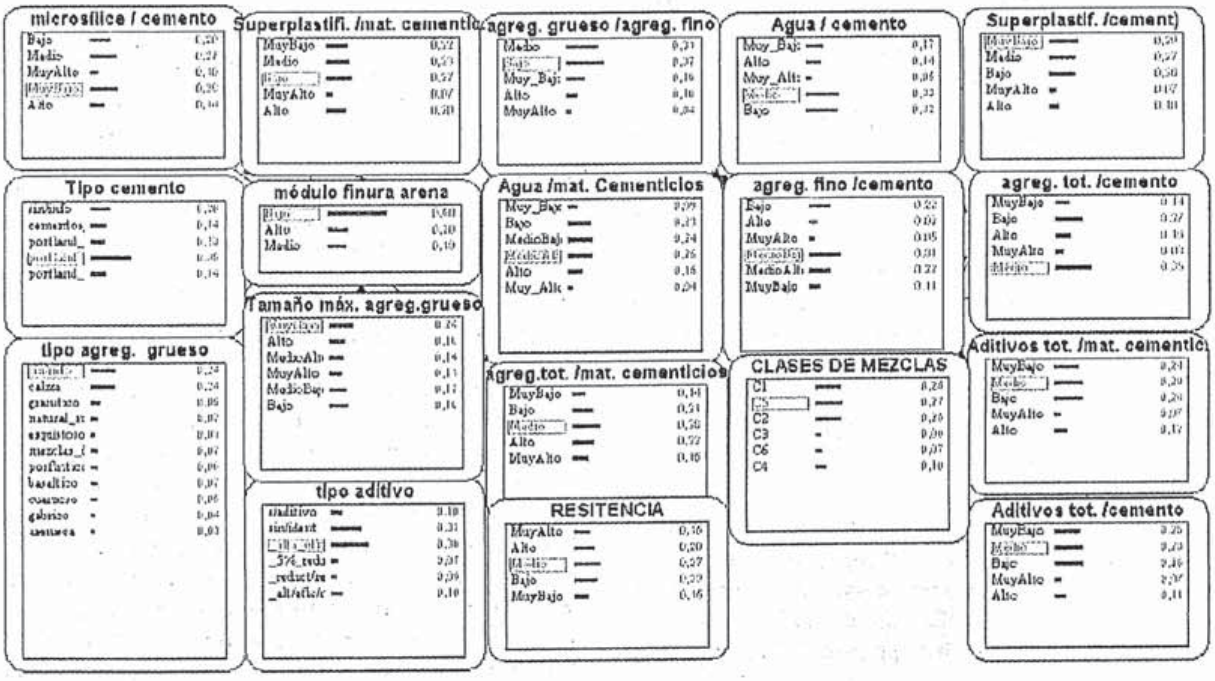


Figura 3. Conjunto de distribuciones de probabilidades sin "ninguna" evidencia [Plataforma Elvira.].

En estado de inferencia de la Red se pueden obtener estas probabilidades. El listado de las mismas entre las variables no se muestra por razones espacio, pero cada nodo cuenta con la información completa y general de todas las probabilidades en conjunto.
Para un caso particular, por ejemplo, se obtienen las probabilidades de la variable X_{17} Resistencia a compresión, para dosificaciones de evidencias disponibles y señaladas en la Tabla 4.

2.5.1 Interpretación de los Resultados

TABLA 4. Distribución aproximada de la resistencia a compresión de una mezcla dadas las evidencias de dosificaciones acumuladas secuencialmente.

Variable objetivo (X17): RESISTENCIA						
Evidencia disponible	Definicion	M Alta	Alta	Media	Baja	M Baja
X18: p(X18=Clase 5)= 1	Clase 5	0,16	0,21	0,28	0,21	0,14
X1 = Alto	Agreg grueso / agreg fino	0,23	0,23	0,24	0,17	0,13
X2 = Muy Bajo	Agua / mater cementicios	0,48	0,19	0,14	0,11	0,08
X3 = Muy Bajo	Agua / cemento	0,48	0,19	0,14	0,11	0,08
X4 = Alto	Microsilice / cemento	0,49	0,18	0,14	0,11	0,08
X5 = Muy Bajo	Agreg fino / cemento	0,49	0,18	0,14	0,11	0,08
X6 = Muy Bajo	Agreg tot / cemento	0,49	0,18	0,14	0,11	0,08
X7 = Muy Bajo	Agreg tot / mate cementicios	0,49	0,18	0,14	0,11	0,08
X8 = Medio	Superplastifi / mate cementicios	0,50	0,19	0,13	0,10	0,08
X9 = Medio	Superplastifi / cemento	0,51	0,19	0,13	0,10	0,07
X10 = Medio	Aditi tot / mate cementicios	0,51	0,19	0,13	0,10	0,07
X11 = Medio	Adit tot / cemento	0,51	0,19	0,13	0,10	0,07
X12 = porfiritico	Tipo agreg grueso	0,51	0,18	0,14	0,1	0,07
X13 = s/informac	Tipo cemento	0,56	0,23	0,07	0,07	0,07
X14 = s/ identif	Tipo aditivo	0,62	0,25	0,04	0,04	0,05
X15 = Medio Alto	Tamaño máx agreg grueso	0,63	0,25	0,04	0,04	0,04
X16 = Medio	Módulo finura arena	0,63	0,25	0,04	0,04	0,04

Por ejemplo, la probabilidad de que una muestra de la mezcla cementicia, seleccionada al azar sea de muy alta resistencia es 0.16 y la probabilidad de que sea de muy baja resistencia es igualmente 0.14. Estas probabilidades pueden ser interpretadas como: el 16% de las muestras son muy resistentes y el 14% son *menos* resistentes, las de esta clase.

2.5.1.2. Evidencia de muy alta resistencia.

Suponiendo los datos de la Tabla 4 donde la evidencia se obtiene secuencialmente en el orden dado en la tabla. Las probabilidades se basan en evidencias conocidas acumuladas. Como puede verse en la última fila de la tabla, cuando se consideran todas las evidencias, se obtiene $p(X_{17}$= muy alta)= 0.63 y $p(X_{17}$= alta)= 0.25, indicación de las probabilidades de la resistencia a compresión de la muestra cementicia seleccionada al azar. Es decir, el 88% de las muestras tienen muy alta y alta resistencia *a compresión* y pertenecen a la Clase 5 de las mezclas cementicias.

2.5.1.1 No hay evidencia disponible para las variables de dosificación.

La primera fila correspondiente a la evidencia acumulada "ninguna" para todas las variables y uno para la clase 5, da la probabilidad marginal inicial (a priori) de cada uno de los estados de la variable objetivo X_{17}, para estas mezclas, sin evidencias.

2.5.1.3. Mejoramiento de la perfomance.

Suponiendo como evidencia la elección de una muestra que pertenezca a la Clase 5, como la del ejemplo, la propagación en la variable X_{18} da evidencia de clase 5, es entonces, $p(X_{18}$ = Clase 5)= 1 y los valores de probabilidades para la variable X_{17} resistencia a compresión, son como se indica en la primera fila de la Tabla 4, en donde, para muy alta resistencia a compresión se tiene la probabilidad de 0.16, es decir si una muestra de clase 5 es seleccionada al azar, tiene el 16% de probabilidad que sea de muy alta resistencia a compresión y la probabilidad de que sea de alta, del 21%. Esto indica

que esta clase de mezcla, tiene baja perfomance, respecto a su resistencia a compresión para ser utilizada en la elaboración de hormigón para estructuras.
Si se desea mejorar su perfomance, desde este punto de vista de mejorar la resistencia a compresión, se deben propagar evidencias secuencialmente en todas las variables, que maximicen el valor de probabilidad en la variable X_{17} Resistencia a compresión. Así puede observarse en la Tabla 4 cómo resulta, al final de esta propagación, en la ultima fila, que las probabilidades aumentaron a p(X_{17}= muy alta)= 0.63 y p(X_{17}= Alta)= 0.25, es decir, del 37% inicial a un 88% con perfomance entre muy alta y alta resistencia.

2.5.1.4. Propagación observando evidencias claves

Suponiendo que únicamente se observe el valor de dos variables claves que influyan directamente en X_{17} Resistencia a compresión, que son X_2 relación agua/ materiales cementicios y X_{14} Tipo de aditivo; propagando la evidencia para estas variables solamente se obtiene:
p (X_{17}= m.alta\x$_2$ = m.bajo; X_{14} =s/infor.) = 0.62 y
p (X_{17}= alta \x2 = muy bajo; X_{14} = s/info.) = 0.25
Se advierte que, modificando sólo los valores de los "*padres*", es suficiente para evaluar la variable objetivo, X_{17} resistencia a compresión. Ninguna otra variable influye directamente.
Igualmente, para la variable X_{18} clase de mezcla, las tres influyentes, son X_9 superplastificantes/cemento, X_{10} aditivos totales/materiales cementicios y X_{11} aditivos totales/cemento.
Propagando sólo las evidencias de estas variables se obtiene:
p(X_{18}=Clase6\X_9=m.alto;X_{10}=m.alto;X_{11}=m.alto)= 0.71. Es suficiente para obtener directamente todos los tipos de mezclas cementicias clasificadas.
Si un nodo de la Red representa una variable correspondiente a la presencia de una anomalía, se puede diagnosticar que ésta se encuentra presente cuando su probabilidad excede un cierto umbral, con la llegada de nuevas evidencias, la probabilidad puede cruzar el umbral varias veces dependiendo de que las evidencias ratifiquen o descarten la presencia de esa anomalía; Esto Significa que cada nueva observación puede aumentar o disminuir la estimación de una hipótesis; por esta propiedad de las redes bayesianas se puede afirmar que efectúan un razonamiento no monótono basado en la probabilidad y no en la lógica.

La característica más destacada es que un mismo nodo, puede ser fuente de información o también objeto de predicción, en función de una evidencia disponible, brindando flexibilidad en la interpretación de los resultados con el crecimiento de la base de datos.

3. CONCLUSIONES

- El formalismo de las redes Bayesianas es el que mejor se adaptó a los requisitos en el dominio en estudio de un sistema no lineal como el presentado.
- Se pudo verificar la eficacia y generalidad del método ilustrándose la propagación secuencialmente de evidencias de dosis de mezclas cementicias en una Red Bayesiana, respondiendo ampliamente a los objetivos iniciales del trabajo para optimizar la dosificación de las mismas obteniendo hormigones de alta resistencia mediante redes gráficas probabilísticas, en forma simple y rápida..

REFERENCIAS

[1] N.G. Maldonado. Evaluación de tendencias para diseñar mezclas para hormigones de alto desempeño. Memorias Congreso de Ingeniería 2000. Buenos Aires. pp.340-348. 2000.

[2] M. G. Olmedo. Desarrollo de un Sistema de Ayuda a la Decisión para el Tratamiento de la Ictericia en Recién Nacidos. Tesis Doctoral. Universidad Politecnica de Madrid, 2001.

[3] X. Polanco. Extraction et modélisation des connaissansces: une aproche et ses technologies (EMCAT), Organisation des connaissances en vue de leur integration dans les systèmes de representation et de recherche dìnformatio. [Colloque chapitre français dÌSKO, Lille, France, 16-17 octobre 1997] Sous la direction de Jaques Maniez et de Widad Mustafa el Hadi. Préfase de Gérard Losfeld, Université Charles De Gaulle – LILLE 3, Collection UL3, pp.101-116., 1998.

[4] G.Cooper, E. Herskovits, "Bayesian Method for the induction of probabilistic networks from data".Machine Learning, 9 (pp.309-347), 1992

[5] Plataforma Elvira, Entorno de investigación de métodos y algoritmos de razonamiento probabilístico. Universidades de Granada, Almería, País Vasco y UNED, España. 2000.

Determinación de la eficiencia de aplicación de múltiples amortiguadores de masa sintonizados en el control de la torsión de estructuras sismorresistentes asimétricas

R.D. Bassotti
rbassotti@frsr.utn.edu.ar
CIDER, Facultad Regional San Rafael, Universidad Tecnológica Nacional

R.D. Ambrosini
dambrosini@uncu.edu.ar
Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo

RESUMEN: En edificios asimétricos en los cuales el centro de masa no coincide con el centro de corte, se produce un acoplamiento entre las vibraciones flexionales y torsionales, aún cuado son excitadas unidireccionalmente. En este caso, la instalación de Amortiguadores de Masa Sintonizados (AMS) en posiciones apropiadas tiene la doble ventaja de ser un medio de disipación de la energía sísmica y de disminuir los esfuerzos torsionales al aplicar un momento torsor fuera de fase con la excitación. Por lo tanto, el objetivo principal de este trabajo es estudiar la eficiencia de utilización de varios dispositivos AMS y la comparación con el uso de un solo dispositivo, en la disminución de esfuerzos torsionales en edificios asimétricos, solicitados por la acción sísmica en la base.

Palabras clave: amortiguadores de masa sintonizados – disipación de energía – acciones sísmicas

ABSTRACT: In asymmetrical buildings in which the mass and shear centers are not coincident; coupled flexural and torsional responses appear, even when excited unidirectionally. In this case, the use of tuned mass dampers (TMD) in appropriated locations has a double beneficial effect: It is a mean for dissipation of seismic energy and it controls the torsional vibrations by applying a torsor moment out-of phase with the excitation. Then, the main objective of this paper is to study the efficiency of MTMDs in the reduction of the torsional response in asymmetrical buildings subjected to seismic loading and to compare it with the response obtained by using a single TMD.

Key Words: tuned mass dampers – energy dissipation – seismic loading

1 INTRODUCCIÓN

Los amortiguadores de masa sintonizados son dispositivos constituidos por un conjunto de masa, resorte y amortiguador viscoso, fijados a la estructura, los cuales son utilizados para reducir las vibraciones indeseables de estructuras sometidas a excitaciones de diversa naturaleza. Den Hartog [1] demostró que para sistemas de un grado de libertad no amortiguados, la amplitud de vibración del sistema excitado es nula cuando la frecuencia de excitación es igual a la frecuencia del AMS, indicando que toda la energía del sistema fue transferida al AMS.

La frecuencia natural del dispositivo se sintoniza cerca de la frecuencia natural del sistema principal provocando que el AMS vibre en resonancia, disipando la energía absorbida a través de los mecanismos de amortiguamiento del mismo.

Los parámetros de diseño del AMS que se deben definir para lograr la máxima eficiencia del mismo, son la relación de frecuencia (frecuencia del amortiguador/frecuencia de la estructura), relación de amortiguamiento (amortiguamiento del dispositivo) y la relación de masa (masa del dispositivo/masa de la estructura).

Sadek et al. [2] proponen un método para estimar los parámetros óptimos de AMS para su aplicación ante solicitaciones sísmicas. Chang [3] propone para tres tipos de amortiguadores de masa fórmulas de diseño de sus parámetros para los casos de viento y sismo. Pinkaew et al. [4] estudian la efectividad del uso de AMS en estructuras bajo acción sísmica. Almazán et al. [5] proponen un nuevo dispositivo al que denominan AMS bidireccional y homogéneo (BH-TMD) el cual ofrece respuestas similares a los dispositivos lineales viscosos ante excitación sísmica uni-direccional y bi-direccional.

El uso de múltiples AMS para el control de la respuesta estructural bajo acción sísmica ha sido estudiado por muchos investigadores. Park y Reed [6] realizan un análisis para sistemas con AMS uniforme y linealmente distribuidos bajo excitación armónica y sísmica. Li y Liu [7] analizan estructuras con múltiples AMS con excitación sísmica basado en la distribución uniforme de los parámetros del sistema. Li y Qu [8] usando múltiples AMS analizan las propiedades óptimas de los mismos para reducir la respuesta traslacional y torsional de estructuras sometidas a aceleración de la base. Almazán et al. [9] proponen aplicar el concepto del denominado balance torsional que consiste en anular la correlación entre la rotación y el desplazamiento medido en el centro geométrico de cada nivel

En este trabajo se realiza un estudio numérico de la eficiencia de utilización de múltiples AMS en la respuesta de un edificio con asimetría estructural, ante acción sísmica en la base, localizando los dispositivos en el extremo superior y utilizando distintas distribuciones en planta.

2 ANÁLISIS NUMÉRICO

2.1 *Edificio con núcleo y tabiques*

Con el objetivo de estudiar la influencia de los Múltiples Amortiguadores de Masa Sintonizados (MAMS) en la respuesta ante la excitación sísmica en la base, se analiza un edificio con Núcleo y Tabiques [10]. Se presenta la planta tipo en Fig. 1 y sus características en la Tabla 1.

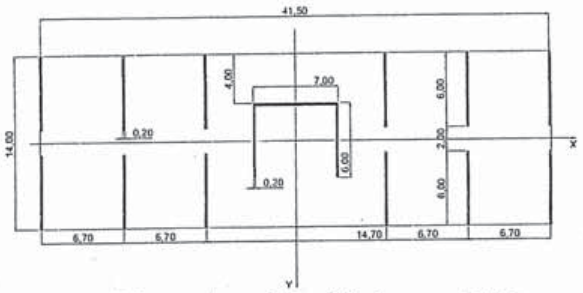


Figura 1. Planta tipo del edificio con Núcleo y Tabiques

Tabla 1. Características del edificio con Núcleo y Tabiques

Altura total del edificio	48 m
Número de pisos	20 pisos
Altura de piso	2,40 m
Espesor de losas	0,25 m
Masa total del edificio	8.590.000 kg

Para analizar la estructura, de hormigón armado, se utiliza el programa de uso comercial SAP2000 [11] en su versión 10. Los valores obtenidos del análisis, de las frecuencias de vibración de los 6 primeros modos naturales de vibración se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Frecuencias de vibración – Edificio con Núcleo y Tabiques

Frec. N°	Modo	Frec. Naturales Hz	Períodos Naturales seg
1	1 Flexotorsión X	0,787	1,270
2	1 Flexión Y	1,185	0,844
3	1 Torsoflexión X	1,308	0,764
4	2 Flexotorsión X	2,714	0,368
5	2 Flexión Y	4,903	0,204
6	2 Torsoflexión X	5,168	0,193

Para realizar el análisis se utiliza un acelerograma obtenido del sismo de Viña del Mar del año 1985, cuyo espectro de respuesta se presenta en Fig. 2.

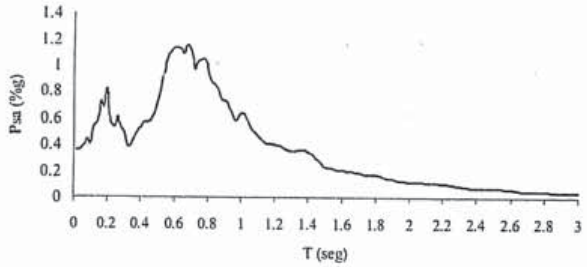


Figura 2. Espectro de respuesta del acelerograma de Viña del Mar

La acción del sismo se considera actuando en la dirección X, (Ver Fig. 1). Para analizar la influencia de los AMS en la respuesta se analizarán distintos casos los cuales se describen a continuación. Para el Caso 1 se analiza un solo AMS ubicado según la dirección X, y posicionado en dirección opuesta al centro de corte (Fig. 3).

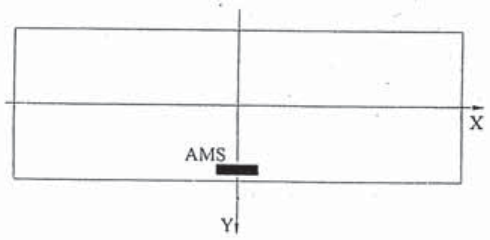


Figura 3. Caso 1. Ubicación de un solo AMS en dirección X.

En el Caso 2 se analiza la influencia de un solo AMS orientado según la dirección Y y ubicado en uno de los extremos de la estructura (Fig. 4).

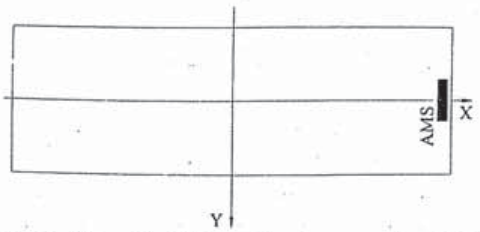


Figura 4. Caso 2. Ubicación de un solo AMS en dirección X.

En el Caso 3 se analiza la influencia de cinco AMS, uno orientado en dirección X y los otros cuatro orientados en dirección Y y ubicados en los extremos de la estructura (Fig. 5).

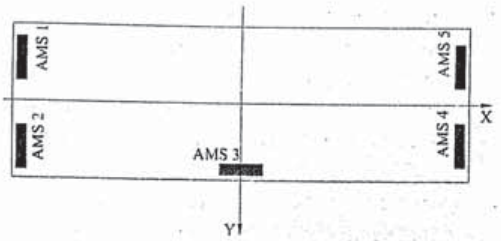


Figura 5. Caso 3. Ubicación de un AMS en dirección X y 4 AMS en dirección Y en los extremos.

En el Caso 4 se analiza la influencia de cinco AMS, uno orientado en dirección X y los otros cuatro orientados en dirección Y y ubicados a mitad de la distancia entre el baricentro y los extremos de la estructura (Fig. 6).

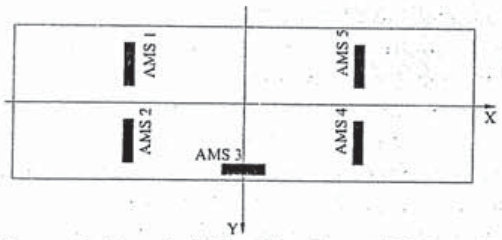


Figura 6. Caso 4. Ubicación de un AMS en dirección X y 4 AMS en dirección Y en el sector central.

El objetivo principal de la utilización de los dispositivos AMS para este caso particular es el de controlar las solicitaciones máximas de torsión en la base. En todos los casos que se analizan se sintoniza el AMS o los múltiples AMS con la tercer frecuencia natural de vibración correspondiente al

valor 0,764 seg (1,308 Hz). La relación de sintonización f se adopta igual a 1.

$$f = \frac{\omega_{estructura}}{\omega_{AMS}} = 1 \quad (1)$$

La masa del AMS se adopta igual al 1% de la masa de la estructura

$$\mu = \frac{m_{estructura}}{m_{AMS}} = 0,01 \quad (2)$$

En referencia al valor del amortiguamiento del dispositivo AMS, se adopta para todos los casos un valor constante del 5%.

$$\xi = \frac{c_{AMS}}{2 m_{AMS} \omega_{AMS}} = 0,05 \quad (3)$$

Los dispositivos AMS se incorporan al modelo diseñado en el software por medio de la definición de elementos denominados Link, a los cuales se les debe asignar el valor K, constante elástica de resorte y C, el valor de la constante del dispositivo amortiguador. En uno de los extremos del elemento Link se ubica la masa del AMS. Los valores que se utilizan para analizar los Casos 1 y 2 son los siguientes

$m_{AMS} = 85.900\ kg$

$k_{AMS} = 5.809.900\ N/m$

$C_{AMS} = 70.650\ kg/seg$

Para el Caso 1 los valores de las frecuencias de vibración de los primeros seis modos se indican en Tabla 3.

Tabla 3. Frecuencias de vibración – Edificio con Núcleo y Tabiques – Caso 1

Frec. N°	Modo	Frec. Naturales Hz	Períodos Naturales seg
1	1 Flexotorsión X	0,769	1,300
2	1 Flexión Y	1,185	0,844
3	1 Torsoflexión X	1,275	0,784
4	2 Torsoflexión X	1,367	0,732
5	2 Flexotorsión X	2,725	0,367
6	2 Flexión Y	4,903	0,204

Se puede apreciar de la Tabla 3 que al instalar el dispositivo surgen dos frecuencias de vibración torsoflexionales con valores 0,784 y 0,732 seg, mientras que en la estructura original la frecuencia de vibración torsoflexional era una sola y con un valor de 0,764 seg. Además, al ubicarse el dispositivo en dirección X también sufre una pequeña modificación la frecuencia de flexotorsión en esa dirección.

Los valores de las frecuencias de vibración de los primeros seis modos para el Caso 2 se indican en la Tabla 4.

Tabla 4. Frecuencias de vibración – Edificio con Núcleo y Tabiques – Caso 2

Frec. N°	Modo	Frec. Naturales Hz	Períodos Naturales seg
1	1 Flexotorsión X	0,786	1,272
2	1 Flexión Y	1,068	0,936
3	1 Torsoflexión	1,228	0,815
4	2 Torsoflexión	1,512	0,661
5	2 Flexotorsión X	2,714	0,368
6	2 Flexión Y	4,903	0,204

Al igual que en el caso anterior en Tabla 4 se observa que la frecuencia de torsoflexión 0,764 seg original se ha desdoblado al instalar el dispositivo en dos frecuencias 0,815 seg y 0,661 seg. También se aprecia una variación en la primera frecuencia de flexión en Y al estar el dispositivo orientado en esa dirección, siendo la diferencia mayor que en el caso anterior.

Para los Casos 3 y 4 se utilizan cinco dispositivos AMS sintonizados con la misma frecuencia torsional.

Para este caso se utilizará el criterio de mantener constantes los valores de la constante de resorte K y la constante de amortiguamiento C, variando la masa de cada uno de los dispositivos. La frecuencia de sintonización promedio será similar a la del sistema y se sintonizarán según un rango de frecuencias del 10 por ciento.

En este sentido se han seguido los lineamientos propuestos por Li & Qu [8] según los estudios paramétricos realizados por los mismos en el trabajo indicado.

Como resultados los valores de cada uno de los dispositivos se indican en Tabla 5

Tabla 5. Parámetros de los AMS – Casos 3 y 4

	ω	m	K	C
AMS1	7,813	18.965	1.157.617	14.076
AMS2	8,018	18.005	1.157.617	14.076
AMS3	8,224	17.116	1.157.617	14.076
AMS4	8,430	16.291	1.157.617	14.076
AMS5	8,635	15.524	1.157.617	14.076

Para el Caso 3 los valores de las frecuencias de vibración de los primeros diez modos se indican en Tabla 6.

Tabla 6. Frecuencias de vibración – Edificio con Núcleo y Tabiques – Caso 3

Frec. N°	Modo	Frec. Naturales Hz	Períodos Naturales seg
1	1 Flexotorsión X[RB1]	0,774	1,291
2	1 Flexión Y	1,116	0,896
3	1 Torsoflexión	1,158	0,863
4	2 Torsoflexión	1,260	0,794
5	3 Torsoflexión	1,313	0,762
6	4 Torsoflexión	1,353	0,739
7	5 Torsoflexión	1,374	0,728
8	6 Torsoflexión	1,486	0,673
9	2 Flexotorsión X	2,689	0,372
10	2 Flexión Y	4,895	0,204

Para el Caso 4 los valores de las frecuencias de vibración de los primeros diez modos se indican en Tabla 7.

Tabla 7. Frecuencias de vibración – Edificio con Núcleo y Tabiques – Caso 4

Frec. N°	Modo	Frec. Naturales Hz	Períodos Naturales seg
1	1 Flexotorsión X[RB2]	0,783	1,277
2	1 Flexión Y	1,124	0,889
3	1 Torsoflexión	1,221	0,819
4	2 Torsoflexión	1,261	0,793
5	3 Torsoflexión	1,311	0,762
6	4 Torsoflexión	1,353	0,739
7	5 Torsoflexión	1,363	0,733
8	6 Torsoflexión	1,421	0,704
9	2 Flexotorsión X	2,716	0,368
10	2 Flexión Y	4,906	0,204

De las Tablas 6 y 7 se observa que la estructura con múltiples AMS presenta 6 frecuencias torsoflexionales muy poco espaciadas, cuyo promedio aritmético da un valor muy próximo al de la frecuencia de sintonización.

Los valores del momento torsor máximo en la base de la estructura para el caso sin AMS y los valores obtenidos para cada uno de los casos descriptos se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8. Momento Torsor en la Base – Estructura con Núcleo y Tabiques –Sismo en Dirección X

	Caso 1	*Caso 2*	*Caso 3*	*Caso 4*
s/AMS (MNm)	154,81			
c/AMS (MNm)	141,68	106,62	101,80	123,64
Dif. (%)	- 8,48	- 31,13	- 34,24	- 20,13

Se observa en la Tabla 8 la importante reducción en la respuesta torsional máxima con la disposición de los AMS según el Caso 3. Con la disposición del Caso 2 pese a ser la respuesta similar al Caso 3 tiene el inconveniente que hay que concentrar una masa muy grande en un solo dispositivo.

En el Caso 4 a pesar de haber una reducción significativa es menor que la de los Casos 2 y 3 ya que la distancia de los dispositivos al centro de corte es menor.

Para el Caso 1 la menor distancia al centro de torsión produce una menor reducción.

En la Fig. 7 se observa la representación gráfica de la respuesta de la estructura en el tiempo sin AMS y con el uso de múltiples AMS según la disposición de los mismos establecidos en el Caso 3.

Debido a la instalación de los dispositivos en el nivel superior de la estructura en las dos direcciones principales de la misma, se analiza si esta situación puede ser desfavorable para la respuesta estructural.

Por lo tanto se estudia la respuesta de otras variables como son el esfuerzo de corte y el momento flector en la base, con la acción del sismo actuando en las dos direcciones principales. Los resultados que se muestran son para una disposición de los dispositivos AMS según el Caso 3.

Los resultados obtenidos del esfuerzo de corte máximo, el momento flector máximo y el momento torsor máximo en la base, considerando la acción sísmica según la dirección Y (Fig. 1), según la cual la estructura no presenta asimetría, se indican en la Tabla 9.

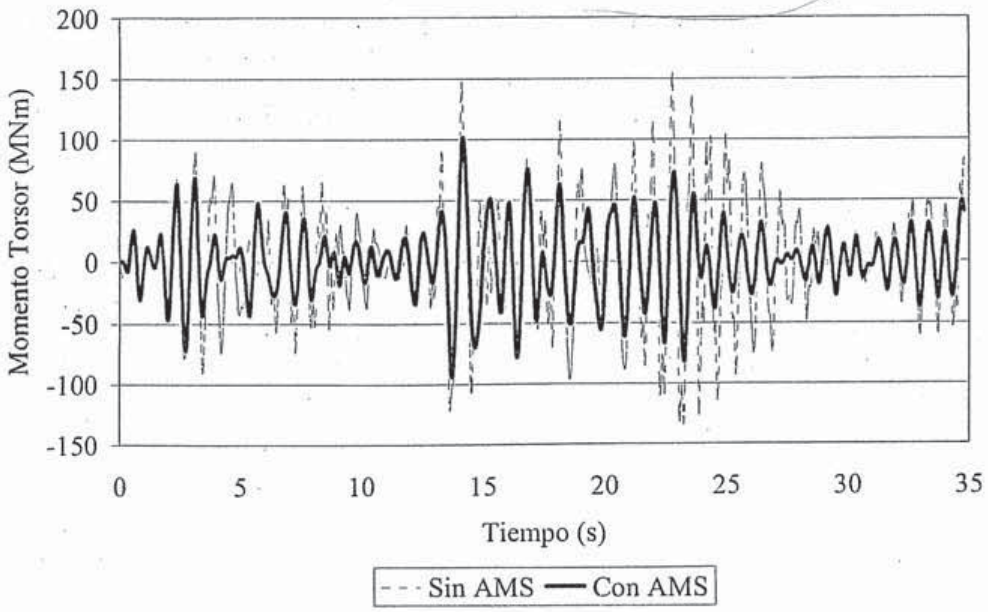


Figura 7. Momento Torsor Máximo en la Base – Sin AMS y Con AMS

Tabla 9. Momento Flector – Torsor y Corte Máximos en la Base – Estructura con Núcleo y Tabiques – Sismo en Dirección Y

	Sin AMS	Con AMS	Dif. %
Corte (MN)	51,44	40,94	- 20,41
MF (MNm)	1695,27	1351,18	- 20,30
MT (MNm)	0,00	69,73	-----

Se aprecia en la Tabla 9 una importante reducción tanto en el esfuerzo de corte como en el momento flector, como consecuencia de la proximidad entre la primera frecuencia natural de vibración en la dirección Y (0,844 seg de Tabla 2) y la de sintonización de los AMS (0,764 seg). y además por los contenidos de frecuencia de la excitación que, como se observa en la Fig. 2 se encuentran en resonancia con las frecuencias naturales de la estructura.

Los resultados obtenidos del esfuerzo de corte máximo y el momento flector máximo en la base, considerando la acción sísmica según la dirección X (Fig. 1), se indican en la Tabla 10.

Tabla 10. Momento Flector y Corte Máximos en la Base – Estructura con Núcleo y Tabiques – Sismo en Dirección X

	Sin AMS	Con AMS	Dif. %
Corte (MN)	19,20	19,20	0,00
MF (MNm)	729,57	728,64	- 0,10

Como se observa en la Tabla 10 la falta de sintonización de los dispositivos con la primera frecuencia de vibración en dirección X no produce modificación alguna en la respuesta según las variables analizadas.

3 CONCLUSIONES

En este trabajo se presenta un esquema de análisis para estructuras sismorresistentes con la incorporación del sistema de control pasivo de vibraciones denominado en la literatura amortiguador de masa sintonizado (AMS), utilizando varios de estos dispositivos con distintas distribuciones en el extremo superior de la estructura.

Con este esquema y teniendo en cuenta el objetivo fundamental del trabajo que es el control de los

esfuerzos torsionales, se estudió numéricamente la respuesta de una estructura utilizando el programa de uso comercial SAP 2000, bajo la acción de un acelerograma registrado en la ciudad de Viña del Mar en el año 1985.

Los resultados obtenidos permiten obtener las siguientes conclusiones

- Como era de esperar, cuando se utiliza un solo dispositivo AMS se obtienen mejores resultados al disponer el mismo más alejado del centro de corte de la estructura.
- Cuando se utilizan varios AMS al adoptar la disposición más distribuida se obtienen los mejores resultados en la disminución de los valores del momento torsor en la base, por la participación en la respuesta de los dispositivos orientados según las dos direcciones.
- La presencia de los dispositivos en el extremo superior de la estructura produce una disminución en el esfuerzo de corte en la base cuando se considera la acción del sismo actuando en la dirección en que la estructura no presenta asimetría. En esta situación se produce una solicitación de torsión inducida por los AMS; pero los valores máximos alcanzados son menores que los obtenidos cuando se considera al sismo actuando en la otra dirección.

Debe estudiarse la combinación óptima de MAMS para obtener la máxima reducción posible de los esfuerzos en las dos direcciones flexionales y la torsión.

REFERENCIAS

[1] J.P. Den Hartog, Mechanical Vibrations, 4th ed., McGraw-Hill, New York, 1956.

[2] F. Sadek, , B. Mohraz, , A.W. Taylor, R.M. Chung, A method of estimating the parameters of tuned mass dampers for seismic applications, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 26:617-635, 1997.

[3] C.C. Chang, Mass dampers and their optimal designs for building vibration control, Engineering Structures, 21:454-463, 1999.

[4] T. Pinkaew, P. Lukkunaprasit, P. Chatupote, Seismic effectiveness of tuned mass dampers for damage reduction of structures. Engineering Structures, 25:39-46, 2003.

[5] J.L. Almazán, J.C. De la Llera, J.A. Inaudi, D. López-García, L.E. Izquierdo, A bidireccional and homogeneous tuned mass damper: A new device for passive control of vibrations. Engineering Structures, 29: 1548-1560, 2007.

[6] J. Park, y D. Reed, Analysis of uniformly and linearly distributed mass dampers under harmonic and earthquake excitation. Engineering Structures, 23:802-814, 2001.

[7] C. Li, Y. Liu, Optimum multiple tuned mass dampers for structures under the ground acceleration based on the uniform distribution of system parameters. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 32:671-690, 2003.

[8] C. Li, W. Qu, Optimum properties of multiple tuned mass dampers for reduction of translational and torsional response of structures subject to ground acceleration. Engineering Structures, 28:472-494, 2006.

[9] J.L. Almazán, C.E. Seguín, J.C. De la Llera, Recomendaciones para el control torsional de estructuras asimétricas por medio de disipadores de energía y aisladores sísmicos. EIPAC 2007.

[10] A. Coull, Interactions Between Coupled Shear Walls and Cantilever Cores in Three-Dimensional Regular Symmetrical Cross-Wall Structures, Proc. ICE, 2(55), 827-840, 1973.

[11] SAP 2000, Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures, V 10. Computers and Structures Inc., 2006.

Análisis de la deformación elástica producida por la carga de agua en el dique potrerillos

M. H. Blanco, P.A. Euillades & G. A. Sosa
mblanco@cediac.uncu.edu.ar, peuillad@cediac.uncu.edu.ar & gabrielsosa10@hotmail.com
Instituto CEDIAC, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo

RESUMEN: En este trabajo se presenta los resultados de la modelación de deformación elástica de la corteza terrestre en las cercanías del Dique Potrerillos, producida por el ciclo fluctuante de carga y descarga de agua en el mismo. Se consideró la corteza terrestre como un medio semi infinito ideal (también llamado medio espacio elástico), el cual es materialmente homogéneo y mecánicamente isotrópico, y se calculan los desplazamientos siguiendo la propuesta de Farell (1972) quien aplicó las ecuaciones de Boussines`q para los casos de cargas verticales. Se muestran como resultados los desplazamientos superficiales de una serie temporal de deformación puntual en periodo 2003 a 2007 y para la situación de cota máxima en el periodo de estudio. Finalmente, se concluye la necesidad de tener en cuenta los desplazamientos superficiales producidos por la carga de agua al momento de utilizar los datos de estaciones permanentes de GPS ubicadas en las cercanías del lago.

Palabras clave: Dique Potrerillos – deformaciones elásticas – modelo – MDE – GPS

ABSTRACT: This work presents the results of crustal elastic strain modelling near the Potrerillos Lake, produced by water load and unload cicles. The earth crust is considered as an elastic halp-space, which is materially homogenous and mechanically isotropic, and the model is solved following Farrell (1972), who applied the Boussines`q equations to elastic deformation caused by vertical loads. We show results relevant to the period 2003-2007, when Potrerillos lake reached its highest level. As a conclusion we address the importance of pay attention to water level changes related deformation when using CGPS data from stations located near the lake.

Key Words: Potrerillos Dam – elastic strain – model – DEM - GPS

1 INTRODUCCIÓN

1.1 *La tierra como un medio elástico*

La tierra se comporta como un sólido elástico respondiendo a los esfuerzos ejercidos por distintas fuentes, tales como cargas de agua, nieve, hielo, etc. Debido a esto, la corteza terrestre puede ser considerada como un medio espacio elástico, la cual se encuentra representada por un plano semi infinito ideal que se extiende en todas las direcciones. El medio espacio se caracteriza por ser, materialmente homogéneo y mecánicamente isotrópico. Para un medio isotrópico y linealmente elástico se necesitan sólo dos constantes elásticas para describir la relación entre la tensión y la deformación. Estas constantes son conocidas como las constantes de Lamé λ y G, las que se relacionan con la siguiente expresión: (Ref.[1])

$$\lambda = \frac{2G\nu}{1-2\nu} \qquad (1)$$

donde G es el módulo de rigidez y υ es el coeficiente de Poisson. El módulo de rigidez da una idea del comportamiento rígido de los materiales y se mide en unidades de presión. Los valores típicos de G para las rocas en la corteza terrestre varían en el orden de 10.000 MPa hasta 30.000 MPa Ref.[1], pero en rocas fracturadas o sedimentadas poseen valores que rondan entre unos cientos a miles MPa.
El coeficiente de Poisson es la razón entre el alargamiento longitudinal producido y el acortamiento de una longitud situada en un plano perpendicular a la dirección de la carga aplicada. Para un material isotrópico elástico perfectamente incompresible, este es igual a 0.5. La mayor parte de los materiales prácticos en la ingeniería rondan entre 0.0 y 0.5, aunque existen algunos materiales compuestos llamados materiales augéticos que tienen coeficiente de Poisson negativo. Termodinámicamente puede probarse que todo material tiene coeficientes de Poisson en el intervalo -1 a 0.5 Ref. [2].

1.2 *Área de estudio*

El dique Potrerillos se encuentra al oeste de la Ciudad de Luján de Cuyo, en el distrito de Potrerillos. Este lago se nutre gracias a la afluencia del Río Mendoza, el cual es alimentado por los deshielos de la Cordillera de los Andes, naciendo de la confluencia de los ríos Tupungato y Vacas, que unen sus aguas con el río Las Cuevas. El dique está ubicado aproximadamente a unos 35 km al oeste de la ciudad de Mendoza. Ver Fig. 1. El triangulo blanco representa el sitio donde se encuentra instalada la estación permanente de GPS MZ05, la misma es parte de una red de estaciones permanentes instaladas en el Gran Mendoza, dentro del proyecto TAM Ref. [3]. La monumentación de dicha estación es una estructura reticulada en forma de pirámide, con tres patas clavadas en el terreno. La toma de datos comenzó en enero de 2007 hasta la fecha.

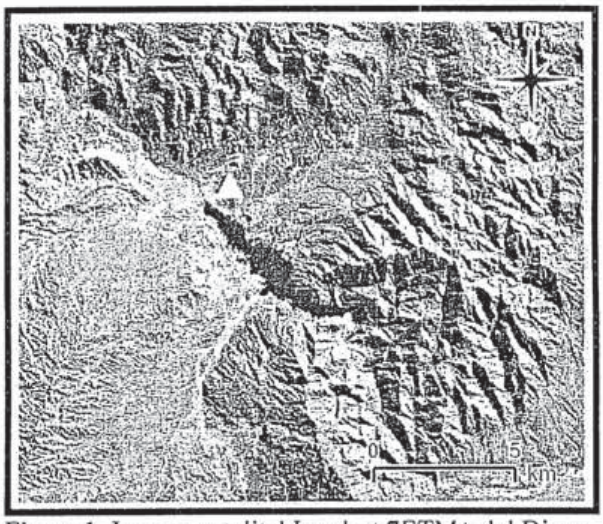


Figura 1. Imagen satelital Landsat 7ETM+ del Dique Potrerillos, en color negro puede verse el lago y el triangulo en blanco, indica la ubicación de la estación permanente de GPS (Denominada MZ05).

2 METODOLOGÍA

2.1 *Análisis de cuerpos elásticos*

La deformación de la corteza terrestre, producida por la aplicación de cargas superficiales, se puede resolver tomando a la tierra como un medio semi infinito ideal (también llamado medio espacio elástico).
Farrell Ref. [4] comprobó que en una zona uniforme, la respuesta de la corteza terrestre a la aplicación de cargas, depende sólo de su geometría y de dos constantes elásticas que son el módulo de Young E y el coeficiente de Poisson ν.

Haciendo uso de la propuesta de Ref. [4], quien aplicó las ecuaciones de Boussines'q para los casos de cargas verticales, se pueden analizar tres formas distintas de aplicar una carga siguiendo el desarrollo de Ref. [1]:

En primer lugar se considera que la carga actúa normal a un punto en la dirección de –z como lo indica la Fig. 2(a), las componentes de la deformación son calculadas a través de las componentes de las tensiones y luego integradas para obtener los desplazamientos.

El desplazamiento de la superficie en las tres componentes (u, v, w), debido a la acción de una fuerza normal Fz aplicada en el origen, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$F_z = -P_z \pi \alpha^2 \tag{2}$$

$$\begin{pmatrix} u \\ v \\ w \end{pmatrix} = \frac{F_z(1-2\nu)}{4\pi G} \begin{pmatrix} \frac{x}{r^2} \\ \frac{y}{r^2} \\ \frac{2(1-\nu)}{(1-2\nu)r} \end{pmatrix} \tag{3}$$

Tomada respecto en una superficie plana con z=0, donde:

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} \tag{4}$$

es la distancia desde la fuente hasta al origen, -Pz es la presión, α es el radio de la fuente de presión, υ es el coeficiente de Poisson, y G es el módulo de rigidez (constante de Lamé). La fuerza se encuentra aplicada en la dirección de (–z) como indica la Fig. 2(a). La demostración del completo desarrollo de esta ecuación se puede encontrar en Ref. [4].

La relación que existe entre el modulo de Young E y el modulo de rigidez G es la siguiente:

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \tag{5}$$

En segundo lugar, se considera una carga constante, aplicada en un círculo de radio α, como lo indica la Fig. 2(b), donde el desplazamiento de la superficie libre esta dado por Ref. [4].

$$\begin{pmatrix} u \\ v \\ w \end{pmatrix} = \frac{-P_z(1-2\nu)}{4G\alpha} \begin{pmatrix} r_x \\ r_y \\ cw \end{pmatrix} \tag{6}$$

Donde:

$$cw = \frac{4\alpha^2(1-\nu)_2F_1\left(\frac{1}{2},-\frac{1}{2};1;\frac{r^2}{\alpha^2}\right)}{1-2\nu} \tag{7}$$

Para $0 < r < \alpha$ y.

$$\begin{pmatrix} u \\ v \\ w \end{pmatrix} = \frac{-P_z\alpha^2(1-2\nu)}{4G} \begin{pmatrix} \frac{x}{r^2} \\ \frac{y}{r^2} \\ cw_a \end{pmatrix} \tag{8}$$

Donde:

$$cw_a = \frac{2(1-\nu)_2F_1\left(\frac{1}{2},\frac{1}{2};2;\frac{\alpha^2}{r^2}\right)}{(1-2\nu)r} \tag{9}$$

Para $r > \alpha$..

Donde α es el radio del círculo,

$$-P_z = \rho h g \tag{10}$$

es la presión producida por la carga, donde ρ es la densidad promedio, h la altura del cilindro, g aceleración de la gravedad, y ${}_2F_1(\alpha, \beta, \gamma, x)$ es la función hipergeométrica. Para un $r >> \alpha$ una solución aproximada del desplazamiento vertical es obtenida reemplazando la función hipergeométrica de la Ec. 8 por la Ec. 11.

$$w = \frac{-P_z(1-2\nu)}{4G} \left(\frac{4(1-\nu)\alpha\left(1+\frac{\alpha^2}{8r^2}\right)}{(1-2\nu)r} \right) \tag{11}$$

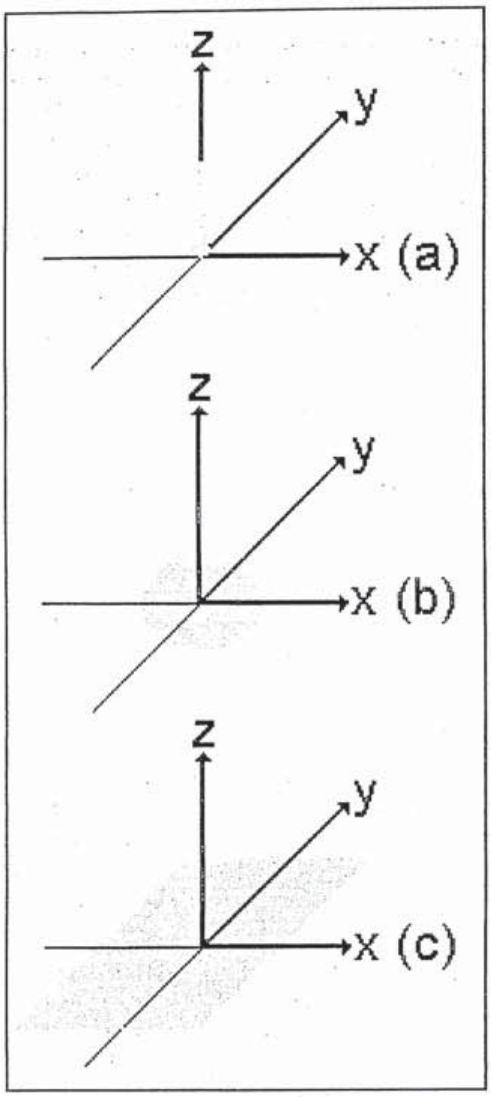


Figura 2. Distintas maneras de considerar la carga aplicada a un cuerpo elástico ubicado en las tres direcciones. (a) Indica una carga aplicada normal a un punto, el cual se encuentra en el origen de coordenadas, donde la fuerza actúa en el sentido negativo del eje z. (b) Indica una carga aplicada en una región circular, siendo α el radio del mismo. (c) Indica una carga aplicada sobre una región rectangular descripta por $-a \leq x \leq a$, $-b \leq y \leq b$ y para $z = 0$. Figura adaptada de Ref. [1].

2.2 *Modelo de carga*

Para modelar el comportamiento del dique, se han tenido en cuenta una serie de condiciones en función de los distintos niveles de agua que presentó el embalse en periodo 2003 a 2007. Los cambios de área cubierta por agua se representan en la Fig. 3, la cual se encuentra conformada por tres zonas, una cuadriculada que representa los datos de MDE (modelo digital de elevación), una zona gris que representa el área cubierta por agua en la cota máxima que se registró en el dique en el periodo de estudio y por último, una zona de color negro, que representa el área cubierta por agua en la cota mínima que se registró en el dique en periodo 2003 a 2007.

El MDE utilizado es el SRTM (Ref. [5]) cuya resolución espacial es de aproximadamente 90 metros, el cual se remuestreó a un píxel de 80 metros.

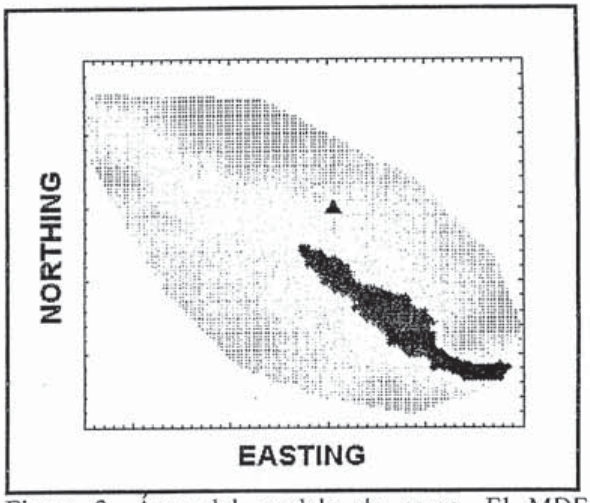


Figura 3. Área del modelo de carga. El MDE representado en cuadriculado, el área cubierta por agua en su cota máxima en color gris, el área cubierta por agua en su cota mínima en color negro. La ubicación de la estación permanente de GPS se representa con un triángulo negro.

Las cargas para cada píxel se calcularon de la siguiente forma:

-Si el píxel del MDE tiene una cota topográfica inferior a la cota de agua mínima del dique, la carga en ese píxel será la cota de agua del día a analizar, menos la cota de agua mínima del dique (la zona negra del gráfico).

-Si el píxel del MDE tiene una cota topográfica menor que la cota de agua del día a analizar, y mayor o igual a la cota mínima del dique, tendremos como resultado que la carga del píxel será la cota de agua del día, menos la cota topográfica (la zona gris del gráfico).

-Si la cota topográfica es mayor que la cota de agua calculada, la carga de dicho píxel es nula (la zona

cuadriculada del gráfico).
La cota topográfica se obtuvo a partir de los datos extraídos del MDE. Las cotas mínimas y máximas fueron provistas por el Departamento General de Irrigación de Mendoza durante el periodo 2003 – 2007. Es de importancia destacar que estas condiciones se plantearon para evitar resultados negativos en la modelación y obtener valores relativos de desplazamiento.
En la Fig. 4 se presentan los datos de cota del dique en el periodo anteriormente nombrado, donde se puede observar claramente los distintos ciclos de cargas y descargas a lo largo del tiempo. Como se puede ver, la cota varía en función de la estación y de los llenados producidos en el dique.

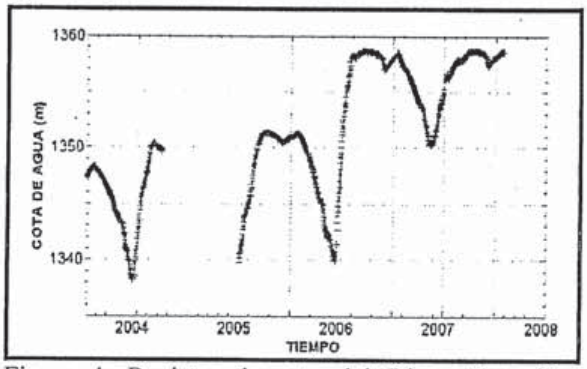


Figura 4. Registro de cota del Dique Potrerillos durante el periodo que va, desde el 1 de Julio del año 2003, hasta el 30 de Julio del año 2007.

2.3 *Algoritmo y verificación numérica*

El modelo aplicado se basó en la Ec. 8, la cual considera una distancia fuente - origen mayor al radio de carga. En primer termino de la derecha de la Ec. 8, interviene la presión y una serie de parámetros constantes. Las cargas superficiales (presiones) se calcularon como Ec. 10, donde ρ = 1.000 kg m-3, g = 9.82 m s-2, y h es la altura calculada a partir del modelo de carga. Para las constantes se asume un módulo de Young Ref. [6]:

$$E = \frac{\alpha(3\lambda + 2\alpha)}{\lambda + \alpha} = 0.6 \cdot 10^{11}\ Nm^{-2} \qquad (12)$$

y un coeficiente de Poisson:

$$\nu = \frac{\lambda}{2(\lambda + \alpha)} = 0.25 \qquad (13)$$

El segundo término de la derecha de la Ec. 8, es un vector que contiene los términos de distancia de las componentes horizontales y la componente vertical dividido por la distancia entre fuente de carga y el origen, y la función hipergeométrica. Cada elemento de este vector puede ser un arreglo de uno o varios elementos, dependiendo de los puntos que quiera calcular el desplazamiento superficial.
En el modelo aplicado al utilizar un grillado de carga, se realizó un lazo conteniendo la Ec. 8 y sumando los desplazamientos de el o los puntos analizados.

3 RESULTADOS

Como resultados de este trabajo, se presentan dos situaciones: 1) el modelado de una serie temporal de deformación puntual, aplicada en el sitio de la estación permanente GPS, y 2) el modelado para la situación de cota máxima en el periodo de estudio para un área de 40 x 30 km alrededor del dique. El modelo utilizado en ambos casos es el mismo.

3.1 *Serie temporal*

Se modeló el desplazamiento que se produce en el sitio donde se ubica la estación permanente de GPS a lo largo del periodo analizado. De esta manera se obtiene una serie temporal de desplazamiento asociada a los ciclos de carga y descarga de agua del dique.
Para cada día, se obtiene una distribución de las cargas con sus respectivas presiones, calculados a partir del modelo de carga explicado anteriormente. Los resultados obtenidos se muestran en la Fig. 5, donde en ordenada representa la deformación expresada en milímetros en las tres direcciones, y en abscisas el tiempo expresado en años. La componente de mayor deformación es la vertical, con un máximo negativo (aproximadamente -6 mm) coincidente con la cota máxima en marzo de 2007 (h=1377 m) y un mínimo (menor a 1 mm) en donde la cota del dique registró el valor mínimo (h=1336 m). Las componentes horizontales (X e Y) tienen menor deformación (entre 0.5 y 1.5 mm), pero deberán ser tenidas en cuenta al momento de analizar los datos de la estación permanente de GPS.

3.2 *Deformación cota máxima.*

Se modeló la deformación superficial en la situación de cota máxima, tomando una grilla rectangular de 80 x 60, con un espaciamiento de 500 metros. Para los 4800 puntos que componen el modelo, se obtuvo

un valor de desplazamiento en las tres direcciones. El algoritmo utilizado se basó también en la Ec. 8. De esta manera, se pudo comparar los resultados de ambas corridas.

En la Fig. 5, en la ordenada se representan los valores de desplazamiento de las tres componentes expresadas en milímetros y en abscisas el tiempo expresado en años.

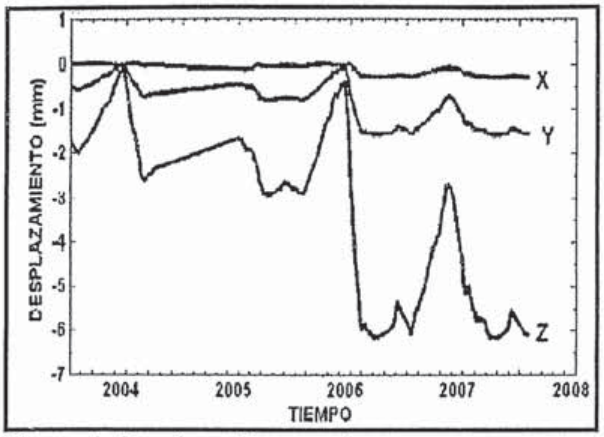


Figura 5. Desplazamiento en las tres componentes en el sitio de emplazamiento de la estación permanente de GPS.

En la Fig. 6 se muestra la localización en planta de los corte A-A´ y corte B-B´ y dichos cortes con las tres componentes. En la intersección de los cortes se localiza la estación permanente GPS.

En el corte A-A´ atraviesa el espejo de agua en sentido norte – sur. La mayor deformación vertical (-15 mm en Z) se produce sobre el espejo de agua. La línea negra vertical representa la ubicación de la estación permanente. Los desplazamiento en ese punto son: x=-0.3 mm, y=-1.6mm y z=-6.1mm. Estos valores de desplazamiento son coincidentes con los mostrados en la Fig. 5 en el momento de cota máxima (marzo de 2007) y en el corte B-B' sobre la línea que representa la ubicación de la estación permanente de GPS.

Tanto en el corte A-A' como el corte B-B', los desplazamientos se reducen notablemente con la distancia.

En los cortes, en la ordenada se muestran los desplazamientos superficiales expresados en milímetros y en abscisa la distancia. La línea negra vertical representa la ubicación de la estación en los cortes.

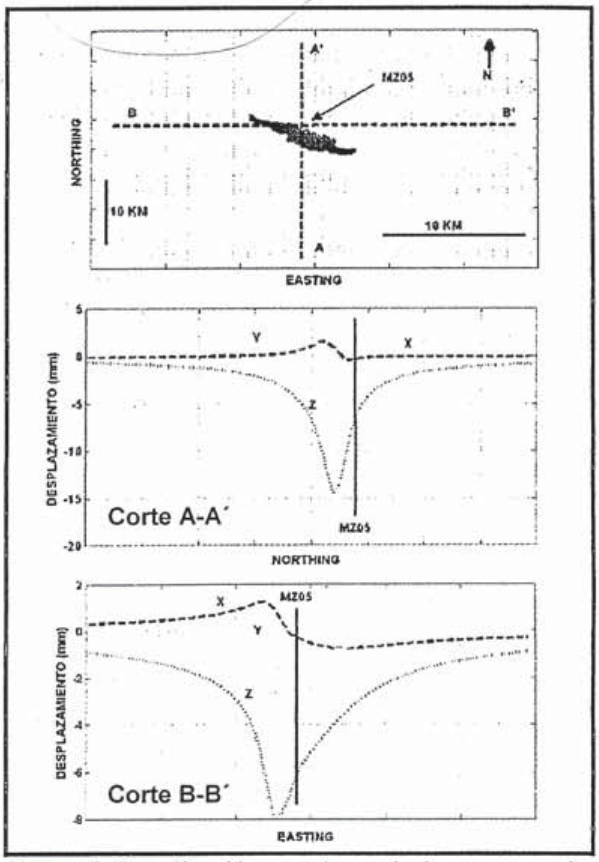


Figura 6. Localización en planta de los cortes y la representación de los mismos. La intersección de los cortes indica la posición de la estación permanente de GPS.

4 CONCLUSIONES

La corteza terrestre es un medio elástico uniforme, al estar sometida a la acción de una fuerza, se deformará dependiendo de la intensidad y geometría de la carga a que esta sometida, del módulo de Young (E) y coeficiente de Poisson (ν) de la misma. A través de los datos generados por el modelo, se pudo simular y se obtuvo valores relativos de la deformación superficial en el sitio de la estación permanente de GPS y en la cercanía del lago.

A pesar de que la deformación superficial en la estación permanente de GPS en las componentes horizontales no supera los 2 milímetros, se deberá tener en cuanta al momento de utilizar los datos de esta estación para estudios geodinámicos.

En el futuro se realizará la comparación de los desplazamientos obtenidos mediante la modelación, con los datos registrados por la estación permanente de GPS MZ05. Para realizar dicha comparación es

necesario tener una mayor cantidad de datos de la estación de GPS. Esto permitirá ajustar los paramentos de elasticidad de los modelos utilizados.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por la SECTyP de la UNCuyo a través de los proyectos bianuales. Se agradece al Departamento General de Irrigación por suministrar los datos de cota y volumen del Dique Potrerillos.

REFERENCIAS

[1] Dzurisin, D.. Volcano Deformation, Geodetic Monitoring Techniques, cap 8, 2007.

[2] Lakes, R. S., "Design considerations for negative Poisson's ratio materials" ASME Journal of Mechanical Design, 115, 696-700, 1993.

[3] Blanco, M., Euillades, P.,Euillades, L., Núñez, J., Brooks,B., Deformación de la corteza terrestre debido movimientos de placas tectónicas y otros fenómenos. Primeros resultados obtenidos del Proyecto TAM., Enidi, pp 203-209, 2007.

[4] Farrell, W. E.. Deformation of the Earth by Surface Loads, Reviews of Geophysics and Space Physics, Vol. 10, No. 3, pp. 761-797, 1972

[5] Jarvis, A., Reuter, H.,Nelson, A. and Guevara, E. Hole-filled seamless SRTM data V3, Available: from the CGIAR-CSI SRTM 90m Database: http://srtm.csi.cgiar.org, 2006.

[6] Becker, J. M. and Bevis, M.. Love's problem, Geophys. J. Int. 156, 171-178, 2004

Control de infiltración en el río Atuel y de la salinidad en el río Salado

F.A Di Lello, S.P. Ibáñez, M.Troncoso & S.Uhlig

fdilello@ciudad.com.ar, sibanez@fing.uncu.edu.ar, marianatroncoso@hotmail.com & stephan.uhlig@jk-w.de
GEPRO, Instituto de Hidráulica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo

RESUMEN: Se intenta establecer las pérdidas en los conos aluviales de La Junta, zona de reunión del Atuel y el río Salado y cuál es el origen de la salinidad de su principal afluente. Aunque los estudios para El Nihuil lo considerara, ello preocupó siempre a la ex AyEE, que hizo trabajos de campaña y estudios técnicos para un balance primario del sistema. Se analiza ahora la interrelación río-acuífero para el periodo 86/87-06/07 a partir de aforos en Puente Sosneado, Cañada Ancha, Loma Negra y La Angostura, para estimar los volúmenes perdidos, y hallar cuánto reaparece luego fluyendo al río. Los resultados técnicos y económicos son muy importantes, aún respecto al trasvase del río Grande al Atuel. La energía no producida en Los Nihuiles por estas pérdidas hídricas y el daño en los cultivos por una conductividad superior a 2000 µS/cm, sugieren intentar controlar con nuevas obras, no sólo la zona de infiltración, sino también el sitio en que se contamina el río Salado, para aumentar la energía del sistema y mejorar la calidad del agua de riego.

Palabras clave: salinidad – hidroeléctrico – energía – conductividad – infiltración

ABSTRACT: It is tried to establish the losses in the alluvial cones of La Junta, meeting zone of the Atuel and the Salado River and which is the origin of the salinity of its main affluent. Although the studies for it would consider it El Nihuil, always worried to the ex- AyEE, which did technical works in site and studies for a primary balance of the system. With gaugings of Puente Sosneado, Cañada Ancha, Loma Negra and La Angostura, now is analyzed to consider the lost volumes, to find how much it reappears soon flowing to the river. The technical and economic results are very important, still with respect to the transfer from the Grande River to the Atuel. The energy nonproduced in the Nihuiles by these hydric losses and the damage in the farms by a conductivity superior to 2000 µS/cm, suggests to try to control with new works, not only in the zone of infiltration, but also in the site in which the Salado river is contaminated, to increase the system's energy and to improve the quality of the irrigation water.

Key Words: salinity - hydroelectric - energy - conductivity – infiltration

1 INTRODUCCIÓN

La evaluación hidrológica para determinar la posibilidad hidroeléctrica de una cuenca, suele resultar muy compleja y a veces difícil, pero en el caso particular de la zona La Junta en el río Atuel, por su extensión y complejidad, sólo es posible efectuarla mediante un balance hídrico del sistema, tal que contemple la modalidad del aporte superficial de la cuenca del Llano del Atuel (ver Fig. 1), a la que contribuyen los ríos Atuel y Salado, ambos de régimen nivoglacial, con descarga superficial por el río Atuel.

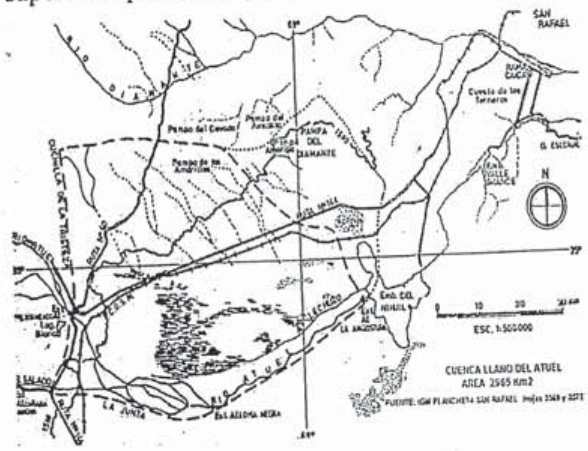


Figura 1. Cuenca de los llanos del Atuel

1.1 *Balance del agua del sistema*

Para realizar el estudio del tramo, se consideraron los datos correspondientes al periodo 86/87-06/07 de los caudales medios mensuales que ingresan al sector en Puente Sosneado (Atuel) [Ref. 1] y Cañada Ancha (Salado) [Ref. 2] y los que salen del mismo, aforados en Loma Negra [Ref. 3] (ya reunidos los ríos) y La Angostura antes de El Nihuil, [Ref. 4]. Los volúmenes perdidos surgen del balance entre lo que entra y lo que sale en el tramo, para lo cual se hizo la suma (ficticia) de las aportaciones mensuales de cada río (Atuel en Puente Sosneado y Salado en Cañada Ancha), [Refs. 1 a 3] a la que se le restó el aporte mensual aforado en Loma Negra.
Se tienen así los volúmenes mensuales perdidos por año antes de Loma Negra y los correspondientes al sector. Para entender mejor la situación, se ha esquematizado el río y el acuífero subterráneo asociado, además de los embalses superficiales del sistema hidroeléctrico del río Atuel (ver Fig. 2). Aparece así que hay agua perdida en ese tramo del río, pero para la situación mensual, se puede ver que hay épocas en que el acuífero devuelve agua al río.

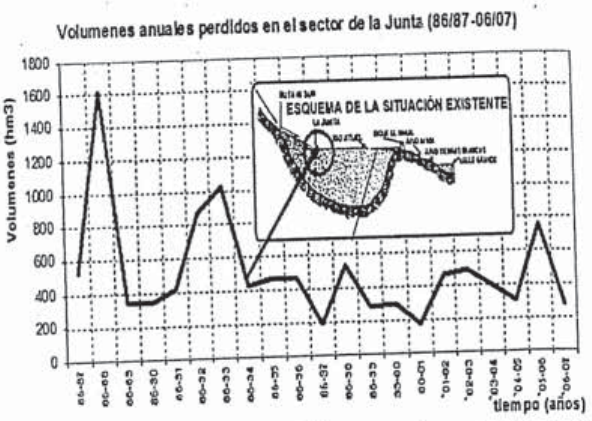


Figura 2. Volúmenes perdidos anualmente entre el tramo de entrada al cuenco subterráneo de ambos ríos y la estación de Loma Negra.

Esta interrelación no se ha podido analizar más en detalle, pues depende de la posición del nivel estático del acuífero para cada época analizada. Los signos negativos indican que en ese mes el río recibió agua desde el acuífero subterráneo, mientras que los valores positivos indican volúmenes infiltrados o derivados superficialmente, es decir, agua que salió del cauce del río (ver Fig. 3).

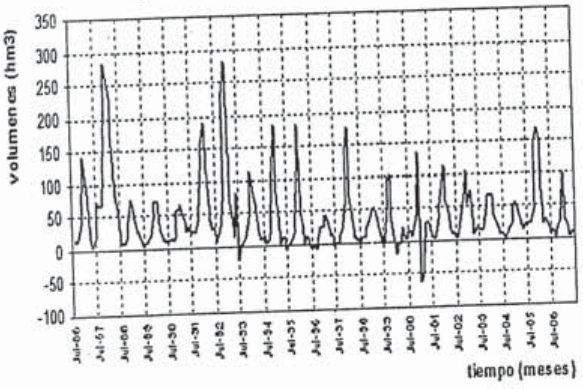


Figura 3. Perdidas entre la estación ficticia y la estación Loma Negra en el periodo (86/87-06/07)

Si el nivel del acuífero es mayor que el del lecho del río, éste le entrega agua al río, pero si el nivel en el río es mayor al del acuífero, la infiltración es hacia el acuífero, en una cantidad proporcional a la altura que alcanza el nivel del agua sobre el cauce. En el año hidrológico 87/88 el volumen anual perdido fue de casi 1600 hm^3, es decir del orden del derrame medio del río Mendoza. Se cree que estos caudales no sólo alimentan el acuífero subterráneo que drena

hacia la laguna de Llancanelo, sino que una parte se pierde por escurrimiento superficial, ya que si los caudales del Salado son elevados, una parte de ellos van hacia Llancanelo, pero por el A° Malo. Luego en el tramo entre E°Loma Negra hasta la E°La Angostura, [Ref. 4] se halló una respuesta distinta del sistema, ya que en general se observa una recuperación de los caudales perdidos, del orden de los 3 m^3/s como valor medio. Las recuperaciones anuales se indican con signo negativo, ver Fig. 4.

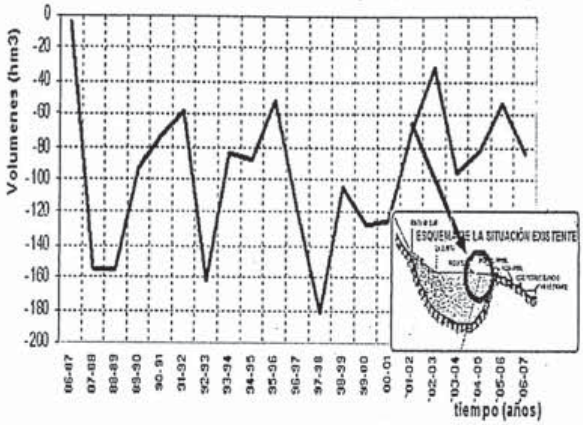


Figura 4. Volúmenes anuales de agua recuperados entre el tramo de Loma Negra y La Angostura.

A partir del estudio de imágenes satelitales surgiría que esa recuperación no se correspondería con la misma agua infiltrada en el tramo anterior, sino más bien pareciera ser parte de un drenaje sub-superficial proveniente de los bañados localizados al Norte del río Atuel y que formarían al A° El Lechuzo, cuyas aguas finalmente ingresan al embalse El Nihuil. Los volúmenes mensuales recuperados en el período (86/87-06/07) aparecen en la Fig. 5.

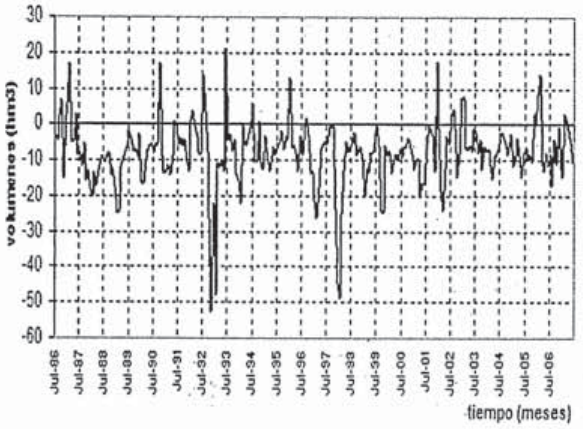


Figura 5. Volúmenes recuperados o infiltrados por mes entre E°Loma Negra – E°La Angostura

Mediante otros análisis de los tramos, efectuados con las curvas de volúmenes perdidos y recuperados clasificados, se vio que el volumen anual de agua perdida en el tramo entre Puente Sosneado-Cañada Ancha y Loma Negra, con frecuencia de aparición del 50%, es de 450 hm^3, mientras que el volumen recuperado en el tramo entre Loma Negra y La Angostura, para el 50% del tiempo llega a los 85 hm^3, en 21 años analizados. Ellos corresponderían a caudales medios anuales de 14,3 m^3/s y 2,7 m^3/s respectivamente, ver Figs. 6 y 7.

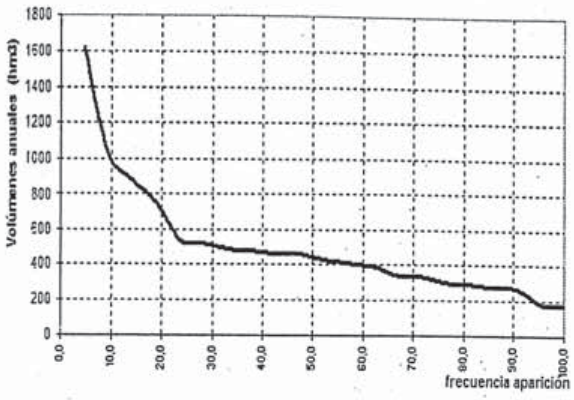


Figura 6. Curva de volúmenes clasificados perdidos anualmente en el sector de la Junta.

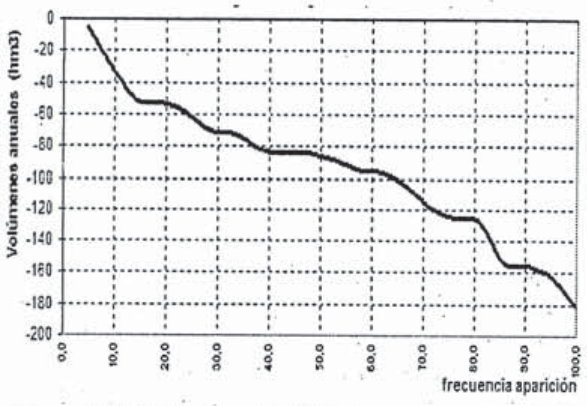


Figura 7. Volúmenes clasificados recuperados en el tramo entre E°Loma Negra y E°La Angostura.

Entre los caudales medios mensuales ingresantes a La Junta (E°Puente Sosneado+ E°Cañada Ancha) y los caudales medios mensuales en Loma Negra, hay una buena correlación (0,81) pero la mejor correlación se da para caudales entre 15 a 50 m^3/s, mientras que si los caudales son mayores hay una gran dispersión. Los mayores caudales son de octubre a marzo, que es cuando se producen las mayores pérdidas. La mayor dispersión sería porque además de la infiltración, posiblemente existan

derivaciones del caudal hacia otros cursos superficiales, como sería por ejemplo el A° Malo, Fig. 8.

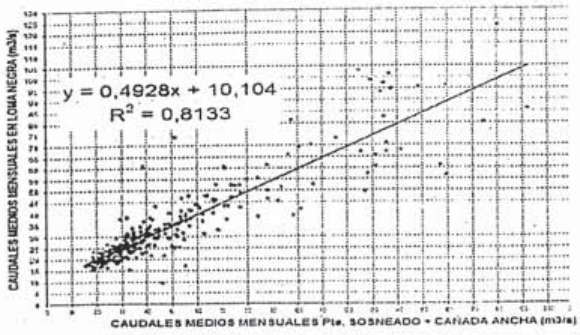


Figura 8. Caudales medios de la estación Ficticia (Puente Sosneado + Cañada Ancha) y Loma Negra.

Sin embargo la recta que correlaciona los caudales medios mensuales de las E°Loma Negra y E°La Angostura tiene una mejor correlación, con un coeficiente de 0.97, a pesar de la menor dispersión de los valores a caudales mayores. Probablemente esta menor dispersión se deba a que la recuperación de caudales sólo depende de la descarga de agua desde los bañados del sector Norte.

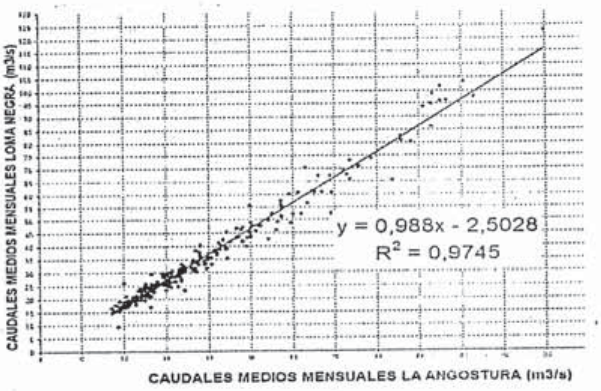


Figura 9. Correlación de caudales medios mensuales entre E° Loma Negra y La Angostura.

Los caudales medios anuales en las estaciones estudiadas se calcularon para el periodo analizado de 21 años (86/87-06/07), resultando:

Q (Atuel en Puente Sosneado)..... = 38,6 m^3/s
Q (Salado en Cañada Ancha)..... = 11,3 m^3/s
Q (Atuel Puente Sosneado + Salado Cañada Ancha) = 51,3 m^3/s
$Q_{Atuel\ Loma\ Negra}$ ..... =35,4 m^3/s
$Q_{Atuel\ La\ Angostura}$..... =38,3 m^3/s
$Q_{Recuperado\ en\ La\ Angostura}$ ..... = 3 m^3/s
$Q_{Perdido\ medio\ anual\ 86/87\ a\ 06/07}$..... =16,1 m^3/s

Este último valor sería el caudal que supuestamente abandona el sistema y su valor es de una magnitud que supera en casi un 50% la media del río Salado, es decir un valor de una vez y media el caudal del río Salado se deriva hacia la laguna de Llancanelo.

1.2 *Energía generada en el sistema existente y la posible si se evitaran las pérdidas*

Asumiendo que el Sistema de centrales hidráulicas desarrollado en el río Atuel (Tabla 1) estuviera en condiciones de utilizar los caudales posibles de recuperar y con la sumatoria del derrame perdido en el tiempo se lo turbinara en cada central, se hallaría la energía no generada (ENG) en ella.

Tabla 1. Centrales del Sistema del Río Atuel

Características	Central			
	Nihuil I	Nihuil II	Nihuil III	Nihuil IV
Concesionario	HINISA	HINISA	HINISA	HIDRONI HUIL
In. Operación	1957	1968	1972	1997
In. Concesión	1994	1994	1994	1997
Máquinas tipo	Francis	Francis	Francis	Kaplan
Pot. Unit. MW	18,5	20 y 25,6	26	30
N° máquinas	4	4+2	2	1
Pot. Inst. MW	74	136,2	52	30
Pot. Efec. MW	72	104	48	29,5
Qunitario m^3/s	13	13 y 15	39	56 (máx)
Salto útil (m)	183,5	179,75	75,75	38,5 a70
Tensión (kV)	13,2	13,2	13,2	13,2

Para el período estudiado, el caudal medio anual perdido en la zona de La Junta fue de 16,1 m^3/s, lo que resultaría para Nihuil I una ENG=221GWh/año. Para los 21 años considerados, la ENG acumulada de esa central sería de 4637 GWh.
En la central Nihuil II la ENG =216 GWh/año, lo que en 21 años significarían 4536 GWh.
En Nihuil III la ENG= 91 GWh/año, sumando en los 21 años analizados darían 1914 GWh no producidos.
Y para Nihuil IV la ENG = 68 GWh/año, por lo que resultarían 612 GWh en total para 9 años.
La ENG de las tres centrales suman en total 11.700 GWh.
Tomando como precio de la energía un valor de 0,030 U$S/KWh, (actualmente el precio marginal es varias veces este valor) resultaría que los ingresos perdidos por la ENG suman casi U$S 350.000.000.
De este monto habría que restar los costos asociados, pero sumar beneficios de la producción agrícola, por el aumento de casi un 38% del caudal medio del río Atuel, ver Fig. 10.

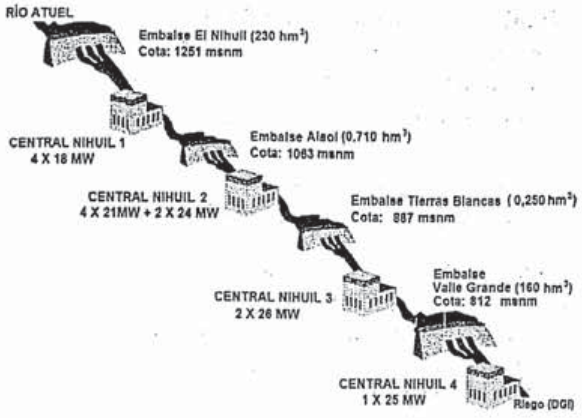


Figura 10. Esquema de las Obras sobre el río Atuel

Comparando los ingresos perdidos y lo que costó Nihuil IV, última obra construida sobre el río Atuel, se tendría que con el valor de la ENG, podrían haberse realizado casi 15 centrales equivalentes. Sumando la ENG anual total de las centrales existentes, son 598 GWh/año, o sea que si continúan las filtraciones, el sistema de Los Nihuiles dejará de ganar 18.000.000 U$S/año, un valor considerable.

2 ORIGEN SALINIDAD DEL RIO SALADO

La cuenca del río Atuel es interesante de investigar, no sólo para mejorar el aprovechamiento de sus aguas en cantidad, como se ha visto, sino también su calidad, tratando de hallar cómo controlar el proceso de salinización del río Salado. Esto es importante pues ello afecta la calidad del río Atuel de tal manera, que origina dos problemas importantes en el sistema de riego asociado, a) contaminación salina de los suelos y b) pérdida de rendimiento de los cultivos, por regar con agua de más de 2000 µS/cm. Hacia finales de los'70 [Ref. 5] y en la década de los'80 se realizaron campañas de muestreos en el río Salado y sus afluentes principales, para determinar el origen de la salinidad de sus aguas. Para ello se extrajeron muestras en el río Salado y principales aportadores, además de la fuente hidrotermal y del río Atuel antes de unirse con el río Salado. Los resultados hallados permiten comprender el proceso de salinización de las aguas de este importante afluente del río Atuel. [Ref. 6]

2.1 *Fuentes de contaminación*

El río Salado muestra dos tipos de contaminación salina hasta su confluencia con el río Atuel. En sus nacientes y a su paso por la formación del yeso principal, adquiere características de agua cálcico-sulfatada, con conductividades entre 809 y 1860 µS/cm, según la época en que sea realizada la determinación (con caudales altos la conductividad disminuye y para caudales menores la conductividad aumenta). Luego mejora por el aporte de otras también de tipo cálcico-sulfatada o sulfatada-cálcica, pero con conductividades menores a 300 µS/cm, por lo que antes de llegar a las fuentes hidrotermales de Los Molles, los valores de conductividad varían entre 442 y 940 µS/cm (según la época del año).
Pero allí, las fuentes hidrotermales le incorporan una concentración salina tan elevada, que el tipo de agua del río Salado, pasa de cálcico-sulfatada a clorurada-sódica y también se produce un notable aumento de la conductividad, alcanzando valores entre 1740 y 5640 µS/cm (según la época del año). Luego disminuye la conductividad por la dilución con aguas de arroyos de menor salinidad, hasta que en su desembocadura en el río Atuel, se observan valores entre 1190 y 2360 µS/cm. Se ha determinado que la zona más contaminante se ubica entre El Pozo de las Ánimas y Los Molles. Es decir, la contaminación se realiza en un recorrido del río menor a 1000 metros. A través de un balance de masa de los datos hidroquímicos obtenidos, se pudo estimar un valor medio del caudal hidrotermal de aproximadamente 300 l/s (muy variable con la época del año y con las características del año hidrológico).

2.2 *Captación de las aguas hidrotermales:*

Sería posible entonces intentar obras de captación del fluido hidrotermal, con lo que se solucionaría en gran parte el tema de la calidad del agua del río Salado, las cuales perjudican enormemente a la zona de riego aguas abajo del sistema de Los Nihuiles. Se analizaron tres posibles alternativas de captación, las que habría que estudiar más detalladamente, pero que se describen seguidamente en forma somera.

2.2.1 Captación y desviación del fluido hidrotermal hacia lagunas de evaporación.

Se han estimado muy primariamente las áreas necesarias para evaporar totalmente los caudales del aporte hidrotermal. Se halló que para evaporar el mínimo caudal hidrotermal determinado, son necesarios 2,6 Km² y para evaporar totalmente el caudal máximo unos 17,9 Km². En principio las lagunas para lograr evaporar totalmente el fluido hidrotermal resultan de dimensiones muy grandes.

Sin embargo como sólo lo hecho es un cálculo estimativo, habrá que verificarlo más rigurosamente en estudios posteriores. Pero desde ya las lagunas ofrecerían una atracción adicional a los huéspedes de los hoteles de la zona, por ser de agua hidrotermal, lo cual podría llegar a significar un interesante beneficio económico.

2.2.2 Captación y tratamiento del fluido hidrotermal por ósmosis inversa

Se podría conducir el agua hidrotermal por un canal, y luego hacerla pasar por una planta para tratarla por ósmosis inversa. Con ello se evitarían las costosas excavaciones e impermeabilizaciones necesarias en las lagunas. Se podría también ajustar el proceso a caudales variables, y esto sería independiente de las condiciones meteorológicas, con menor afectación del entorno. La desventaja estaría en que el procedimiento requiere de energía para lograr la presión suficiente como para que se pueda hacer pasar el agua por la membrana. Además son altos los costos de equipamiento, control y mantenimiento de los equipos técnicos. También se podría considerar la posibilidad de un tratamiento parcial del caudal hidrotermal por ósmosis inversa, combinado con una evaporación del resto. O sino directamente captar y tratar parte del caudal hidrotermal, dejando que el resto siga el proceso natural de dilución que se realiza en el río.

2.2.3. Encauzar el río en el tramo que se contamina

Otra forma sería tratar de impermeabilizar el cauce, de modo que sirva para controlar la infiltración del agua contaminada. Esta solución sería más económica, ya que el tramo a impermeabilizar es relativamente corto. En este caso los inconvenientes serían debidos al régimen variable del río y porque se podrían abrir nuevas vías de comunicación entre la fuente contaminante y el río. Sin embargo en este caso existe la posibilidad de un aprovechamiento hidroeléctrico en el tramo, aspecto que habría que considerar integradamente con el aprovechamiento hidroeléctrico del río Salado en El Infiernillo.

3 OBRAS DE MEJORAMIENTO

Dada la relevancia que tienen las pérdidas que se producen en la zona de La Junta, se han planteado distintos tipos de obras para disminuirlas. Algunas podrían ser sobre el río Salado en conjunción a las de sus aprovechamientos hidroeléctricos. El río tiene un potencial energético que es interesante.

3.1 *Presa El Infiernillo sobre el río Salado*

El sitio ha sido ampliamente relevado por AyEE tanto topográfica como geotécnicamente, y se ubica en la progresiva más estrecha del curso del río Salado, conformado por una colada de basalto que desvía el cauce del río, a unos 15 km aguas abajo de Los Molles. En la zona de cierre el valle del Río Salado, tiene un perfil transversal en forma de "V", con una fuerte pendiente tanto de laderas como longitudinalmente. En el cierre se observa sobre la margen derecha una zona de detritos de faldeo parcialmente cubierta de arena, y sobre el río una zona derrumbada, Fig. 11.

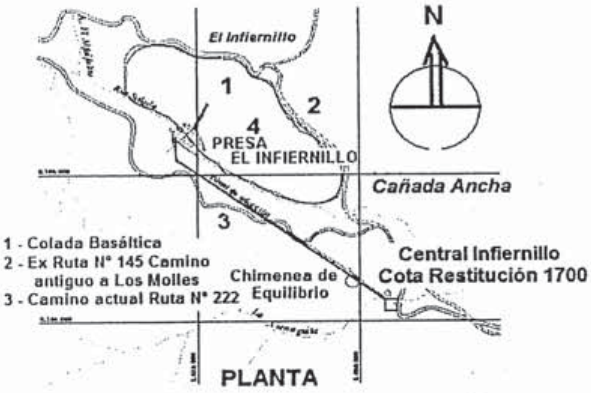


Figura 11. Ubicación de la presa El Infiernillo

3.2 *Aspectos geológicos del emplazamiento*

La geomorfología y litología del sitio son aceptables para fundar una presa, pero hay un complejo cuadro estructural debidas a discontinuidades de variada importancia, que habría que estudiar mejor para definir las obras. Aparece un afloramiento rocoso de unos 30 m de altura, el que ha obligado al río a escurrir por un angosto pasaje con taludes casi verticales en la margen derecha, y produce remansos y saltos en el cauce. Aguas abajo, el río retoma su perfil habitual. Los nueve sondeos de AyEE fueron todos junto al cauce y muy cerca del eje elegido para la presa, resultando difícil inferir qué hay por debajo del basalto, y no alcanzaron el techo de roca, por lo que son insuficientes para establecer el espesor del paleocauce, ni el del material fino ni del aluvión subyacente en el valle aluvial, aguas arriba de la colada basáltica que produjo el taponamiento del valle. El embalse natural formó una suerte de

blanket natural el que seguramente es muy impermeable y de varios metros de espesor. Este material ha sido parcialmente erosionado por el río por la margen derecha para abrir un cauce rodeando el basalto, por lo que redistribuyendo el resto se lograría un extenso blanket, el cual aumentaría el recorrido de las líneas de flujo por debajo de la presa y del basalto. Asimismo, si hubiera una gran permeabilidad en el manto basáltico diaclasado, sería conveniente revestir la cara de aguas arriba, hasta un nivel por encima del contacto con el "blanket", en correspondencia con el nivel máximo de embalse [Ref. 7].

3.3 *El trasvase del río Grande al río Atuel*

El Acuerdo Interprovincial entre las provincias ribereñas del Río Colorado, firmado en 1976 le dio a la Provincia de Mendoza el uso consuntivo de un caudal medio de 34 m^3/s provenientes de la cuenca del Río Grande, permitiendo su trasvase a la cuenca del Río Atuel. Con esta disponibilidad se han desarrollado varios estudios con diferentes niveles y alcances a los fines de intentar su aprovechamiento en el territorio provincial.

4 MINICENTRALES EN ZONA DE LA JUNTA

El caudal de la Central El Infiernillo luego habría que conducirlo hasta La Junta, para lo cual habría que construir un canal marginal al Río Salado. Pero este canal tendría una fuerte pendiente, por lo que para reducirla y aprovecharla se podrían emplazar cuatro minicentrales, entre la Ruta Nº 40 Sur, hasta el canal para Malargüe. Las centrales serían de salto variable y un caudal de 45 m^3/s.
Luego del canal serían posibles otros cinco saltos de 40 m^3/s, equipadas con dos o tres grupos.
Las obras deberían contar con vertederos para el caso de un fuera de servicio de alguna central, para mantener la dotación en el canal. En total serían nueve minicentrales con potencias de 3,7 a 6,6 MW. Sería conveniente modularlas con dos máquinas cada una, de modo de de lograr una economía de escala al equiparlas a todas con máquinas iguales, [Ref.8].

4.1 *Efectos de la menor infiltración en Llancanelo.*

De lo expuesto en los párrafos precedentes, se podría decir, sin cometer grandes errores, que gran parte del flujo que se pierde en la Cuenca del Atuel-Salado fluye hacia la cuenca de Llancanelo, ya sea en forma subterránea o en forma de arroyos superficiales. Esta es la única cuenca endorreica de importancia de la provincia de Mendoza, por lo cual si se hicieran obras en algunos sectores del río, habría que evaluar qué consecuencias llegaría a producir sobre este sistema natural, tanto en la cantidad de agua como en su calidad, ya que es una reserva ecológica celosamente guardada (sitio RAMSAR).

4.1.1 Cubicación preliminar de Llancanelo

Con las pocas informaciones disponibles hasta ahora, sólo se ha logrado una primera estimación del área ocupada por la laguna en cada época, mediante imágenes obtenidas por LANDSAT 5 y 7 en el período 1997-2003 [Ref. 9].
Luego de georeferenciarlas el área ocupada por el agua en cada mes se dedujo bajo las siguientes hipótesis: a) Para hallar el volumen acumulado, se asumió una profundidad media de la laguna de 0,50m en los bordes a 2,50m en las zonas más profundas; b) Se consideró un volumen base en la zona Norte de la laguna, (en donde parecería mayor la profundidad aparente en las imágenes satelitales y sería por donde ingresan la mayor parte de los afluentes superficiales). A esta área base se le asigna una profundidad media de 1,20m,con una extensión de 47,52 km^2, por lo que el volumen base sería de 57,02 hm^3 y una cota de referencia ±0,00m; c) El volumen y área mayor aparece cuando está completamente llena, con un valor de 420,40 km^2, y un volumen de 197,40 hm^3, al cual se le asignó la cota +0,60m; d) Para volúmenes intermedios, las áreas entre la de base y el área máxima, resultó el volumen asociado como una relación lineal entre la variación del área medida, resultando así la curva de Cotas-Áreas-Volúmenes, Fig. 12.

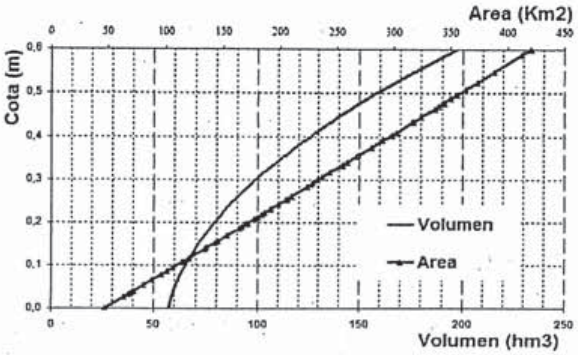


Figura 12. Curva de Áreas Volúmenes de la Laguna de Llancanelo.

4.1.2 Análisis de los aportes que recibe la Laguna

La laguna Llancanelo recibe los aportes permanentes del río Malargüe y de otros arroyos como el Álamo, el Mocho, el Malo y el Chacay. La evaluación de los volúmenes cronológicos en Llancanelo, junto con las pérdidas de la Junta, el aporte del río Malargüe en la zona de La Barda [Ref.10], y la suma de estos dos últimos, permiten ver que la curva muestra un volumen superior a la suma de los anteriores. La no coincidencia con los picos máximos, indicaría que habría como una cierta laminación y retardo en la reacción del crecimiento del nivel en el tiempo. Esto sería porque gran parte de los flujos llegan en forma subterránea. Ver Fig. 13. [Ref. 11].

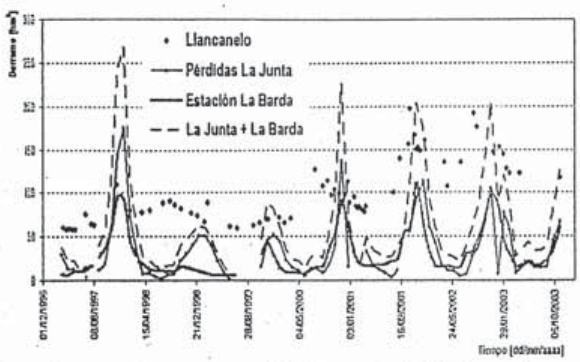


Figura 13. Aportes a la Laguna de Llancanelo

En general, el volumen medio de la laguna resultaría mayor que la suma de las otras dos curvas, lo cual indicaría que tal vez hubiera otro aportador a la Laguna, el que no se está considerado bien en este análisis, y es posible que no sea más que el río Malargüe pero en forma de aportación subterránea, con un volumen que se infiltra antes de la estación La Barda, [Ref. 12].

5 CONCLUSIONES

Sería posible aumentar la cantidad y calidad de agua aprovechable en la cuenca del río Atuel, con obras relativamente económicas que permitieran por un lado reducir las infiltraciones en el sector de La Junta y por otro mejorar la calidad del agua del río Salado. Este mayor volumen de agua mejoraría la cantidad de energía generada en el Sistemas de Los Nihuiles, además de incorporar una considerable mejora en la calidad del agua, lo cual la haría más eficiente para su uso agrícola que como lo es actualmente, que ha llevado a una gran contaminación de los suelos, los que precisan ser lavados periódicamente y ello da lugar a una disminución importante en el rendimiento de los cultivos por hectárea, además de un mayor consumo de agua. Al mejorar estas condiciones podría ser posible que existieran algunos excedentes de agua para alimentar los bañados de La Pampa, los que se vieron perjudicado por las construcciones de los embalses en suelo mendocino. Sería importante realizar estudios más profundos sobre este tema, ya que si se compararan los beneficios obtenidos del trasvase de aguas del río Grande al Atuel, con las obras sobre el río Salado, cabría la posibilidad de alcanzar los mismos objetivos con menores inversiones.

REFERENCIAS

[1] Subsecretaría de Recursos Hídricos. Datos Estación Puente Sosneado. Serie (1972-2006). 2007.
[2] Subsecretaría de Recursos Hídricos. Datos Estación Cañada Ancha. Serie (1940-2006). 2007.
[3] Subsecretaría de Recursos Hídricos. Datos Estación Loma Negra. Serie (1980-2006). 2007.
[4] Subsecretaría de Recursos Hídricos. Datos Estación La Angostura. Serie (1906-2006). 2007.
[5] J. A.Vivas, Características químicas de la cuenca hidrográfica del río Salado. Serie técnica - CRAS. Mendoza, 1981.
[6] C. Valero, Las aguas termales y minerales de Mendoza, un potencial recurso explotable. CRAS - IT N°162, San Juan, 1994.
[7] AyEE, Acta N° 7-Convenio Trasvase de caudales de la Alta Cuenca del río Colorado, Mendoza, 1982.
[8] HARZA-HISSA UTE; Aprov. Integral del río Grande, Mendoza, 2000.
[9] Catálogo de Imágenes LANSAT 5 y 7. Periodo 1997 a 2003. Mosaico 132-81. Comisión Nacional de Actividades Espaciales, 2008.
[10] Subsecretaría de Recursos Hídricos. Datos Estación La Barda. Serie (1987-2006). 2007.
[11] A. Valladares, Cuenca de la Laguna de Llancanelo. Subsecretaría de Recursos Hídricos, Buenos Aires, 1997.
[12] A. Álvarez, & J. P. Villalba, Línea de base hidroquímica de las redes hidrográficas vinculadas al sistema lagunar de Llancanelo - Mendoza, INAA. IT N°02, CRA - Mendoza, 2000.

Auscultación de la Presa El Carrizal

P.S. Infante, L.M. Magistocchi, P.G. Espina & C.L.F. Dávila

pinfante@uncu.edu.ar & lmmagistocchi@uolsinectis.com.ar & pgespina@uncu.edu.ar & carlosdam2005@yahoo.com.ar

Instituto de Hidráulica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo

RESUMEN: la auscultación de presas consiste en el monitoreo, observación y control del funcionamiento de las mismas. Particularmente el caso de la Presa El Carrizal, que fue construida a principios de los setenta, y que se encuentra bajo el control de la Dirección de Hidráulica de la Provincia de Mendoza, está monitoreada por el Instituto de Hidráulica desde el año 1994. La instrumentación instalada para el monitoreo de su comportamiento consta de 18 piezómetros hidráulicos ubicados a distintas alturas y dentro del núcleo impermeable de la presa, 3 piezómetros hidráulicos instalados en la fundación, 35 piezómetros de Casagrande ubicados a pie de presa y a lo largo de la misma, un inclinómetro y 7 asentímetros de derrame. Toda esta instrumentación se lee y registra periódicamente y se elabora un informe mensual del comportamiento de dicha instrumentación en función de las variaciones de la cota de embalse, y del estado general de la presa. Esta información sirve para ajustar el manejo operativo de los caudales turbinados y derivados por válvula de riego, de modo que no generen condiciones de riesgo en la estabilidad de la presa.

Palabras clave: seguridad – presas – auscultación

ABSTRACT: The case of the Dam The Carrizal, which was constructed at the beginning of the seventies, and that is under the control of the Direction of Hydraulics of the Province of Mendoza, it is monitorig for the Institute of Hydraulics from the year 1994. The instrumentation installed for the monitoring of behavior consists of 18 hydraulic piezometers located to different heights and inside the impermeable nucleus of the dam, 3 hydraulic piezometers installed in the foundation, 35 standpipe piezometers located by foot of dam and along the same one, an inclinometer and 7 hydraulic overflow settlement cells. All this instrumentation is read and registers and there is elaborated a monthly report of the behavior of the above mentioned instrumentation depending on the variations of the level of reservoir, and of the general state of the dam. This information serves to fit the operative managing.

Key Words: safety - dams – auscultation.

1 INTRODUCCIÓN

El agua es indispensable para el ser humano por lo que ha obligado al hombre a esforzarse e ingeniarse para conseguirla, transportarla y almacenarla, derivándose de ello una tecnología que ha condicionado y caracterizado las distintas civilizaciones. Una presa es, en esencia, una barrera materializada a través de un muro de mampostería, hormigón, tierra u otros materiales, que generalmente se construye normal al curso del río o un arroyo, a fin de detener el escurrimiento del agua para embalsarla y/o utilizarla, es decir, es una estructura que tiene por objeto contener el agua en un cauce natural y almacenarla con fines, alternativos o simultáneos, Ref [1].

Las presas se construyen para generar grandes embalses de almacenamiento y, por lo tanto, son estructuras esenciales de los proyectos destinados al desarrollo hídrico de un cauce natural o de una cuenca en lo referente a consumo de agua potable, industrial, riego, producción de energía eléctrica y otros aspectos económicos. El agua retenida en un embalse crea un potencial uso de la misma, el que debe ser sustentado por la presa a lo largo de toda su vida con total seguridad, Ref [1]. Es allí en donde aparece la necesidad de monitorear y controlar el comportamiento de la presa durante su construcción, primer llenado y operación, ésto se lleva a cabo a través de la auscultación.

El objetivo principal, y más importante, de la auscultación es obtener la información necesaria para comprobar el comportamiento y detectar cualquier indicio sobre condiciones adversas en cuanto a presiones, filtraciones, deformaciones, y hacer una valoración continua de la seguridad de la presa. Además la auscultación suministra datos sobre la "salud" de la presa, es decir que, el estudio y evaluación de los datos acumulados sobre el comportamiento de la misma, como consecuencia de la auscultación, sirven para verificar las hipótesis de cálculo adoptadas en la etapa de proyecto. Lo que, como valor agregado, contribuye a un refinamiento y mejora de las técnicas de cálculo, de los ensayos estructurales, de las elecciones de los parámetros de proyecto para futuros diseños más concordantes y económicos. Por último, y no menos importante, también tiene como objeto proporcionar información pronta sobre el comienzo o desarrollo de daños que puedan poner en peligro la seguridad de la presa, pudiendo tomar a tiempo las medidas correctivas, Ref [2].

Particularmente, el caso de la Presa El Carrizal, que se terminó de construir a principios de los setenta, y que se encuentra bajo la autoridad de la Dirección de Hidráulica de la Provincia de Mendoza, está auscultada hidráulicamente por el Instituto de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo desde el año 1994.

2 CARACTERÍSTICAS DE LA PRESA Y EMBALSE EL CARRIZAL

La Presa El Carrizal se ubica, sobre el Río Tunuyán, 8 kilómetros aguas arriba del Dique Tiburcio Benegas y a aproximadamente 65 kilómetros de la Ciudad de Mendoza.

El diseño estructural adoptado para la Presa El Carrizal consiste de una presa de material suelto zonificada con núcleo impermeable inclinado, constituido por arcilitas y limolitas, provenientes de la excavación y del préstamo de ambas márgenes del río. Además posee dos zonas de filtro zoneado y espaldones permeables de material aluvional protegidos con ripio y rip-rap de roca cantera, el de aguas arriba, y sólo ripio, el de aguas abajo, ver Fig.1.



Figura 1. Vista del espaldón aguas arriba y la defensa de rip-rap en primer plano. Obra de toma en segundo plano.

El aprovechamiento múltiple del agua realizado en el embalse permite cumplir con tres finalidades: abastecimiento de demanda de riego, generación hidroeléctrica y atenuación de crecidas del Río Tunuyán.

La capacidad del embalse a cota del labio del aliviadero es de 390Hm^3, con una superficie del lago correspondiente de 3150Has, una altura máxima

sobre las fundaciones de 51m y una longitud de coronamiento de 2100m. Con un aliviadero con vertedero tipo Romero de 1600m^3/s de capacidad, ver Fig. 2.

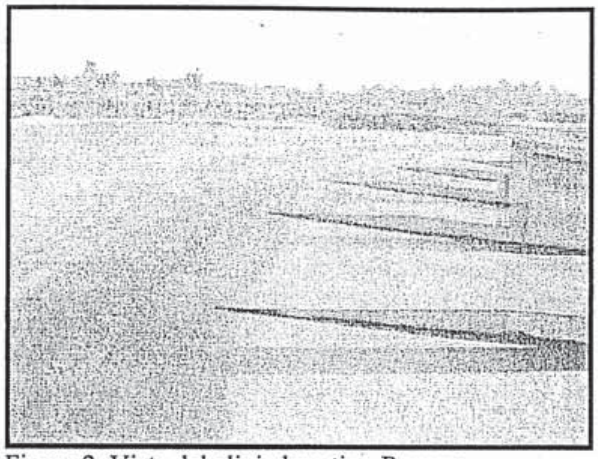


Figura 2. Vista del aliviadero tipo Romero.

La central hidroeléctrica tiene una potencia total instalada de 21250kVA, con un salto nominal de 34m y un caudal nominal de 31m^3/s, con dos turbinas Francis verticales, ver Fig. 3 en primer plano.

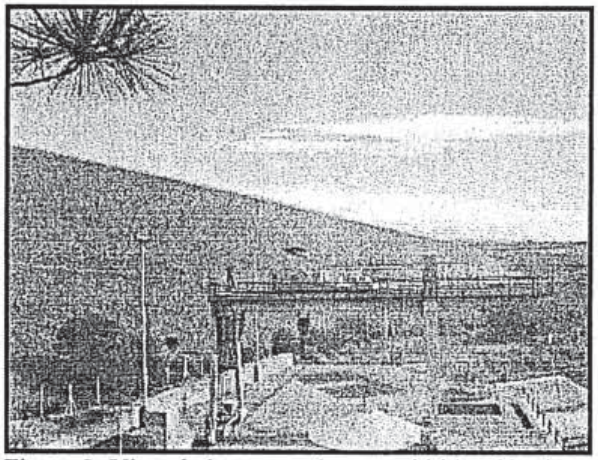


Figura 3. Vista de la presa y la central hidroeléctrica.

En general, en el interior de una presa de materiales sueltos, por la acción de la presión hidrostática del agua embalsada, se crea una presión intersticial cuya componente vertical produce una fuerza contraria al peso, que es desestabilizadora, por ello se miden dichas presiones en el interior y en la fundación de las presas de materiales sueltos, para conocer si su distribución está conforme con lo previsto, y acorde a las variaciones de la cota de embalse.

3 INSTRUMENTACIÓN EN FUNCIONAMIENTO Y REGISTRO DE LA MISMA

La instrumentación instalada en el cuerpo de la presa de materiales sueltos para el monitoreo de su comportamiento consta de:

- ✓ 18 piezómetros hidráulicos ubicados a distintas alturas y dentro del núcleo impermeable de la presa.
- ✓ 3 piezómetros hidráulicos instalados en la fundación.
- ✓ 35 piezómetros de Casagrande ubicados a pie de presa y a lo largo de la misma.
- ✓ un inclinómetro.
- ✓ 7 asentímetros de derrame.

Toda esta instrumentación se lee y registra periódicamente y se elabora un informe mensual del comportamiento de dicha instrumentación en función de las variaciones de la cota de embalse, y del estado general de la presa.
Esta información sirve para ajustar el manejo operativo de los caudales turbinados y derivados por válvula de riego, ver Fig. 4, de modo que no se generen condiciones de riesgo en la estabilidad de la presa.

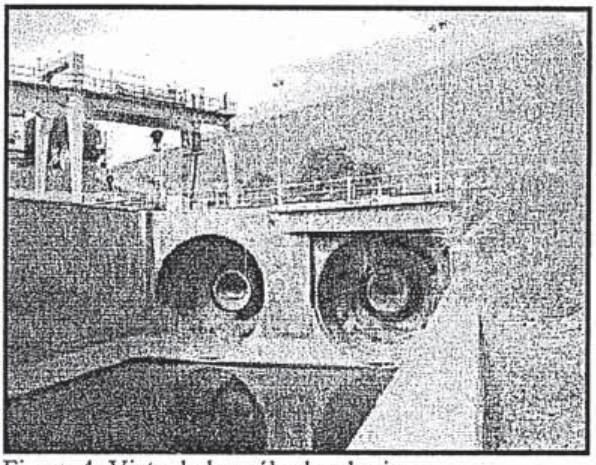


Figura 4. Vista de las válvulas de riego.

A continuación se describe la instrumentación mencionada en detalle.

3.1 *Piezómetros hidráulicos del núcleo.*

En general, los piezómetros hidráulicos miden la subpresión ejercida por el agua dentro del núcleo de la presa. Consisten de una celda porosa ubicada en el

lugar en donde se desea medir la presión, conectada a través de tuberías gemelas de nylon a un panel manométrico instalado en la torre de auscultación, ver Fig. 3 en segundo plano. Las presiones se miden a través de la altura de la columna dentro de dicho panel, cuyo líquido manométrico es mercurio. Como las alturas de columnas líquidas, si el líquido manométrico fuera agua, resultan ser del orden de la cota de embalse, o sea varias decenas de metros, para que el panel mencionado no supere una altura del orden de los 3m, es necesario que esté conectado a una unidad de contrapresión que reduce la variabilidad de la columna manométrica de mercurio.

Los piezómetros hidráulicos del núcleo también se llaman piezómetros hidráulicos de terraplén, y tal como ya fue especificado, a la fecha se encuentran instalados y en funcionamiento 18 piezómetros hidráulicos ubicados a cuatro cotas diferentes dentro del núcleo impermeable de la presa.

Los cuatro primeros, es decir del 1 al 4, se encuentran ubicados a la cota 740msnm, del 5 al 9 en la cota 751msnm, del 10 al 14 en la cota 761msnm, y del 15 al 18 en la cota 771msnm. Todos ellos experimentan variaciones en los valores de la subpresión en función de la cota de embalse, una disminución de la cota de embalse origina una disminución de la subpresión dentro del núcleo.

Si se compara el funcionamiento de todos los piezómetros hidráulicos, los que están ubicados a cotas más altas, del 15 al 18, responden más velozmente a la variación de la cota de embalse que los de cotas inferiores; y si comparamos los que están instalados a igual cota, los piezómetros más cercanos al lago responden más velozmente que los más alejados, ver Fig. 5. Obviamente que este comportamiento resulta del movimiento del agua a través del material suelto que compone la presa.

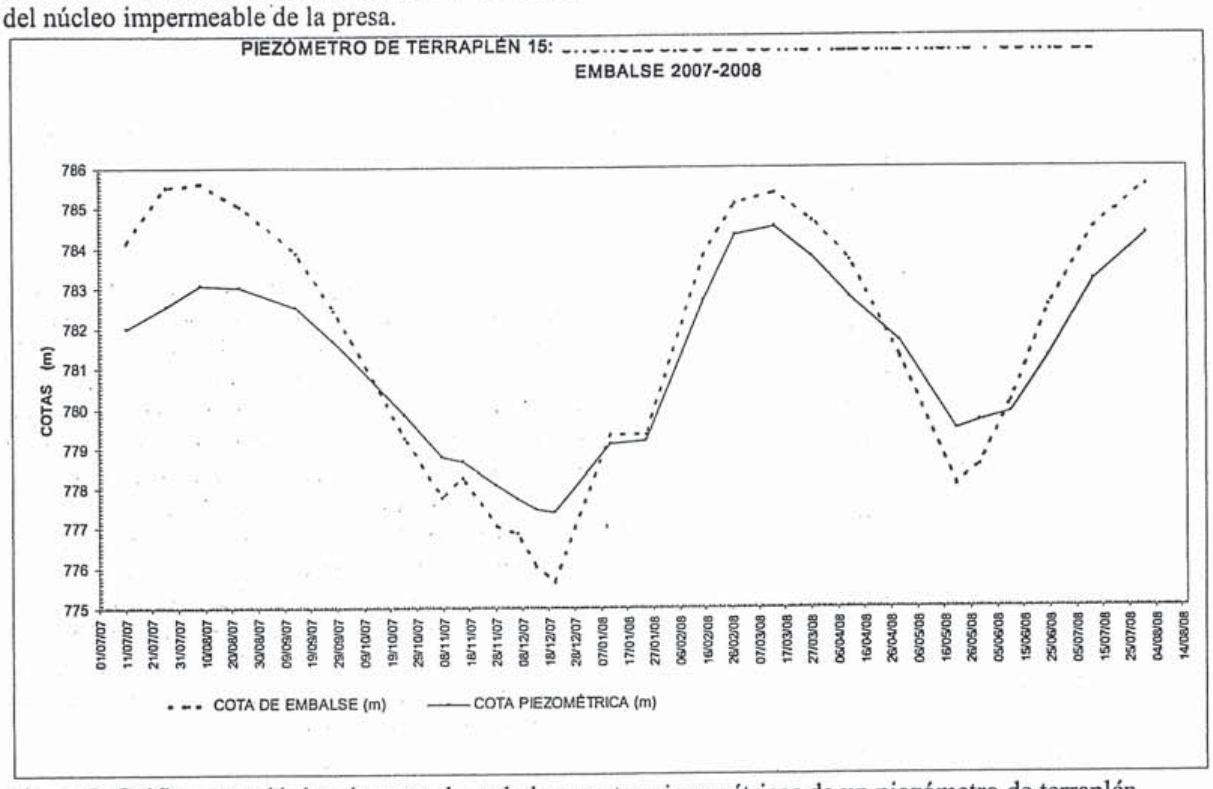


Figura 5. Gráfico cronológico de cotas de embalse y cotas piezométricas de un piezómetro de terraplén.

Es necesario recordar que el núcleo tiene como finalidad deprimir las líneas de flujo dentro del cuerpo de la presa, para que el agua que pasa a través de ella lo haga bajo presiones controladas, Ref [3], ver Fig. 6.

La frecuencia de monitoreo de estos instrumentos recomendada mundialmente por ICOLD es quincenal, de modo que, dos veces al mes personal del Instituto de Hidráulica realiza una visita a la Presa El Carrizal, accede a la torre de auscultación, lee y registra las alturas manométricas del momento,

y procede a la inspección visual del estado de la instrumentación instalada.

Además, anualmente se recircula con el objetivo de reemplazar el agua de los tubos piezométricos con agua desaireada y limpia.

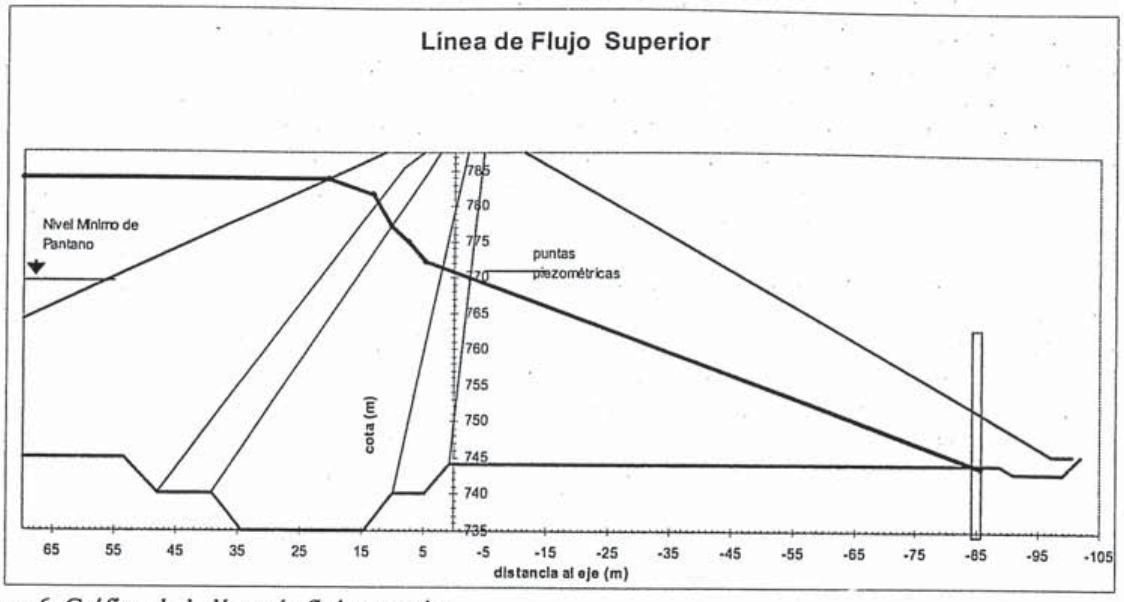


Figura 6. Gráfico de la línea de flujo superior.

3.2 *Piezómetros de Casagrande*

Consisten en una perforación realizada a pie de presa y en cuyo extremo profundo se ubica una relleno poroso, con la finalidad captar el agua que fluye a través del suelo, ver Fig. 7.



Figura 7. Vista de Piezómetro de Casagrande ubicado en el espaldón aguas abajo.

Dentro de la perforación mencionada se instala una tubería doble, la exterior sirve de protección y en la interior el agua asciende hasta la cota que le da la presión de circulación de la misma en el suelo.

La magnitud que se mide es la cota de agua dentro del tubo, a través de una sonda sonora graduada. El monitoreo se realiza una vez al mes, de acuerdo a las recomendaciones internacionales de ICOLD.

Al igual que en los dos casos anteriores los registros obtenidos tienen la función de conocer cómo y a qué presión se está moviendo el agua dentro de la presa. Los valores se registran y grafican en función de la cota embalse para cada uno de los 35 piezómetros de Casagrande que se encuentran actualmente en funcionamiento, ver Fig. 8.

3.3 *Piezómetros hidráulicos de fundación.*

Tienen el mismo principio de funcionamiento que los piezómetros hidráulicos de terraplén, sólo que están ubicados a nivel de fundación de la presa. Las cotas de los tres piezómetros de fundación instalados y en funcionamiento son 725,80msnm para el piezómetro X, 731msnm para el XI y 738.20msnm para el XII. Cabe aclarar que la cota de fundación del núcleo es de 735msnm, mientras que la de los

espaldones es de 745msnm. La variabilidad de la subpresión en los mismos es función de la cota de embalse, sólo que dichos valores están más alejados entre sí, ver Fig. 9. La frecuencia de lectura y registro de datos es quincenal, y la de la recirculación es anual.

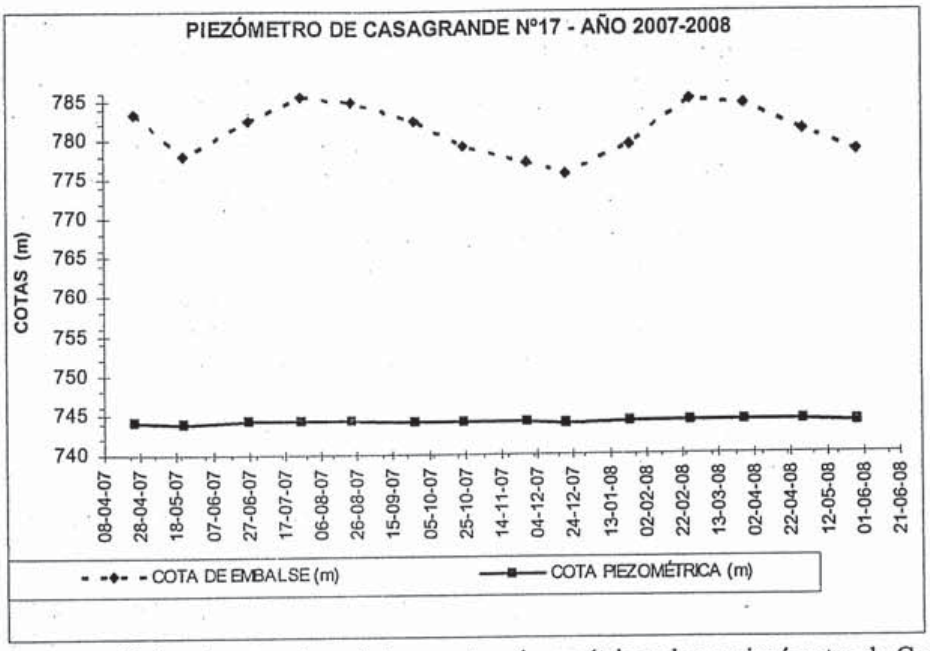


Figura 8. Gráfico cronológico de cotas de embalse y cotas piezométricas de un piezómetro de Casagrande

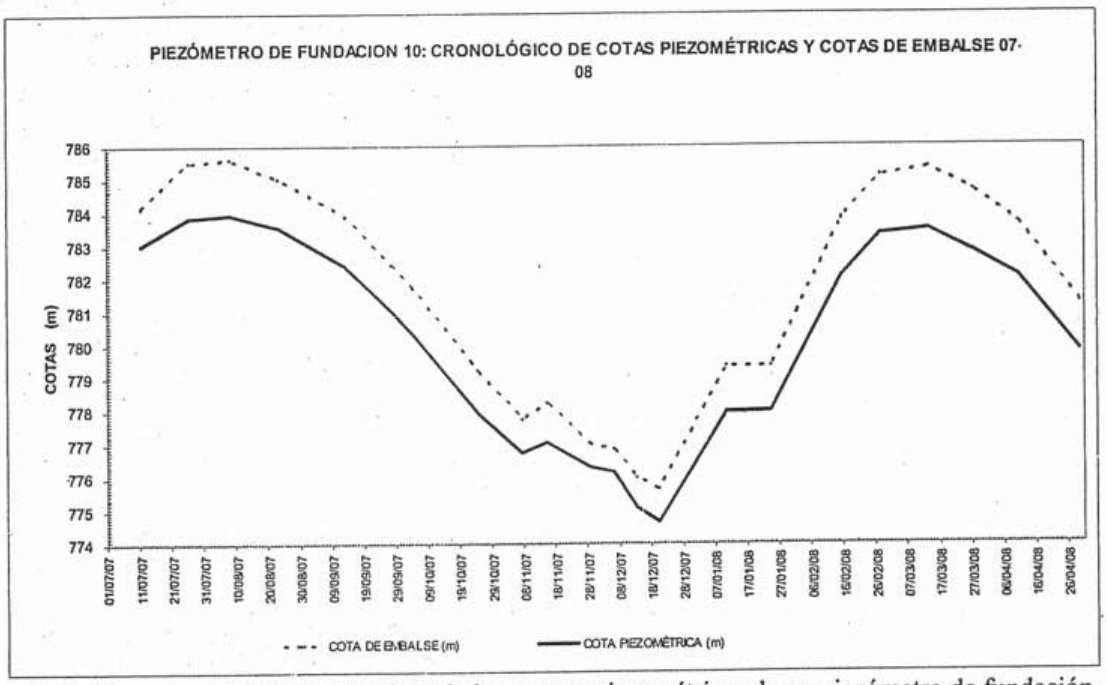


Figura 9. Gráfico cronológico de cotas de embalse y cotas piezométricas de un piezómetro de fundación.

3.4 *Inclinómetro*

Los inclinómetros son aparatos de medición que permiten determinar los movimientos laterales y los asentamientos producidos en la presa.
Un inclinómetro consta de secciones de tubo unidas mediante juntas deslizantes o juntas a tope, estos tramos siguen las deformaciones de la presa, tanto la inclinación como los asentamientos se miden por medio de sondas o torpedos que se introducen en el interior de la tubería y se controlan cada 5m aproximadamente.
Específicamente, en el núcleo de la Presa El Carrizal se ha instalado un inclinómetro el que se monitorea una vez al año de acuerdo a las recomendaciones internacionales de ICOLD.
Cabe destacar que el núcleo impermeable de la presa se encuentra inclinado respecto de la vertical aproximadamente 15°, con la finalidad de reducir el camino de las líneas de flujo, ver Fig. 6. Y con los registros del inclinómetro se controlan las variaciones de inclinación que experimenta la presa como consecuencia del empuje del agua del embalse.

3.5 *Asentímetros.*

Los asentímetros miden movimientos verticales de la presa. Consisten de celdas de hormigón ubicadas en la estructura a monitorear y conectadas, a través de tuberías de plástico, a la torre de auscultación en la cual se encuentran los paneles graduados de medición correspondientes, ver Fig. 10. Una segunda tubería de drenaje permite abastecer de agua el flujo desde la celda, mientras que una tercera tubería de aire mantiene el interior de la celda a presión atmosférica, Ref [4].

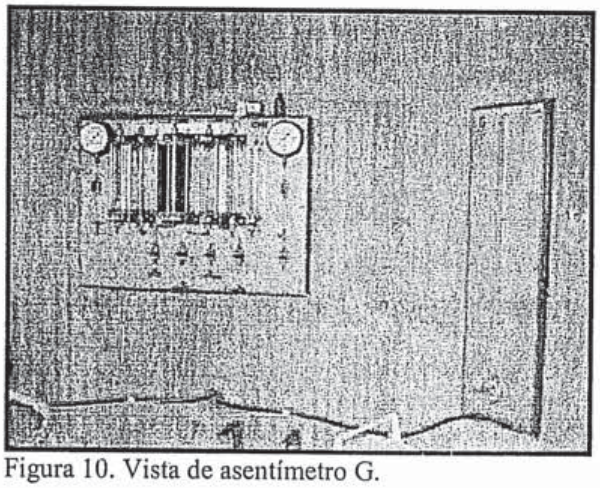


Figura 10. Vista de asentímetro G.

La celda de hormigón se mueve junto con la presa, o sea que cuando hay asentamientos verticales en la presa, esta celda cambia de posición, y el asentímetro registra dicho cambio, que también está referido a la cota de embalse.
Antes de tomar la lectura se remueve el agua a través de aire comprimido que se envía en la tubería de aire hasta la celda. El tubo de agua se rellena luego con agua desaireada, en cantidad suficiente, para remover cualquier burbuja de aire que se pueda formar.
Al igual que el inclinómetro estos instrumentos se monitorean una vez al año, de acuerdo a las recomendaciones internacionales de ICOLD. Y el mantenimiento de los mismos se realiza a través de la recirculación del agua en la tubería, que debe hacerse previo a la lectura.

4 ELABORACIÓN DE LOS INFORMES MENSUALES CORRESPONDIENTES

Realizados los monitoreos quincenal y mensual, se elaboran planillas de registro de datos y gráficos de variaciones de cotas piezométricas, que junto con el informe de la inspección y control de las filtraciones existentes, ver Fig. 11, constituyen el informe mensual que se eleva a la Dirección de Hidráulica del Gobierno de la Provincia de Mendoza.
Dicho informe mensual constituye una herramienta de decisión en el mantenimiento de la política de operación del embalse o en el cambio de las pautas de embalse y desembalse, con la finalidad de que la seguridad de la presa sea la preocupación principal de las instituciones involucradas.



Figura 11. Filtraciones monitoreadas.

5 CONCLUSIONES GENERALES

El Embalse El Carrizal se encuentra bajo la órbita de tres autoridades: el Departamento General de Irrigación en cuanto a la operación, manejo y control del agua para riego, la Dirección de Hidráulica del Gobierno de la Provincia de Mendoza en cuanto a la seguridad de la presa y obras complementarias; y por último, la Dirección de Recursos Naturales y Renovables del Gobierno de la Provincia de Mendoza en cuanto al control del lago y perilago de la Presa.

Y la coordinación entre las mismas. para una gestión integrada de dicho aprovechamiento, debe ser sumamente estricta, de modo que los resultados de la auscultación, como un elemento técnico, permitan tomar decisiones con fundamento en beneficio de la conservación de la seguridad de la presa.

Si se detectan valores anormales en la instrumentación monitoreada se da aviso inmediato a la Dirección de Hidráulica y se intensifica la frecuencia del mismo, para detectar el origen de dicha anormalidad.

Existen épocas del año en las cuales la operación del embalse se supedita a la oferta y demanda hídrica de los derrames del Río Tunuyán, y en las cuales la auscultación cumple su papel de variable de control de la operación del mismo.

REFERENCIAS

[1] G. Píriz Mira, J. García de Prado; L. Rodríguez Cid, Tipología de Presas: Métodos de Auscultación, Centro Universitario de Mérida; Universidad de Extremadura http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=170, 2002.

[2] C. Bartholomew, B. Murray y D. Goins, Embankment Dam Instrumentation Manual, Bureau of Reclamation, 1987.

[3] E. Vallarino, Tratado Básico de Presas, Colegio de Ingenieros en Caminos, Canales y Puertos, 4° Edición, Tomo I, 1998.

[4] Soil Instruments Limited, Users Manual of Hydraulics Piezomoeter, Hydraulic Standpipe, Hydraulic overflow settlement cell, England, 1991.

Influencia de la ley de endurecimiento en la estricción del ensayo de tracción en metales con grandes deformaciones

C. Careglio, A. Mirasso & C. Garcia Garino

ccareglio@uncu.edu.ar & aemirasso@uncu.edu.ar & cgarcia@itu.uncu.edu.ar
Instituto para las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (ITIC) & Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo

RESUMEN: el ensayo de tracción simple es uno de los medios más empleados en la práctica para definir los parámetros que caracterizan el comportamiento constitutivo de los materiales. Cuando las tensiones aumentan por encima de la tensión de fluencia inicial, se produce un corrimiento de la tensión de fluencia quedando de manifiesto la llamada ley de endurecimiento. En este trabajo se simula numéricamente el ensayo de tracción simple de probetas cilindro circulares de aluminio; y se analiza la incidencia de la elección de la ley de endurecimiento de la tensión de fluencia de la ecuación constitutiva de metales tipo J2 en la representación del fenómeno de estricción. En particular, se comparan diferentes parámetros tales como la evolución de la carga aplicada, como así también de los desplazamientos en la zona de la estricción del cuello; tensiones y deformaciones verdaderas; alargamiento de la probeta; las distribuciones de tensiones de von Mises y deformaciones plásticas efectivas; no solo para las leyes de endurecimiento de tipo lineal, sino también para la de tipo potencial. Los resultados numéricos obtenidos se comparan con los experimentales disponibles en la literatura.

Palabras clave: ensayo de tracción simple – plasticidad – leyes de endurecimiento - grandes deformaciones

ABSTRACT: the simple tensile test is one of the most used to define the parameters that characterize the constitutive behaviour of materials. When stresses increase beyond the initial yield stress, there is a shift in yield stress and the so-called hardening law arises. In this work the numerical simulation of the simple tension test of aluminium cylindrical specimens is carried out. The yield stress hardening law incidence on the representation of the necking phenomenon for the J2 metals type constitutive equation is analyzed. In particular, different parameters are compared such as the evolution of the applied load as well as the displacements at the necking section; true stresses and strains; engineering strain of the specimen; von Mises stress and effective plastic strains distributions; not only for the linear type hardening laws, but also for the potential ones. The numerical results obtained are compared with the experimental available in literature.

Key Words: simple tension test – plasticity – hardening laws –finite strains

1 INTRODUCCIÓN

Los análisis estructurales que contemplan procesos de plastificación son cada vez más divulgados a partir de la evolución de los programas de elementos finitos multipropósitos. En dichos análisis la elección de la ecuación constitutiva es necesaria a los efectos de determinar por ejemplo cargas de colapso de la tipología estructural de interés.

En el caso de metales es bien conocido que la ecuación constitutiva de von Mises, también denominada de tipo J2, ajusta muy bien el comportamiento elastoplástico del material.

Para definir los parámetros que caracterizan el comportamiento constitutivo de los materiales se usa el ensayo de tracción simple. Este ensayo tiene para el caso de aluminio un comportamiento inicialmente lineal entre tensiones y deformaciones. Después de la denominada tensión de fluencia presenta un cambio de pendiente bien marcado. Con el aumento de los desplazamientos extremos de la probeta, se desarrolla en la sección central de la misma el llamado fenómeno de estricción con desarrollo de grandes deformaciones.

El ensayo de tracción en metales ha sido abordado desde diferentes puntos de vista como lo son el analítico, experimental y/o numérico. Desde el punto de vista analítico pueden citarse entre otros los trabajos de Bridgman Ref. [1] y Davidenkov y Spiridonova Ref. [2]; mientras que desde el punto de vista experimental para probetas cilíndricas pueden citarse entre otras las contribuciones de Norris et al. Ref. [3] para probetas de acero y Goicolea Ref. [4] para probetas de aluminio.

Desde el punto de vista numérico son destacables entre otros los trabajos de Wilkins Ref. [5], Chen Ref. [6], Needleman Ref. [7], Norris et al. Ref. [3] y Goicolea Ref. [4] cuando el cálculo de diferencias/elementos finitos no lineales aún estaba en sus inicios. Posteriormente, el tema fue abordado por Hallquist Ref. [8], Simó Ref. [9], García Garino Ref. [10], Simó y Armero Ref. [11], Ponthot Ref. [12], Goicolea et al. Ref. [13], García Garino et al. Ref. [14-16], en el contexto de formulaciones modernas de la plasticidad basadas tanto en modelos hipoelásticos como modelos hiperelásticos con descomposición multiplicativa del gradiente de deformaciones.

En particular, para el ensayo de tracción simple de aluminio HE30 (BS1474) Goicolea Ref. [4] ha obtenido resultados experimentales y numéricos con un modelo 2D explícito hipoelástico. Posteriormente, García Garino et al. Ref. [15,16] han reproducido dichos resultados numéricamente con un modelo 2D hiperelástico implícito. Recientemente los autores Ref. [17] han modelado numéricamente en 3D el mismo ensayo con ley de endurecimiento de tipo potencial.

En el ensayo de tracción simple en particular; y en los análisis de cargas de colapso en general, existen zonas donde las tensiones aumentan por encima de la tensión de fluencia inicial, se produce un corrimiento de la denominada tensión de fluencia quedando de manifiesto la llamada ley de endurecimiento. Entre las posibles leyes de endurecimientos se pueden citar las dos leyes clásicas: de tipo lineal y de tipo potencial Ref. [18].

Se presenta a continuación la incidencia de la elección de la ley de endurecimiento de la tensión de fluencia de la ecuación constitutiva de metales tipo J2, en la representación del fenómeno de estricción de probetas de aluminio sometidas a tracción. Luego de la presente introducción se presenta brevemente la ecuación constitutiva para metales y sus leyes de endurecimiento. Seguidamente se resume la formulación de elementos finitos utilizada en la modelación y por último se muestra el modelo del ensayo de tracción, comparándose los resultados numéricos obtenidos con los experimentales presentes en la bibliografía Ref. [4].

2 PLANTEO DEL PROBLEMA

2.1 *Ecuaciones constitutivas tipo J2*

La superficie de fluencia permite generalizar para problemas de plasticidad bidimensional o tridimensional el concepto de límite de fluencia válido para problemas unidimensionales. En el caso particular de metales un criterio de fluencia ampliamente utilizado es el de von Mises, el cual puede ser expresado como Ref. [19]:

$$\sqrt{3J_2} - Y = 0 \qquad (1)$$

siendo J2 el segundo invariante del tensor desviador de tensiones e Y la tensión de fluencia del material que depende de parámetros internos como lo es el endurecimiento.

2.2 *Leyes de endurecimiento consideradas*

Para materiales isótropos como lo son los metales la ley de endurecimiento establece la variación del tamaño de la superficie de fluencia. Uno de los tipos de leyes de endurecimiento empleadas en estos materiales es la de tipo potencia, la cual puede expresarse como:

$$Y\left(\varepsilon^p\right) = A\left(b+\varepsilon^p\right)^n \tag{2}$$

para la cual ε^p es la deformación plástica efectiva mientras que A, b y n son constantes que dependen del material.

En algunas aplicaciones de plasticidad es suficiente utilizar una ley de endurecimiento más sencilla como lo es la de tipo lineal Ref. [20] la cual puede ser expresada como:

$$Y\left(\varepsilon^p\right) = Y_0 + H\varepsilon^p \tag{3}$$

donde Y_0 es la tensión de fluencia inicial y H el parámetro de endurecimiento.

En la Fig. 1 sólo con fines ilustrativos se muestra una curva tensión σ en función de la deformación ε con una ley de endurecimiento de tipo potencia la cual ha sido aproximada con una ley de tipo lineal. En la mencionada figura Y_{0P} indica la tensión de fluencia inicial para la ley de tipo potencia mientras que Y_{0L} es la tensión de fluencia inicial para la ley de tipo lineal.

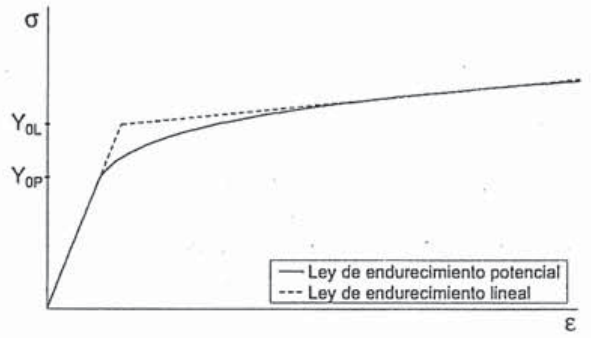


Figura 1. Leyes constitutivas con leyes de endurecimiento potencial y lineal.

2.3 *Formulación de elementos finitos empleada*

Para realizar las simulaciones numéricas del ensayo de tracción simple con las dos leyes de endurecimiento mencionadas en el inciso anterior y efectuar los análisis de la sección 3, los autores han empleado un código de elementos finitos previamente desarrollado, denominado SOGDE3D Ref. [21]. Dicho código se basa en una formulación lagrangiana actualizada Ref. [22]. La cinemática del modelo empleado está basada en la descomposición multiplicativa del tensor gradiente de deformaciones Ref. [23]:

$$\boldsymbol{F} = \boldsymbol{F}^e \cdot \boldsymbol{F}^p \tag{4}$$

La ley constitutiva se formula en el contexto de la termodinámica irreversible de sólidos mediante una función de energía libre ψ la cual puede descomponerse en una parte elástica ψ^e y otra plástica ψ^p:

$$\psi = \psi^e\left(e^e\right) + \psi^p\left(\zeta\right) \tag{5}$$

siendo $\mathbf{e}^e$ la parte elástica del tensor de deformaciones de Almansi **e** y $\boldsymbol{\zeta}$ las variables internas. El modelo constitutivo se basa en la descomposición aditiva de **e** obtenida a partir de la ecuación (4):

$$e = e^e + e^p \tag{6}$$

La relación tensión-deformación es de tipo hiperelástico y el tensor de tensiones de Cauchy puede ser obtenido a partir de la parte elástica de la energía libre como:

$$\sigma = \frac{\partial \psi^e\left(e^e\right)}{\partial e^e} \tag{7}$$

La integración del modelo constitutivo se basa en un algoritmo predictor-corrector, descrito con mayor detalle en Ref. [10]. El predictor elástico se resuelve mediante el tensor elástico de Finger:

$$^{t+\Delta t}\left(b^e\right)\Big|^{(pred.)} = f^{-T}\,{}^t\left(b^e\right)^{-1} f^{-1} \tag{8}$$

donde $f = \partial^{t+\Delta t}x / \partial^t x$ es el tensor gradiente de deformaciones incremental. El tensor elástico de Finger juega el papel de una variable interna en este modelo. El corrector plástico se calcula con un esquema de integración de Euler hacia atrás, resultando:

$$^{t+\Delta t}\left(b^e\right)^{-1} = {}^{t+\Delta t}\left(b^e\right)^{-1}\Big|^{(pred.)} + 2\gamma^{t+\Delta t}\boldsymbol{n} \tag{9}$$

donde la corrección $\gamma^{t+\Delta t}\boldsymbol{n}$ se obtiene mediante el algoritmo de retorno radial Ref. [9,23]. A

continuación se obtiene el tensor de deformaciones elásticas de Almansi:

$$^{t+\Delta t}e^{e} = \frac{1}{2}\left[{}^{t+\Delta t}g - {}^{t+\Delta t}\left(b^{e}\right)^{-1} \right] \quad (10)$$

siendo **g** el tensor de la métrica. Finalmente, las tensiones se obtienen aplicando (7), que en este caso vale:

$$\sigma = \lambda\, tr\left(e^{e}\right)1 + 2\mu e^{e} \quad (11)$$

donde λ y μ son 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. Una descripción más detallada del modelo empleado puede encontrarse en García Garino Ref. [10].

Para los estudios numéricos aquí presentados se encuentra implementado en SOGDE3D Ref. [17,21] las leyes de endurecimiento expresadas por la ecuación (2) y (3).

En las simulaciones numéricas de este trabajo se ha empleado el hexaedro lineal mixto con presión constante (H1/P0) Ref. [24] el cual es la extensión al caso 3D del elemento mixto Q1/P0. Con respecto a las ecuaciones no lineales de equilibrio obtenidas se resuelven mediante un esquema incremental iterativo de tipo Newton Raspón Ref. [22].

3 MODELO DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

En este trabajo se modela una probeta cilindro circular en 3D sometida a tracción. La probeta tiene una longitud de 75 mm y un diámetro de 16,2 mm y se le impone una imperfección geométrica en forma de una variación lineal en el radio con una reducción máxima en el mismo de 1,8518% en la zona central de la probeta. Esta imperfección permite obtener la localización de la estricción durante el ensayo de tracción.

Dada la simetría existente en la probeta para el modelo numérico 3D sólo se ha modelado una octava parte de la misma. La malla uniforme empleada está constituida por 3000 elementos hexaédricos refinándose la misma en la zona donde ocurre la estricción. En la Fig. 2 se muestra la malla de elementos finitos empleada.

Para satisfacer condiciones de simetría se impiden los desplazamientos u_y en el plano xz (en la coordenada y=0 de la Fig. 2) y u_x en el plano yz (en la coordenada x=0 de la Fig. 2).

El material empleado es aluminio HE30 (BS1474) con Módulo de Young E=67000MPa y modulo de Poisson ν=0,3; con el cual Goicolea Ref. [4] ha obtenido resultados experimentales. En la Tabla 1 se presentan las propiedades del aluminio utilizado para el caso de la ley de endurecimiento de tipo potencial; mientras que en la Tabla 2, para la ley de endurecimiento de tipo lineal.

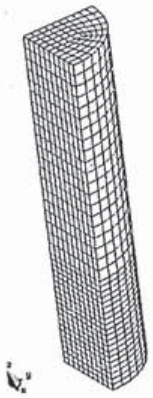


Figura 2. Malla de elementos finitos empleada.

Tabla 1. Propiedades del material para la ley de tipo potencial

Propiedad	Valor
Y_0	50MPa
A	181,7MPa
n	0,159
b	$2{,}989\cdot10^{-4}$

Tabla 2. Propiedades del material para la ley de tipo lineal

Propiedad	Valor
Y_0	100MPa
H	170MPa

Los parámetros de endurecimiento elegidos son tales que ambas leyes tiene una tendencia muy cercana entre sí para el rango de las grandes deformaciones.

Para simular el ensayo de tracción simple se consideró la imposición de desplazamientos uniformes en la sección de la probeta donde es tomada por el cabezal de la máquina de ensayo. Para ello se aplican desplazamientos verticales u_z en la cara superior hasta alcanzar un valor de 10mm en la simulación en la cual se emplea endurecimiento potencial y de 16mm para la correspondiente a endurecimiento lineal.

Se presentan a continuación los resultados obtenidos para distintos estados de equilibrio obtenidos.

3.1 *Tensiones de von Mises*

En la Fig. 3 se muestra la configuración deformada junto con los contornos de tensiones de von Mises de la probeta completa obtenidas con la ley de endurecimiento potencial, mientras que en la Fig. 4 se muestran los resultados para la ley de endurecimiento lineal. En ambas figuras los valores mostrados corresponden a un desplazamiento impuesto u_z=10mm correspondiente a un valor de deformación ingenieril $\Delta l/l_0$=0,2667, siendo l_0 la longitud inicial de la probeta y Δl la variación de la longitud de la misma.

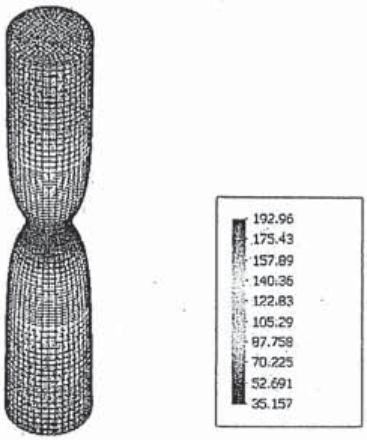


Figura 3. Configuración deformada y contornos de tensiones de von Mises para u_z=10mm. Ley de endurecimiento potencial.

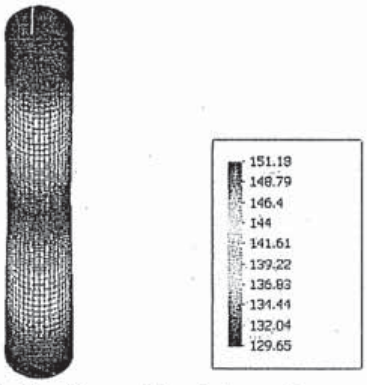


Figura 4. Configuración deformada y contornos de tensiones de von Mises para u_z=10mm. Ley de endurecimiento lineal.

Comparando las dos figuras anteriores se puede observar que las tensiones de von Mises alcanzadas con la ley de endurecimiento potencial son superiores a las alcanzadas con la ley de endurecimiento lineal para un mismo valor de desplazamiento impuesto. Además en la Fig. 3 la estricción se encuentra completamente desarrollada lo cual no ocurre para el caso de endurecimiento lineal de la Fig. 4.

3.2 *Deformaciones plásticas efectivas*

En la Fig. 5 se muestran las deformaciones plásticas efectivas en la configuración deformada obtenidas con la ley de endurecimiento potencial, mientras que en la Fig. 6 se presentan las correspondientes a la ley de endurecimiento lineal.

Se puede observar como en la Fig. 5 en la zona central, donde se produce la estricción, se desarrolla la concentración de deformaciones plásticas efectivas, mientras que en las zonas cercanas a los extremos de aplicación de "carga" el material permanece en régimen elástico.

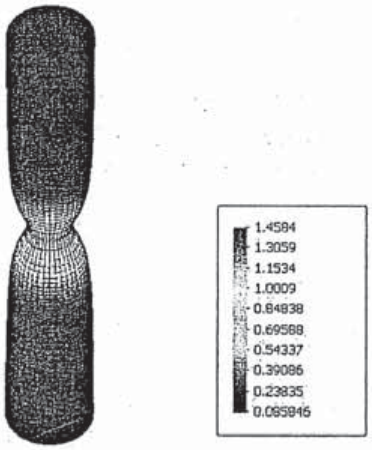


Figura 5. Configuración deformada y contornos de deformación plástica efectiva para u_z=10 mm. Ley de endurecimiento potencial.

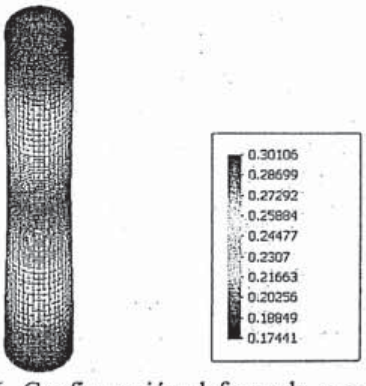


Figura 6. Configuración deformada y contornos de deformación plástica efectiva para u_z=10 mm. Ley de endurecimiento lineal.

Se puede observar que para un mismo valor de desplazamiento impuesto las deformaciones plásticas efectivas son varias veces superiores para el caso de la ley de endurecimiento potencial.

3.3 *Comparación con resultados experimentales*

En la Fig. 7 se muestra la evolución de la estricción en la zona del cuello, donde la relación de diámetro para un determinado valor de carga respecto al diámetro inicial D/D_0 se grafica en función de la deformación ingenieril $\Delta l/l_0$. En la mencionada figura se comparan los resultados obtenidos para el caso de la ley de endurecimiento de tipo potencia Ref. [17] con los obtenidos para el caso de la ley de endurecimiento lineal, observándose que para el primer caso la estricción en la zona del cuello se produce a valores inferiores de desplazamiento impuesto que para el segundo caso.

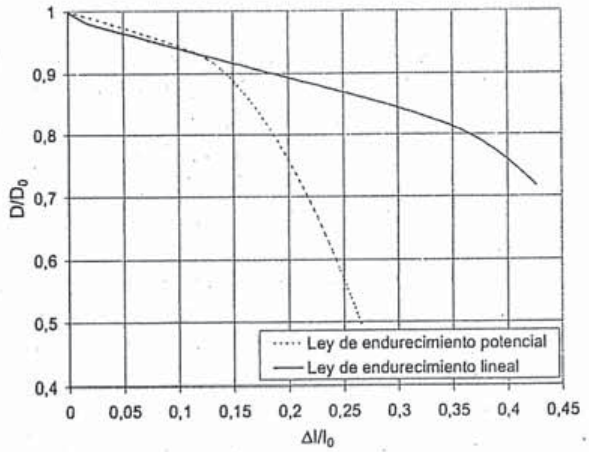


Figura 7. Evolución de la estricción.

La Fig. 8 se obtiene de considerar sólo un octavo de la probeta y de hacer un corte longitudinal en el plano yz para x=0. En la misma se muestran las configuraciones original y deformada. En particular a la izquierda aparece la deformada para la ley de potencia y u_z=10mm lo cual corresponde a un valor de $\Delta l/l_0$=0,2667; en el centro se muestra la deformada para la ley lineal y el mismo desplazamiento impuesto y $\Delta l/l_0$; y por último a la derecha aparece la deformada para la ley lineal y u_z=16mm con un valor de $\Delta l/l_0$=0,4267. Puede observarse que las deformadas obtenidas son diferentes para las dos leyes analizadas, siendo mayor la variación del diámetro para el caso de la ley de potencia.

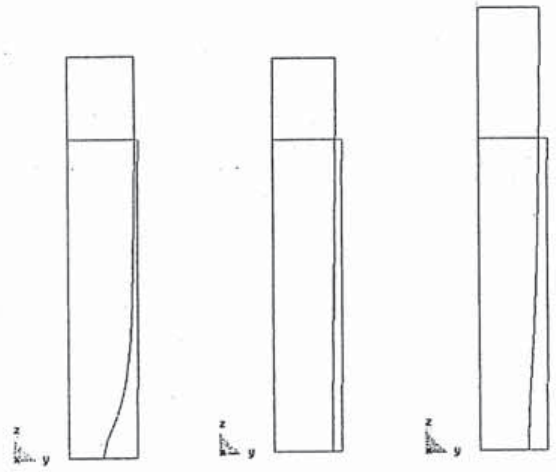


Figura 8. Configuración original y deformada para los dos casos analizados.

En la Fig. 9 se grafica la evolución de la carga axial P en función de la deformación logarítmica en el cuello ε_z siendo esta última ε_z=-2 ln(D/D_0), para las dos leyes de endurecimiento estudiadas junto con los resultados experimentales obtenidos por Goicolea Ref. [4] para probetas sometidas a diferentes tiempos de tratamiento térmico de recocido. Puede observarse que existe una buena correlación de la ley de tipo potencia con los resultados experimentales. Al comparar la ley de endurecimiento lineal y no lineal puede observarse que los valores de carga límite obtenidos son similares entre sí aunque para distintos valores de ε_z. Luego dividiendo cada valor de carga axial P por el área A en la zona del cuello para ese valor de carga, es posible obtener la tensión axial promedio σ_z. En la Fig. 10 se muestra esta tensión en función de la deformación logarítmica en el cuello ε_z para los dos casos analizados frente a los resultados experimentales. Se aprecia que los resultados para la ley de tipo potencia ajustan muy bien a los datos experimentales.

Al comparar en la Fig. 10 los valores de tensión obtenidos de las simulaciones numéricas se observa que los valores de σ_z son cercanos entre sí hasta un valor de aproximadamente ε_z=0,346 para el cual las tensiones son iguales para ambas curvas. Para valores superiores a ε_z=0,346 las curvas comienzan a

separarse haciéndose mas notoria la diferencia a medida que se incrementa el valor de ε_z.

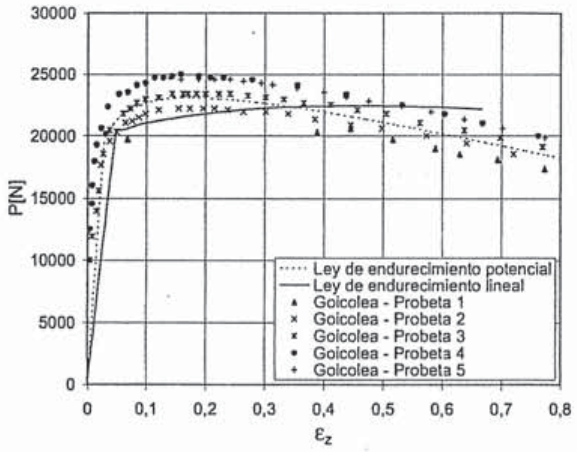


Figura9. Carga axial P en función de la deformación logarítmica en el cuello ε_z.

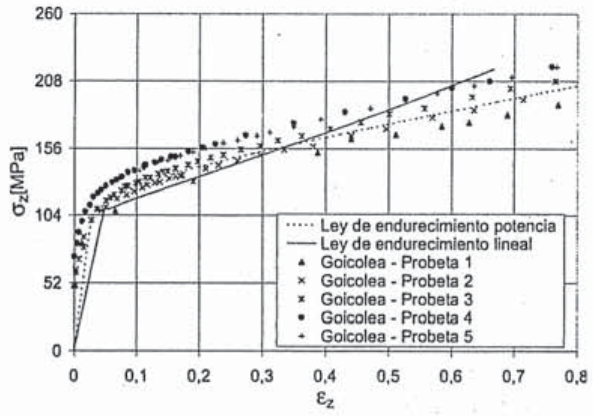


Figura 10. Tensión axial promedio σ_z en función de la deformación logarítmica en el cuello ε_z.

4 CONCLUSIONES

Se ha analizado la influencia de la ley de endurecimiento de tipo potencia y lineal en la estricción del ensayo de tracción en metales con grandes deformaciones para el caso particular de probetas cilíndricas de aluminio HE30 (BS1474). Además se han comparado los resultados obtenidos con datos experimentales presentes en la bibliografía Ref. [4].

Se ha obtenido la evolución de distintos parámetros característicos del ensayo desde el inicio de aplicación de carga, hasta estados de equilibrio en los cuales se pone de manifiesto la estricción de la zona media de la probeta ensayada, con marcadas deformaciones finitas y marcado desarrollo de plasticidad.

Para llevar a cabo las simulaciones numéricas se ha utilizado un código de elementos finitos tridimensional previamente desarrollado por los autores denominado SOGDE3D.

Se ha observado que para un valor de $\Delta l/l_0$=0,2667 los valores máximos de tensiones de von Mises son diferentes para las dos leyes de endurecimiento analizadas, siendo los mismos superiores para la ley de endurecimiento de tipo potencia. Asi mismo, las deformaciones plásticas efectivas obtenidas para un mismo valor de $\Delta l/l_0$=0,2667 son varias veces superiores para el caso de la ley de endurecimiento no lineal.

Con respecto al inicio de la estricción la misma se produce para valores diferentes de deformación ingenieril, siendo la variación de la relación D/D_0 mayor en el caso de la ley de endurecimiento de tipo potencia que en la ley de tipo lineal.

De la comparación de la evolución de la carga aplicada en función de la deformación logarítmica en el cuello surge que los valores de carga límite obtenidos son similares entre sí. Pero al comparar para un mismo valor de $\Delta l/l_0$ las deformadas se observa que estas son diferentes para las dos leyes estudiadas.

La tensión axial promedio σ_z es similar para valores inferiores de deformación logarítmica en el cuello ε_z=0,346, es igual para este valor de deformación y aumenta su diferencia para valores superiores de ε_z.

Se puede observar que la ley de endurecimiento de tipo potencia ajusta muy bien a los resultados experimentales Ref. [4]. Por el contrario la ley de endurecimiento lineal no se ajusta bien a dichos resultados, por lo que se considera que es más adecuada la ley de tipo potencia que la lineal para la simulación de la estricción del ensayo de tracción en metales con grandes deformaciones.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo financiero recibido de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT), mediante el Proyecto PICTR 184. Además, el primer autor agradece la beca doctoral de Conicet.

REFERENCIAS

[1] P. Bridgman, The stress distribution at the neck of a tensile specimen, Transactions of the American Society of Metals, 32, 1944.

[2] N. Davidenkov & N. Spiridonova, Analysis of the state of stress in the neck of a tension test specimen, Proceedings of American Society of Testing Materials, 46, 1946.

[3] D. Norris, B. Moran, J. Scudder & D. Quiñones, A computer simulation of the tension test, Journal of Mechanics, Physics and Solids, 26, 1978.

[4] J. Goicolea, Numerical modelling in large strain plasticity with application to tube collapse analysis, PhD. Thesis, University of London, 1985.

[5] M. Wilkins, Third progress report of light armor program, Technical Report, Lawrence Livermore National Laboratory, University of California, rept. UCRL-50460, 1968.

[6] W. Chen, Necking of a bar, International Journal of Solids and Structures, 7, 1971.

[7] A. Needleman, A numerical study of necking in circular cylindrical bars, Journal of Mechanics, Physics and Solids, 20, 1972.

[8] J. Hallquist, User's Manual for DYNA2D - An explicit two-dimensional hydrodynamic finite element code with interactive rezoning, Lawrence Livermore National Laboratory, University of California, Technical Report UCID-18756, Rev.1, 1982.

[9] J. Simó, A framework for finite strains elastoplasticity based on maximum plastic dissipation and the multiplicative decomposition, Part II: Computational aspects, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 68, 1988b.

[10] C. García Garino, Un modelo numérico para el análisis de sólidos elastoplásticos sometidos a grandes deformaciones, PhD. Thesis, E.T.S. Ingenieros de Caminos. Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, 1993.

[11] J. Simó & F. Armero, Geometrically nonlinear enhanced strain mixed methods and the method of incompatible modes, International Journal for Numerical Methods in Engineering, 110, 1993.

[12] J. Ponthot, Traitment unifie de la mecanique des milieux continus solides en grandes transformations par le methode des elements finis, PhD. Thesis, Universidad de Lieja, Bélgica, 1994.

[13] J. Goicolea, F. Gabaldón & C. García Garino, Interpretación de la estricción en el ensayo de tracción empleando modelos hipoelásticos e hiperelásticos, Métodos Numéricos en Ingeniería, M. Doblare et al. (Editores), SEMNI, 1996.

[14] C. García Garino, J. Goicolea & F. Gabaldón, Simulación numérica del ensayo de tracción simple, Mecánica Computacional, 17, G. Etse y B. Luccioni (Ed.), AMCA, 1996.

[15] C. García Garino, F. Gabaldón, J. Goicolea, A. Mirasso & S. Raichman, Simulación computacional del ensayo de tracción simple con estricción, Informe Técnico, Proyecto PICT 12-03268, FONCyT, ANPCyT, 2004. Disponible en http://filemon.mecanica.upm.es /papers/informe-hyper.pdf

[16] C. García Garino, F. Gabaldón & J. Goicolea, Finite element simulation of simple tension test, Finite Elements in Analysis and Design, 42, 2006.

[17] C. Careglio, A. Mirasso & C. García Garino, Estudio numérico de la estricción en probetas cilíndricas y rectangulares, Mecánica Computacional (en prensa), 27, AMCA, 2008.

[18] L. Malvern, Introduction to the mechanics of a continuous medium, Prentice Hall (Ed.), 1969.

[19] N. Ottosen, The mechanics of constitutive modeling, Elsevier (Ed.), 2005.

[20] X. Oliver Olivella & C. Agelet De Saracibar Bosch, Mecánica de medios continuos para ingenieros, Alfaomega (Ed.), 2002.

[21] C. Careglio, C. García Garino & A. Mirasso, SOGDE 3D: Código de elastoplasticidad con grandes deformaciones 3D, Mecánica Computacional, 24, A. Larrateguy (Ed.), AMCA, 2005.

[22] K. Bathe, Finite element procedures in engineering analysis, Prentice-Hall (Ed.), 1982.

[23] J. Simó, A framework for finite strains elastoplasticity based on maximum plastic dissipation and the multiplicative decomposition, Part I: Continuum formulation, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 66, 1988a.

[24] O. Zienkiewicz & R. Taylor, The finite element method, I y II, McGraw Hill (Ed.), 1991.

Modelado estadístico en la producción de vinos finos

M. R Castro, M. Echegaray, R. A. Rodríguez & S. Udaquiola

mrcastro@unsj.edu.ar, mechega@unsj.edu.ar, rrodri@unsj.edu.ar, estelaudaquiola@unsj.edu.ar
Instituto de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de San Juan

RESUMEN: En toda industria y en especial en la industria vitivinícola es de mucha importancia obtener la relación existente entre la cantidad de materias primas y la cantidad de producto elaborado. En el caso que nos ocupa se presenta el modelo de regresión lineal entre los kilogramos de uva molidos en una bodega testigo de San Juan, Argentina y los litros de vino tinto fino obtenidos. El objetivo es lograr un modelo para realizar predicciones de valores futuros, puntuales y por intervalos de confianza para un nivel determinado de molienda. Se utiliza un software llamado Statgraphics, que es una herramienta poderosa para el procesamiento estadístico de datos. Permite concentrar la atención en el análisis de los resultados, su interpretación y en la elaboración de las conclusiones. Para este caso en particular previo análisis estadístico de los datos, se adoptó un modelo de regresión lineal, se realizó la validación del mismo con un análisis de varianza, ya que los datos provenían de poblaciones normales con igual varianza, se expuso el modelo que ajusta los datos y se utilizó para predecir valores futuros. Se observó que el modelo predice satisfactoriamente las cantidades de producción en función de los kg de uva molidos.

Palabras clave: industria vitivinícola - modelo probabilística - regresión lineal.

ABSTRACT: In all industry and, especially in wine production, it is very important to obtain the relation between the raw materials and elaborated product quantity. In this case, a lineal regression model is developed in order to relate the grape kilograms milled in a winery and the liters of red fine wine. This winery is placed in San Juan, Argentina. The objective is to achieve a model to carry out predictions of futures production quantities, punctual and for confidence intervals for a certain level of milled grape quantities. A called software Statgraphics is used. It is a powerful tool for the statistical processing of data. This software allows concentrating the attention on the analysis results; their interpretation and also, it enables to obtain inferences about the process or population. Previous statistical analysis, a lineal regression model was adopted in this case, because the data derive of normal populations with same variance. The adopted model was presented and, it was used to predict future production values. The model predicts the production quantities in function of the milled grape quantities satisfactorily. It was observed experimentally that the pattern predicts the production ground kg of grape.

Key Words: wine industry - probabilistic model - lineal regression

1 INTRODUCCIÓN

En la provincia de San Juan, Argentina la elaboración del vino es una de las actividades económicas más importantes. La producción industrial de esta bebida comienza con la cosecha de la uva, comúnmente llamada vendimia.

Posteriormente, la misma es transportada a la bodega en camiones, procediendo inmediatamente al pesado, toma de muestra y descarga en las tolvas de recepción o lagares.

De las tolvas de recepción pasa al despalillado o descobajado que consiste en separar los granos de uva del racimo, para obtener de esta forma vinos exentos de sabores ásperos y duros, que serán así aptos para envejecimiento.

El paso siguiente es el estrujado con lo cual se rompe el grano de uva para que libere parte del jugo contenido en la uva, siendo de leve intensidad para conservar la estructura de la pulpa en lo posible.

La pasta resultante, es llevada a los depósitos de fermentación mediante la bomba de vendimia. Siendo por otra parte, los raspones conducidos por el aspirador neumático de escobajo hasta el contenedor de escobajos, que generalmente se encuentra en el exterior de la nave. A la salida de la bomba de vendimia se realiza una corrección con la adición de anhídrido sulfuroso, a la masa que se va a fermentar mediante un sulfitómetro automático.

La bomba de vendimia dirige la pasta descobajada y estrujada a unos depósitos con control de temperatura para que fermente y se convierta en vino, a esta operación se la llama encubado.

Estos depósitos son vinificadores, existen de diferentes características, por ejemplo vinificadores autovaciantes de acero inoxidable, piletas de cemento armado revestidas con resina epoxídicas, revestidas por proyección en caliente con sustancias plásticas, etc. En estos depósitos se producirá la fermentación alcohólica y maceración a temperatura controlada, por una determinada cantidad de días, estas variables la fija el enólogo a cargo.

Durante este periodo se efectuarán los pertinentes remontados y bazuqueos, que permiten un lavado del sombrero de orujo, favoreciendo la extracción de los compuestos fenólicos y mayor uniformidad de temperatura.

El descube consiste en sacar el vino del depósito donde se ha producido la fermentación alcohólica y trasladarlo a otros depósitos donde se produce una segunda fermentación.

Los orujos frescos fermentados obtenidos se prensan y el vino prensa obtenido se separa y es llevado a otros depósitos, mediante una prensa neumática que se caracteriza por ejercer bajas presiones.

El vino que proviene del descube se almacena en depósitos donde se produce una segunda fermentación llamada, fermentación maloláctica propia de la vinificación en tinto.

Con la filtración se separa la fase sólida insoluble de la fase líquida, sin modificar las características del vino. Durante la elaboración del vino se van a realizar tres filtraciones distintas, con la misma finalidad de limpieza, pero con diferencia en el desarrollo, características y maquinaria empleada. Las dos primeras, filtración devastadora y filtración abrillantadora, se lleva a cabo con un solo filtro de tierras, mientras que la tercera o filtración amicróbica, se realizará con filtro de membrana.

La utilización de frío en la bodega se centra en dos puntos principales: control de la temperatura de fermentación y estabilización del vino por ultra refrigeración.

El proceso de embotellado constará de varias etapas: despaletizado de las botellas, lavado, llenado, taponado, capsulado, etiquetado, encartonado y embalado de las botellas en cajas, las cuales se organizan en pallets y se almacenan hasta su expedición.

Los vinos jóvenes son comercializados una vez embotellados, sin embargo los vinos de crianza y reserva, reposan en barricas de madera antes de ser embotellados y etiquetados [1].

Uno de los desafíos que se presentan en la producción en general, es conocer la relación existente entre la cantidad de materia prima utilizada y la cantidad de producto obtenido. Para ello se deben utilizar diversas técnicas estadísticas tales como el análisis de regresión que nos permitirá explorar la naturaleza de esta relación y obtener la misma.

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto es que se planteó como objetivo de este trabajo el modelado e investigación de la relación existente entre dos variables muy importantes que se presentan en el proceso de vinificación: los kilogramos de uva molida versus litros obtenidos de vino tinto fino. Para ello, se ha utilizado el análisis de regresión que es un procedimiento mediante el cual se trata de determinar si existe o no relación de dependencia entre dos o más variable. Es decir, conociendo los valores de una variable independiente, se trata de estimar los valores, de una o más variables dependientes. Después, se utiliza este modelo para predecir el rendimiento del proceso para un nivel determinado de molienda.

2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS

Para llevar a cabo este trabajo, se cuenta con los datos reales de kilogramos de uva molida y litros de vino fino obtenidos en una bodega de nuestro medio, en el periodo de tiempo de 1994 a 2002.
Los datos proporcionados por la bodega se presentan en la Tabla 1. Los mismos fueron obtenidos siguiendo el proceso productivo descrito con anterioridad. Para el procesamiento de los datos se optó por un software llamado Statgraphics [2], que es una herramienta utilizada para el procesamiento estadístico de datos ya que permite el análisis de los resultados, su interpretación y la elaboración de conclusiones.

Tabla 1: Datos proporcionados por la bodega testigo

Año	Cantidad de uva molida (kg)	Cantidad de vino obtenido (l)
1994	4.811.07	3.918.00
1995	4.729.480	3.761.595
1996	4.446.230	3.510.000
1997	5.487.166	4.320.000
1998	6.529.110	5.140.220
1999	6.762.010	5.370.000
2000	11.699.650	8.947.060
2001	11.730.510	8.956.650
2002	8.754.460	6.560.133

Una estadística descriptiva de los datos kg de uva molidos versus litros de vino obtenidos, arrojó los resultados mostrados en la Tabla 2.

Tabla 2: Datos descriptivos de las cantidades de materia prima utilizada y producto obtenido.

	Cantidad de uva molida (kg)	Cant. de vino obt. (l)
Media	7,216 E6	5,609 E6
Varianza	8,269 E12	4,484 E12
Desviación estándar	2,876 E6	2,117 E6
Coef. Skewness	1,072	1,097
Coef. Kurtosis	-0,486	-0,413

Se puede verificar la suposición de normalidad de las poblaciones comparadas, controlando que los coeficientes de forma y apuntamiento se encuentren dentro del rango de valores aceptables [-2,2]. Del análisis de los coeficientes estandarizados de Skewness y Kurtosis, surge que se puede considerar que los datos provienen de poblaciones normales [3].

2.1 *Descripción gráfica de los datos numéricos*

En la Fig. 1 se presentan los diagramas de cajas y bigotes, el cual da una idea visual de la variabilidad de los datos y que no existe ningún dato sospechoso que se deba eliminar, para evitar la distorsión de las soluciones obtenidas.
La base de la caja del diagrama se extiende desde el primer cuartil, hasta el tercer cuartil. La caja representa la mitad central de los datos. La barra vertical que la fracciona en dos partes, corresponde a la mediana, y el signo "+" señala el promedio de los datos [4].
Los bigotes abarcan los datos que se apartan como máximo 1.5 veces la diferencia entre el tercer cuartil y el primero. Si algún dato supera estos límites, se considera sospechoso y se debería estudiar su procedencia. En este caso en particular como la caja correspondiente a kilogramos molidos es más ancha que la correspondiente a litros obtenidos indica que los datos de kilogramos molidos están más dispersos que los de litros obtenidos, y como los bigotes del primer diagrama son más largos indica que tienen mayor variabilidad.
Además se puede observar en ambos gráfico que como la media está próxima a la mediana y ambas partes de la caja son aproximadamente iguales, los datos presentan simetría con respecto a un valor central.

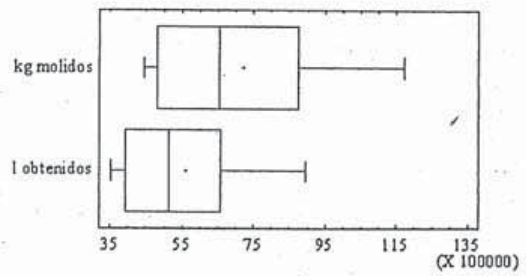


Figura 1. Diagrama de Caja y Bigotes

2.2 *Coeficiente de correlación muestral*

Se comienza el análisis de los datos, calculando el coeficiente de correlación muestral, comprendido entre [-1,1] y mide la fuerza de la asociación lineal entre las variables. La Tabla 3, muestra las correlaciones entre las variables. En primer lugar, se puede observar el coeficiente de correlación muestral. Entre paréntesis se indica la cantidad de datos analizados. Debajo de cada coeficiente figura el valor P de la prueba, que indica si la relación encontrada es estadísticamente significativa. Valores P por debajo de 0.05 indican correlación significativa.

Tabla 3: Correlaciones entre las variables

	Cantidad de uva molida (kg)	Cantidad de vino obtenido (l)
Cantidad de uva molida (kg)		0,999 (9) 0,000
Cantidad de vino obtenido (l)	0,999 (9) 0,000	

Con los datos originales se realiza un diagrama de dispersión (Fig. 2), el examen de este diagrama indica que existe una marcada relación entre litros obtenidos y kilogramos molidos, y parece ser razonable la consideración tentativa del modelo lineal.

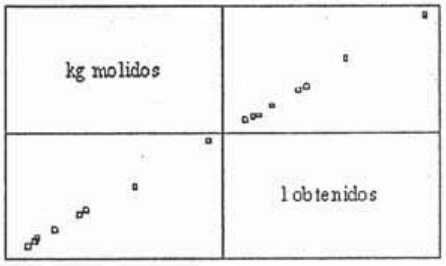


Figura 2. Matriz de dispersión

2.3 *Elección del modelo*

Se ajusta en primer término al modelo lineal:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon \qquad (1)$$

La salida de Statgraphics ofrece el siguiente modelo ajustado:

$$\text{cant. de vino obt. (l)} = 299440.0 + 0.736 \cdot \text{cant. de uva molida (kg)} \qquad (2)$$

Sin embargo, a pesar de que el modelo en general es adecuado ya que el valor P de la prueba es 0 (Tabla 5), y por lo tanto es menor que el nivel de significación 0.05, el coeficiente de correlación es 0.999, muy cercano a 1 y las pruebas de hipótesis:

$H_o: \beta_o=0$ $\qquad$ $H_o: \beta_1=0$

$H_1: \beta_o\neq0$ $\qquad$ $H_1: \beta_1\neq0$ $\qquad$ (3)

Se rechazan (Tabla 4), es decir a nivel poblacional la ordenada al origen y la pendiente de la recta de regresión son distintas de cero, el error estándar para la ordenada al origen no es del mismo orden que el error estándar de la pendiente, por lo tanto se decide ajustar a un modelo sin constante [5].

Tabla 4: Análisis de regresión para el modelo lineal

Parámetro	Est.	Error estandar	Estad. T	Valor P
Ord. al origen	299440,0	84602,5	3,539	0,009
Pendiente	0,736	0,011	67,045	0,000

Tabla 5: Análisis de varianza del modelo lineal.

Fuente de var.	Modelo	Residuos	Totales
Suma de cuadrados	3,581 E13	5,577 E10	3,587 E13
Gr. de libertad	1	7	8
Media de cuadrados	3,581E13	7,967 E9	
Razón F	4495,10		
Valor P	0,000		

El modelo sin constante tiene la forma:

$$y = \beta x + \varepsilon \quad (4)$$

La salida computacional muestra el modelo ajustado siguiente:

$$\text{cant. de vino obt. (l)} = 0.772 \cdot \text{cant. de uva molida (kg)} \quad (5)$$

El coeficiente de correlación muestral obtenido es igual a 0.999.
El análisis de varianza para el ajuste al modelo sin constante, arroja un valor P igual a cero, por lo cual se concluye que la regresión es significativa (Tabla 7).
La Tabla 6 muestra la solución obtenida, las estadísticas T y los valores P para la prueba acerca la significación del coeficiente de regresión β. Se observa que el valor P correspondiente a la prueba para $\beta \neq 0$ es igual a cero, lo que conduce al rechazo de la hipótesis nula H_0: $\beta=0$ con un nivel de significación 0.05.
Un intervalo de confianza al 95% para el coeficiente estimado β, con un error máximo de estimación 0,006, es el que figura a continuación [0,758, 0,786].

Tabla 6: Análisis de regresión para el modelo lineal sin constante.

Parámetro	Est.	Error estándar	Estad. T	Valor P
Cant. de uva molida (kg)	0,772	0,006	128,052	0,000

Tabla 7: Análisis de varianza del modelo lineal sin constante.

Fuente de variación	Modelo	Residuos	Totales
Suma de cuadrados	3,189 E14	1,556 E11	3,190 E14
Grados de libertad	1	8	9
Media de cuadrados	3,189 E14	1,945 E10	
Razón F	16397,27		
Valor P	0,000		

3 DISCUSIÓN

Comparando los parámetros estadísticos obtenidos en el modelo representado por la ecuación (2) y el segundo modelo ensayado, representado por la ecuación (5), se concluye que el modelo estimado:

$$\text{l obtenidos} = 0,772 \cdot \text{kg molidos} \quad (6)$$

Representa apropiadamente los datos y la Fig. 3 muestra la concordancia entre los valores observados y predichos.
Puesto que el modelo encontrado representa adecuadamente los datos, se puede usar para realizar predicciones de valores futuros, puntuales y por intervalos de confianza.

4 VALIDACIÓN DEL MODELO ADOPTADO

Con el objetivo de validar el modelo adoptado, el mismo se utilizó para predecir los litros de vino obtenidos en el año 2005 en función de los kilogramos de uva molidos.
Para 12.000.000 kg de uva molida, según el modelo lineal sin constante se obtendrian 9.265.692 l de vino. El intervalo de confianza a un 95% es [9.123.012, 9.408.372]. Comparando este valor estimado con el valor real 9.230.000 l de vino, este se encuentra contenido en el mismo, lo que demuestra que el modelo al cual se arriba, ajusta adecuadamente los datos.
En la Fig. 4, se puede observar un gráfico de probabilidad normal para los residuos. Puesto que la mayoría de los residuos están cercanos a la recta, se puede considerar que provienen de una población normal. Una estadística descriptiva para los residuos proporciona un promedio muestral próximo a 37036,0 y desviación estándar igual a 133809,0, los coeficientes de Sknewness y Kurtosis son -0,903952, -0,395964 respectivamente y se encuentran en el intervalo [-2,2].

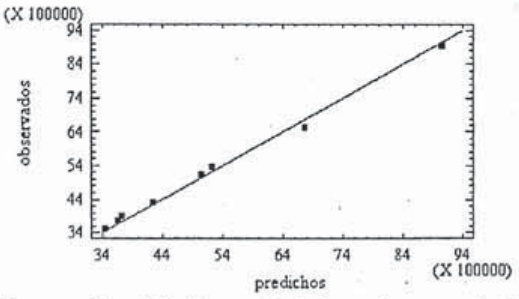


Figura 3: Modelo ajustado sin constante

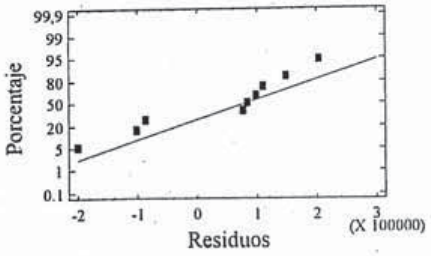


Figura 4: Gráfico de probabilidad normal para los residuos

5 CONCLUSIONES

El modelo lineal logrado, aunque sencillo permite observar la dependencia de los litros obtenidos en un proceso de vinificación respecto a los kilogramos de uva que ingresan a una bodega, realizando total abstracción del resto de las variables que en un proceso de esta envergadura se presentan. El mismo es útil para representar los datos y es una alternativa válida para modelar matemáticamente este tipo de procesos, en los cuales todavía el arte de la elaboración del vino y el criterio del enólogo son primordiales a la hora de la obtención del producto [6] [7]. El modelo que en este trabajo usó para predecir los litros de vino obtenidos en el año 2005 en función de los kilogramos de uva molidos. Se observó que el modelo es aplicable en un intervalo de confianza del 95% a bodegas de gran envergadura para la producción de vinos tintos finos, similares a la estudiada en este trabajo.

REFERENCIAS

[1] Oreglia, F, Enología Teórico-Práctica. Instituto Salesiano de Artes Gráficas. Buenos Aires. 1978.

[2] Statgraphics Plus 4.1, Statistical Graphics Corp, 1994 – 1999.

[3] Box, G., Stuart Hunter, W. Estadística para Investigadores. Introducción al diseño de experimentos y análisis de datos. Ed Reverté S.A. México. 2005

[4] Montgomery D., Peck, Vining. Introducción al Análisis de Regresión Lineal. Ed. CECSA. México. 2004.

[5] Pérez López, César. Métodos Estadísticos con Statgraphics para Windows. Ed. RA-MA. 1998.

[6] Flanzy. C. Enología: Fundamentos Científicos y Tecnológicos. AMV Ediciones. 2003

[7] Storm David, Winery Utilities: Planning, Design and Operation. Ed. Kluwer Academia / Plenum Publisher. 2001.

Modelación de una hipótesis accidental con ruptura de la vasija del reactor de la Central Nuclear Atucha I para el posterior estudio del comportamiento de su contención frente al uso de sistemas activos de control de la misma

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 generar un modelo accidental grave con ruptura de la vasija que permita determinar el comportamiento de la contención de la planta y compararlo en un futuro con el mismo usando sistemas activos de control de la contención que permitan disminuir los riesgos de ruptura. 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 – contención – accidente

ABSTRACT: The object of the present work to generate a serious accidental model with rupture of the vessel that allows to determine the behavior of the contention of the plant and to compare it in a future with the same behavior using active systems of control of the contention that allow to diminish the rupture risks. This model 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 for the considered calculation hypotheses.

Key words: Atucha - MELCOR - nuclear - contention - accident

1 INTRODUCCIÓN

La CNAI es una central nuclear cuyo combustible es uranio y su función es la producción de energía eléctrica. Está funcionando al noroeste de la provincia de Buenos Aires sobre el margen derecho del río Paraná.

Este complejo está compuesto por varios edificios.

Uno de estos es edificio del reactor en que se encuentran todos los sistemas principales, envueltos en una capa de seguridad doble. Estas envolventes constituyen las sistemas pasivos de la contención del edificio del reactor; la 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, hay una cuota de fuga del 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 sometiéndola a control dejándola salir por la chimenea.

El edificio del reactor se divide en los locales para el servicio y en los locales para la instalación.

El hipotético accidente se inicia con la detención de las bombas del sistema secundario que es el que se encarga de la alimentación de agua a baja presión en los intercambiadores de calor y se genera en el mismo el vapor que alimenta las turbinas generadoras de electricidad, este accidente se agrava con falla total del sistema TJ de baja presión; se postula la falla del Segundo Sumidero de Calor; y la ruptura de una de las válvulas de alivio al tanque del presurizador. Se usó de base un modelo desarrollado anteriormente en código Melcor 1.8.5 Ref. [1].

El modelo está conformado por el reactor y su sistema primario y moderador, el sistema secundario y la contención.

Esta situación accidental va más allá de su base de diseño Ref. [2].

2 PARTES DEL MODELO

El modelo lo podemos dividir en tres partes:

a-Reactor, sistema primario de refrigeración, sistema de control de volumen y sistema de refrigeración de agua del moderador. El sistema primario cuenta con dos ramas o lazos cada uno con su respectiva Bomba de circulación que alimenta el Reactor con agua pesada extrayendo calor de su núcleo y llevando esta agua caliente a alta presión a los intercambiadores de calor de los Generadores de vapor; luego el agua ya enfriada llega nuevamente a la Bomba de circulación. En una de estas ramas se encuentra el sistema de control de volumen; una cañería une al Presurizador de este mediante un flujo con la rama caliente, o sea el tramo de circuito primario que une el reactor a los generadoras de vapor, este Presurizador que es un tanque que contiene un calentador para generar vapor en su interior aumentando de esta manera la presión en el circuito primario y aspersores que ayudan a disminuir la presión del Presurizador y por lo tanto del circuito primario. El moderador cuenta con un sistema de dos lazos independientes con intercambiadores de calor y una bomba cada uno de ellos.

b-Sistema secundario (sistema de alimentación de agua a los generadores de vapor y sistema de vapor vivo). El sistema secundario cuenta con dos lazos que alimentan los Generadores de vapor con agua la cual al entrar en contacto con los intercambiadores de calor del mismo se vaporiza y alimenta a la salida del vapor vivo que mueve las turbinas posibilitando la generación de energía eléctrica.

c-Contención. El modelo de la contención cuenta con quince volúmenes. Trece de estos volúmenes están contenidos dentro del cilindro biológico. Uno está ubicado en el interior de la esfera de acero y otro 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. [3].

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

A los 0.0 segundos consideramos la parada de las bombas del secundario disminuyendo el caudal de alimentación del secundario de los Generadores de vapor. Ver Fig. 1. Inmediatamente, la señal NZ50. Se produce la caída de las barras de control del reactor y la señal NZ61 Ver Fig. 2. Al apagarse el reactor disminuye la presión y comienzan a actuar los calentadores del Presurizador. Ver Fig. 3.

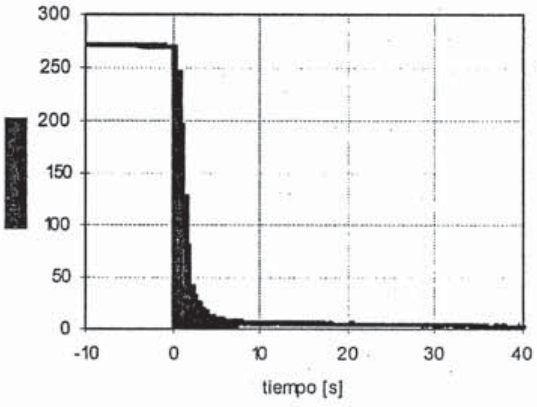


Figura 1. Caudal de alimentación de los Generadores de vapor.

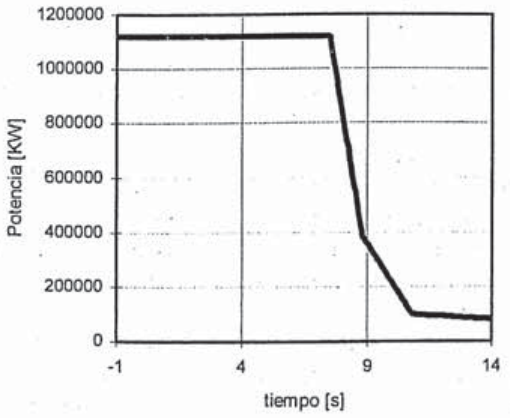


Figura 2. Potencia de decaimiento en los primeros segundos.

Debido a la despresurización del sistema primario, comienzan a funcionar todos los calefactores del presurizador. El nivel de líquido en el presurizador ha disminuido dos metros en los primeros segundos. Ver Fig. 4. Luego de los primeros 100 segundos comienza a subir nuevamente ayudado por el encendido de los calefactores del Presurizador para evitar la disminución de la presión del circuito primario. Se van alternando los calentadores y los aspersores hasta los 6600 segundos. Ver Fig 5., Fig. 6. y Fig.7.

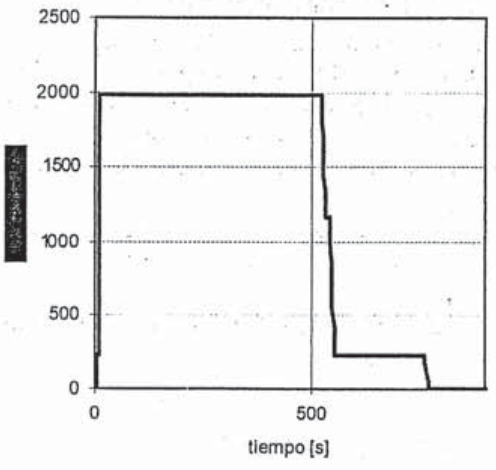


Figura 3. Potencia entregada por los calentadores del Presurizador.

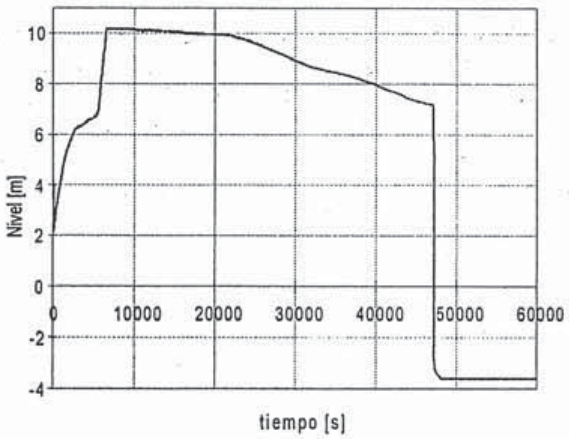


Figura 4. Nivel absoluto de agua liquida del Presurizador.

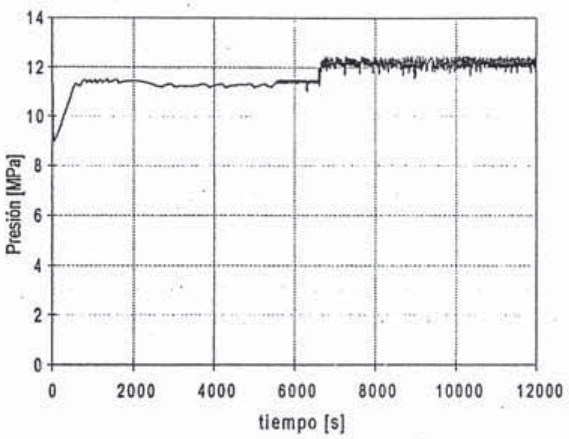


Figura 5. Presión en el Presurizador.

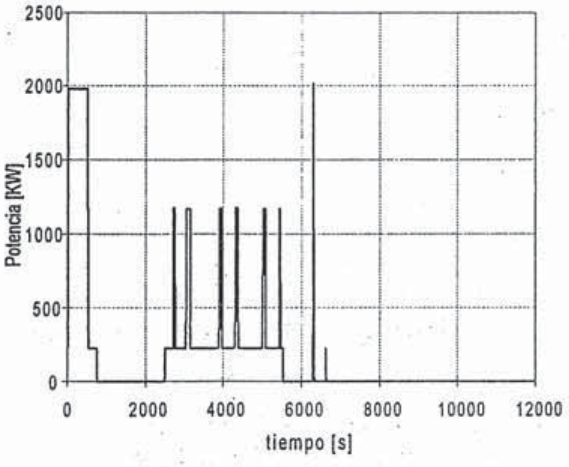


Figura 6. Potencia entregada por los calentadores del Presurizador.

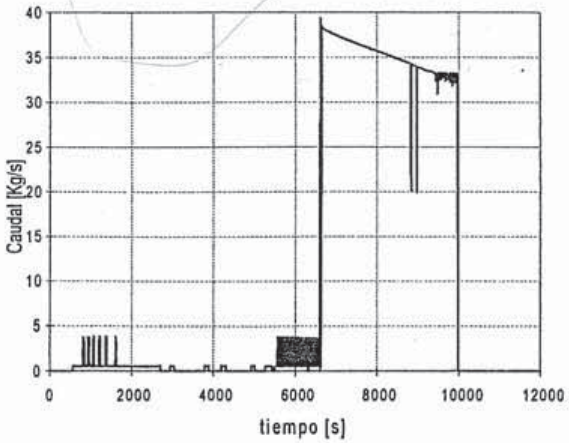


Figura 7. Caudal de liquido de los aspersores del Presurizador.

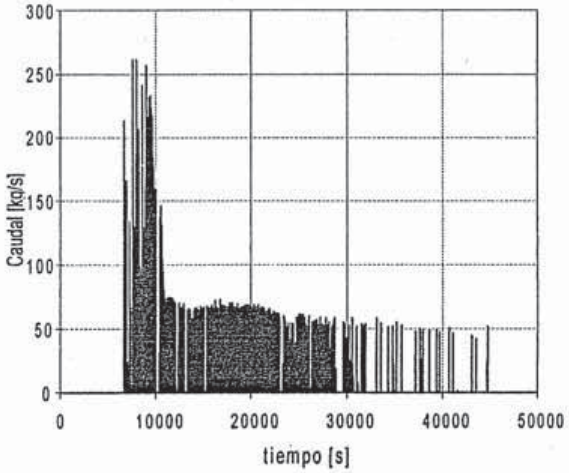


Figura 8. Caudal de válvula de alivio del Presurizador que por hipótesis de rotura va al Recinto del Presurizador de la contención..

Luego de los 6600 segundos hasta los 1000 segundos solo actúan los aspersores debido a la elevada presión causada por la energía acumulada en el circuito primario. Abriéndose a los 6700 segundos la primer válvula que une el Presurizador con el Tanque de alivio del Presurizador rompiéndose por hipótesis la misma. Ver Fig. 8

A los 6700 segundos comienza a aumentar la presión en la contención. Ver Fig . 9.

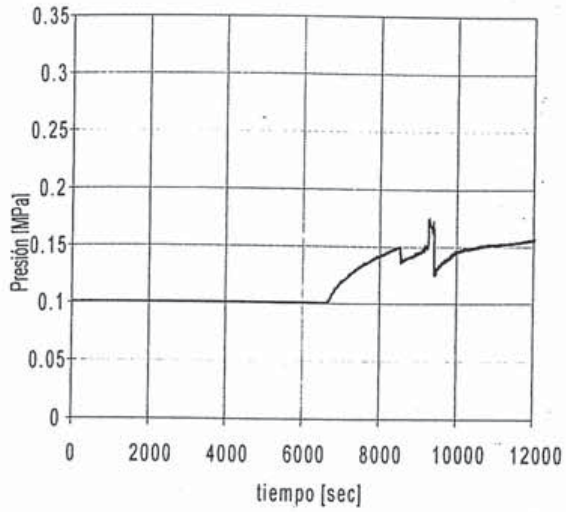


Figura 9. Presión en el Recinto del Presurizador.

A los 8550 segundos se produce el salto de los paneles fusibles que unen el recinto del reactor con el resto de los recintos que se hayan en el Cilindro Biológico. Ver Fig. 10.

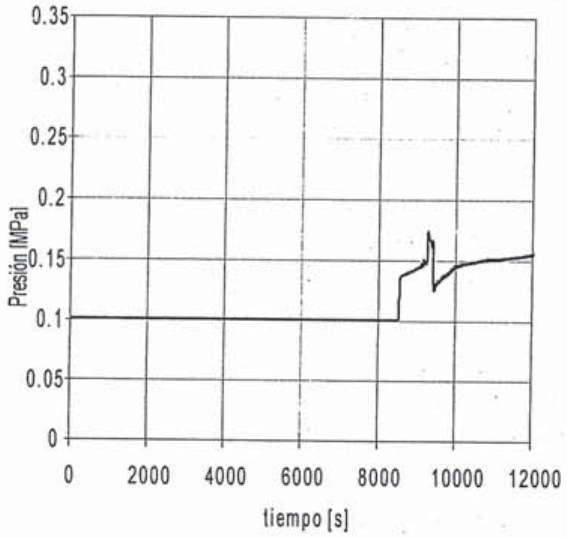


Figura 10. Presión en el Recinto del Reactor y maquinas para el intercambio de los elementos combustibles.

A los 9400 segundos se produce la ruptura de los paneles fusibles que unen el Cilindro Biológico con el espacio comprendido por la esfera de acero. Ver Fig. 11. Luego la presión de la contención aumenta a hasta los 32000 segundos en que llega a un pico de 280 KPa para luego comenzar a ceder por el calor entregado a través de la estructura de la esfera de acero al Recinto anular. Ver Fig. 12. A los 47170 segundos se produce otro pico de presión por la ruptura de la vasija del reactor ayudada por una explosión de hidrogeno en la cavidad del reactor. Ver Fig. 13.

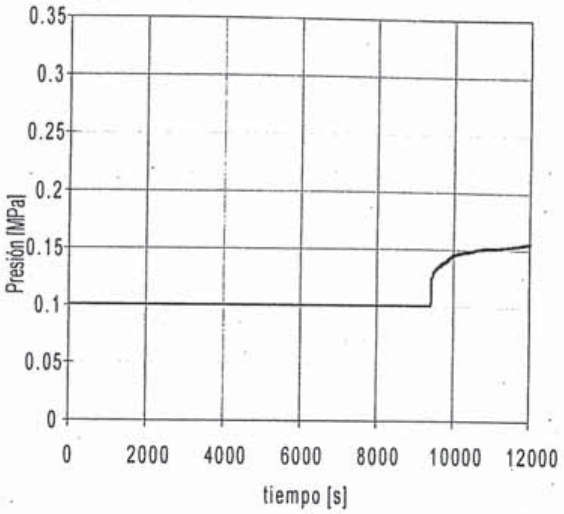


Figura 11. Presión dentro de la esfera de acero de la contención que rodea al Cilindro Biológico.

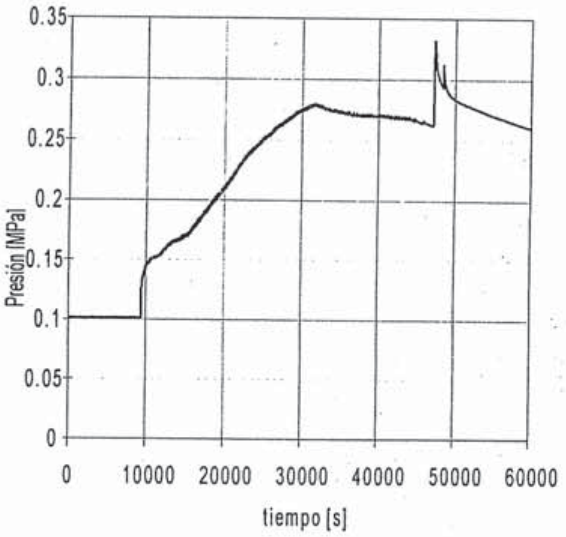


Figura 12. Presión dentro de la esfera de acero de la contención que rodea al Cilindro Biológico.

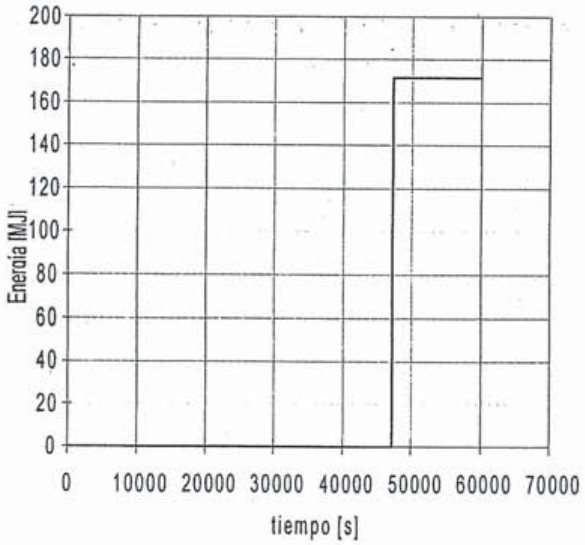


Figura 13. Energía liberada por explosión de hidrógeno en el Recinto del reactor.

A los 48500 segundos se produce un segundo pico más bajo debido a una segunda explosión de hidrógeno en el Recinto del Generador de Vapor 1. Ver Fig. 14.

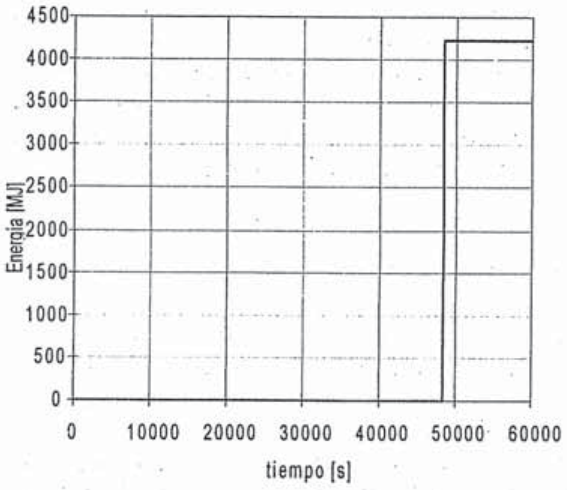


Figura 14. Energía liberada por explosión de hidrógeno en el Recinto del Generador de Vapor 1.

4 CONCLUSIONES

Bajo las hipótesis consideradas en este trabajo se llega a la ruptura de la vasija del reactor luego del descubrimiento del núcleo con degradación del mismo, esto provoca altas presiones en la contención que es lo que se busca lograr para que luego se pueda trabajar sobre este mismo accidente agregando sistemas activos como aspersores o enfriadores y que se compare los resultado de estos con los que se lograron en este trabajo. Lo importante de este trabajo son los picos de presión alcanzados en la contención que permitirán desarrollar modelos con sistemas activos que los controlen.

REFERENCIAS

[1] 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.

[2] Accident Analysis for Nuclear Power Plants with Pressurized Water Reactors, Safety Reports Series N° 30. IAEA, 2003.

[3] 54- P. Herzovich. Relevamientos de chapetas fusibles de Edificios de Generadores de Vapor y Reactor. Parada no programada enero 1997.

Un algoritmo que extrae características de regiones para el reconocimiento de objetos en una imagen

G.E. Sosa, A.F. Gonzalez & S. Leguizamon
gesosa@frm.utn.edu.ar
Grupo Génesis, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza

RESUMEN: Un sistema clásico de visión artificial (SVA) intenta reproducir ciertas funciones hasta ahora atribuibles a organismos biológicos. Centrándose en los aspectos funcionales, éste está constituido por las siguientes unidades: adquisición, procesamiento, segmentación, extracción de características, representación, y clasificación o reconocimiento. En este trabajo se muestra el desarrollo y algunas aplicaciones de un algoritmo que extrae características (AEC) cuya diferencia fundamental con los métodos clásicos es que fusiona las unidades de segmentación, extracción de características y representación. El AEC es una alternativa a los métodos de Euclides, ACB-PCB, e Híbridos y se basa en la filosofía de crecimiento de regiones mediante adición de píxeles pero sin modificar la información de color en la imagen y sin la necesidad de que esté segmentada. Se supone que la figura representada en la imagen, está constituida por una serie de rectas horizontales con las mismas características. Dichas características fueron divididas en primarias y secundarias. A medida que se identifican las rectas el algoritmo extrae las características primarias. Este AEC se puede utilizar en aplicaciones tales como: clasificar objetos sobre una cinta transportadora; extracción de características para investigación; y caracterización de regiones de interés en imágenes médicas, entre muchas más.

Palabras clave: crecimiento de regiones - visión artificial – signatura - momentos de Hu.

ABSTRACT: A classic system of artificial vision (SVA) tries to dub certain features up to now attributable to biological organisms. Being centred in the functional aspects, this is constituted by the following unities: acquisition, processing, segmentation, output of features, representation, and classification or recognition. In this work it is shown the development and some applications of an algorithm that extract features (AEC) whose fundamental distinction with the classic methods is that fuses the segmentation unities, output of features and representation. The AEC is an alternative to the methods of Euclid's, ACB-PCB, and Hybrid and are based on the philosophy of growth of areas by means of pixels addition but without modifying the colour data in the image and without the necessity that are partitioned. One assumes that the figure represented in the image, you is constituted by a series of right horizontal with the same features. These features were dividing in primary and secondary. As the straight line is tagged the algorithm extracts the primary features. This AEC can use in such applications as: to classify objects on a tape that transports; output of features for investigation and characterization of areas of interest in medical images, among many more.

Key Words: seeded region growing - artificial vision – signature - moments of Hu.

1 INTRODUCCIÓN

Cada etapa o módulo de un SVA cumple con una función específica dentro del proceso. Ref. [1]. En los SVA clásicos estos procesos están diferenciados y se ejecutan uno a la vez sobre la imagen. En nuestro caso se quería un algoritmo que fusionara gran partes de las etapas para ahorrar tiempo de procesamiento. Es por eso que se buscó distintos métodos de segmentación y crecimiento de regiones. Para tener una base para analizar como se podía fusionar la segmentación, extracción de características y la representación de regiones. En las Ref. [2] y Ref. [3] se explica detalladamente los métodos de Euclides, ACB-PCB, Híbrido y las nuevas técnicas SRG. Una vez entendidos los métodos clásicos, se planteó la reorganización de las características que se querían extraer en una estructura de datos diferente. También, se modificó la forma en que se extraían esas características, suponiendo que se podía segmentar todas las regiones mientras que se extraían las características. Esto se lograría con un método de crecimiento de regiones por adición de píxeles modificado.

2 REGIONES

En las imágenes aparecen ciertas áreas o zonas caracterizadas por el hecho de que constituyen agrupaciones de píxeles conectados entre si, pero además de la conexión, dichos píxeles presentan propiedades o características comunes; son las regiones. El objeto a ser reconocido puede estar representado por una región que difiere del fondo, en la intensidad de color. Para visualizar esto se analiza el histograma de la imagen, este da una estadística de los niveles de color. Ref. [4]

2.1 Definición

Permita a Ω representar a la imagen completa como una región.
Se puede decir que la segmentación es un proceso de partición de Ω en R regiones $\Omega_1, \Omega_2, \Omega_3, \Omega_R$
Tal que

$a) \sum_{i=1}^{R} \Omega_i = \Omega$

$b)$ *Ω es una región conectada,* $i = 1 \ldots R$

$c) \Omega_i \cap \Omega_j = \emptyset \quad \forall\, i \, y \, j, i \neq j,$

$d) P(\Omega_i) =$ *true para* $i = 1 \ldots R$

$e) P(\Omega_i \cup \Omega_j) =$ *false* $\forall\, i \, y \, j, i \neq j$

Aquí, P (Ω_i) es una función lógica definida sobre Ω_i y Ø es el conjunto vacío.
Condición a) indica que la segmentación debe estar completa; es decir, cada píxel debe estar en una región. Condición b) exige que los píxeles en Ω estén conectados en algún sentido.
Condición c) indica que las regiones deben estar desconectadas. Condición d) indica la distribución de píxeles que deben satisfacer ciertas propiedades, P (Ω i)=true si todo los píxeles en Ω_i tienen el mismo nivel de gris p. e. Condición e) indica que las regiones son diferentes en el sentido de P. Ref. [1].
Una región es una agrupación de píxeles con las mismas características de color o textura. En este caso solo se agrupan píxeles con las mismas características de color.

2.2 Una región en términos de rectas horizontales

Se supone que la región de interés Ωj descripta por Fig. 1. Se puede decir que Ωj está formada por líneas horizontales L_i, paralelas una con otras. Aquellas líneas que estén conectadas, por al menos un píxel, se la considera parte de la región, Ref. [1]. Cada línea se representará por sus coordenadas (x1, x2, y).

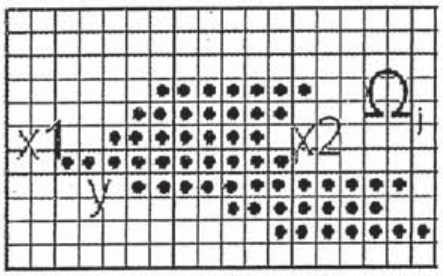


Figura 1. Región Ωj dividida en líneas horizontales

Entonces:

$$\Omega_j = \{L_0, L_1 \ldots L_{m-1}, L_m\} \quad m = 6 \qquad (1)$$

El orden del L_i estará dado por la posición del píxel semilla. De esta forma las L_i están formadas por píxeles conectados horizontalmente

$$\begin{aligned} L_i &= \{p(x1_i, y_i); p(x1_i + 1, y_i) \ldots \\ &\ldots p(x2_i - 1, y_i); p(x2_i, y_i)\} \\ &\Rightarrow L_i(x1_i, x2_i, y_i) \end{aligned} \qquad (2)$$

3 UN PIXIELD COMO NUEVA UNIDAD DE UNA IMAGEN

La imagen está compuesta por información de color en cada posición. El p(x, y) es el valor del píxel en la posición (x, y) de la imagen. Se puede agregar una matriz de igual tamaño que la imagen. Esta contiene los identificadores de región que son iguales para aquellos píxeles pertenecientes a una misma región en la imagen. El valor del píxel en un punto y el del identificador se lo llama PIXIELD (Pd).
Si una región Ω_j. tiene:

$$Pd(x,y) = [R(x,y)\ G(x,y)\ B(x,y)\ 1] \quad \forall (x,y) \in \Omega_{Id} \tag{3}$$

Significa que la región Ω_j se identifica con el valor Id = 1. Si existes otras regiones:

$$Pd(x,y) = [R(x,y)\ G(x,y)\ B(x,y)\ Id(x,y)] \quad \forall (x,y) \in \Omega_{Id} \tag{4}$$

Donde R, G, B es la información de color e Id es el identificador de objeto o región.
De esta manera, se etiquetan todos los píxeles de una región sin modificar la información de color en el.

4 NUEVA ESTRCUTURA DE CARACTERÍSTICAS

Una característica de una imagen, es un rasgo primitivo distinguido o atributo de ésta. Ref. [1]. En este trabajo las características de la región Ω_{Id} son divididas en dos grupos, Primarias y Secundarias. Las características primarias (CP_{Id}) son aquellas que se pueden extraer durante el proceso de etiquetado de píxeles.

$$CP_{Id} = [A\ CC\ CO\ CA\ FA(k)\ CAxy\ Vert] \tag{5}$$

4.1 El área (A)

Es el número de píxeles que pertenecen a la región Ω_{Id}. A medida que se recorre la región se incrementa un contador.

4.2 El conjunto contorno (CC)

Son las coordenadas de lo píxeles pertenecientes al contorno de de la región Ω_{Id}

$$CC = \{p_0', p_1', \cdots p_{c-1}', p_c'\} \tag{6}$$

c = cantidad repuntos en toda la frontera de Ω_{Id}.

Si la región no tiene huecos, c es igual al perímetro.

4.3 El conjunto objeto (CO)

Son las coordenadas de lo píxeles pertenecientes a Ω_{Id}.

$$CO = \{p_0, p_1 \cdots p_{A-1}, p_A\} \ \forall (x,y) \in \Omega_{Id} \tag{7}$$

p_0= semilla y A =á rea de la región Ω_{Id}.

4.4 El color acumulado (CA)

Es la suma de todas las componentes RGB de los píxeles pertenecientes a la región Ω_{Id}, por separado, en el caso de imagen monocromática sería la acumulación de la intensidad.

$$R_{ac} = \sum R(x,y),\ G_{ac} = \sum G(x,y),$$

$$B_{ac} = \sum B(x,y)$$

$$\Rightarrow CA = [R_{ac}\ G_{ac}\ B_{ac}]\ \forall p(x,y) \in \Omega_{Id} \tag{8}$$

4.5 Frecuencia absoluta (FA)

De las componentes RGB de la región Ω_{Id}. Es el número de píxeles en el nivel de intensidad k. Ref. [4]

$$FA = [R_F(k)\ G_f(k)\ B_f(k)] \tag{9}$$

k = nivel del canal R, G o B

4.6 Coordenadas acumuladas

Son la suma de las coordenadas x e y pertenecientes a Ω_{Id} según la Ec. 10.

$$X_{ac} = \sum x,\ Y_{ac} = \sum y$$

$$XX_{ac} = \sum x^2\ \ YY_{ac} = \sum y^2$$

$$XY_{ac} = \sum x.y\ \ \forall p(x,y) \in \Omega_{Id}$$

$$CAxy = [X_{ac}\ Y_{ac}\ XX_{ac}\ YY_{ac}\ XY_{ac}] \tag{10}$$

4.7 Vértices (x1, y1); (x2, y2)

Son los vértices de un rectángulo que puede contener a Ω_{Id}.

$$Vert = \{(x_1, y_1), (x_2, y_2)\} \tag{11}$$

5 SOLUCIÓN AL PROBLEMA DE IDENTIFICACIÓN DE LA REGIÓN

Se tiene que la región Ω a identificar está constituida por líneas conectadas y que cada píxel p(x, y) tiene un Id(x, y) que identificará a la región en Ω_{Id}.

5.1 Problemática

A partir de un píxel semilla que pertenezca a la región Ω_j se tiene que encontrar todos los demás píxeles dentro de Ω_j por medio de la adición de líneas de tal forma que:

$$p(x_0, y_0) \xrightarrow{Crece} L_0 \xrightarrow{Crece} \Omega_j \tag{12}$$

5.2 Solución

A partir del píxel semilla $p(x_0, y_0)$, se encuentran las coordenadas ($x1_0$, $x2_0$, y_0) de la línea a la que pertenece y se inicializa $Id(x_0, y_0) = r$.
En este caso $P(\Omega_r)$ es la condición:

"Igual caract. que $p(x_0, y_0) \wedge I \neq 0 \wedge Id \neq r$" (13)

5.2.1 Procedimiento

0. Una vez que se encuentran $L(x1_0, x2_0, y_0)$ se los guarda en una LIFO (Last Input First Output). Ref. [5], Ref. [6].
1. S extrae de la LIFO la coordenada (x1, x2, y) que se encuentra disponible.

$$LIFO \xrightarrow{Extrae} L(x1, x2, y) \tag{14}$$

2. Buscando píxeles con $P(\Omega_r)$= true, arriba de la línea $L(x1_i, x2_i, y_i)$:

$$\begin{aligned} &\forall y = y_i - 1 \ desde\ x = x1_i - 1 \ldots x2_i + 1 \\ &Si\ P(\Omega_r) = true\ en\ Pd(x,y) \therefore Id(x,y) = r \\ &\Rightarrow p(x,y) \xrightarrow{Crece} L_j \xrightarrow{Almacena} LIFO \\ &\wedge Id(x,y) = r\ \forall y = y_j\ desde\ x = x1_j \ldots x2_j \end{aligned} \tag{15}$$

3. Buscando píxeles con $P(\Omega_r)$=true, debajo de la línea $L(x1_i, x2_i, y_i)$:

$$\begin{aligned} &\forall y = y_i + 1 \ desde\ x = x1_i - 1 \ldots x2_i + 1 \\ &Si\ P(\Omega_r) = true\ en\ Pd(x,y) \therefore Id(x,y) = r \\ &\Rightarrow p(x,y) \xrightarrow{Crece} L_k \xrightarrow{Almacena} LIFO \\ &\wedge Id(x,y) = r\ \forall y = y_k\ desde\ x = x1_k \ldots x2_k \end{aligned} \tag{16}$$

4. Durante la búsqueda arriba y debajo de la línea extraída de la LIFO, se obtienen las características primarias de la línea actual que está creciendo, que pertenece a la región $\Omega_{Id=r}$.
5. Volviendo al paso 1 mientras que 3 y 4 cumplan con $P(\Omega_r)$= true o se detiene si no hay más líneas en la LIFO.

6 CARACTERÍSTICAS SECUNDARIAS

Las características secundarias son aquellas que utilizan como base las características primarias.
Se pueden nombrar algunas:
Compatibilidad. Centro de gravedad. Excentricidad. Redondez. Compacidad. Orientación. Signaturas. Descriptores de Fourier. Ángulo principal. Momentos invariantes. Densidad de color. Etc. Ref. [7] Se implementó la signatura, el ángulo principal, los momentos invariantes de Hu. Ref. [7] y la densidad de color.

6.1 Signatura

Una de las más sencillas, es representar la distancia desde el centro de masa a la frontera como una función angular. Ref. [4] Ver Fig. 2 y Fig. 3 obtenidas con el algoritmo desarrollado. La Fig. 2 con las 36 muestras cada 10°, son referenciadas al ángulo principal. El centro de masa y la signatura mostradas son extraídas por el AEC.

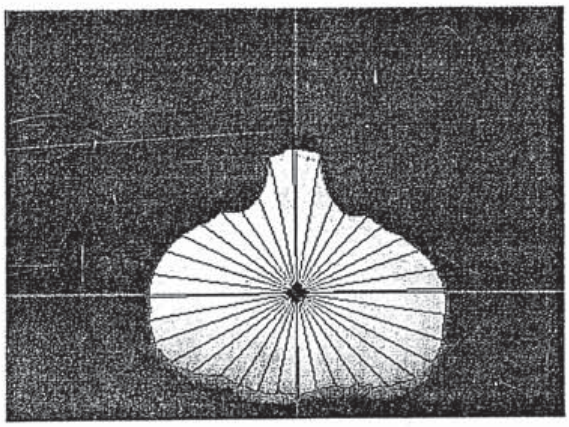


Figura 2. Objeto, con su signatura muestreada cada 10° ó 36 muestras.

6.2 Ángulo principal

Según Ref. [4] el ángulo principal u orientación se define de la siguiente manera.

$M_{xx} = S_{xx} - S_x^2 / A$, $M_{yy} = S_{yy} - S_y^2 / A$

$M_{xy} = S_{xy} - S_x S_y / A$

$$\Phi = \tan^{-1}\{(M_{xx} - M_{yy} + \sqrt{(M_{xx} - M_{yy})^2 + 4M_{xy}^2})/2M_{xy}\} \quad (17)$$

Con nuestra estructura de datos queda:

$S_x = XX_{oc}$, $S_x = Y_{oc}$, $S_x = XX_{oc}$, $S_x = YY_{oc}$, $S_x = XY_{oc}$

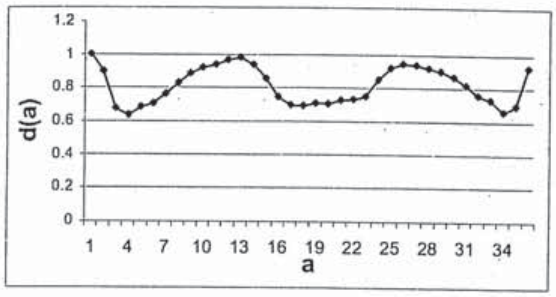


Figura 3. Distancia en función del ángulo 'a', normalizada con respecto al máximo.

6.3 Momentos Invariantes y Momentos de Hu

Cuando la región se define en términos de sus puntos interiores, se puede describir mediante un conjunto de momentos que son invariantes a estos efectos. Ref. [4], Ref. [7].
En este caso:

$$m_{pq} = \sum_i^A CO_x^p . CO_y^q,$$

$$\alpha_{pq} = \sum_i^A (CO_x_i - \bar{x})^p . (CO_y_i - \bar{y})^q \quad (18)$$

CO_x y CO_y = coordenadas x e y del conjunto objeto

Centro de masa $\bar{x} = XX_{oc} / A$, $\bar{y} = Y_{oc} / A$

Los momentos centrales normalizados de orden (p + q) se definen como:

$$\eta = \frac{\alpha_{pq}}{\alpha^{\gamma}_{00}} \text{ Donde } \gamma = \frac{p+q}{2} + 1$$

para $(p+q)=2,3....$

Los Momentos de Hu, Ref. [7], se pueden obtener solo usando los momentos centrales de orden 2 y 3.

6.4 Densidad de color

La densidad de color es el promedio de la intensidad de cada canal en toda la región Ω_i .Ref. [4]
Con nuestra estructura de datos nos queda:

$$DC = \frac{CA}{A} \quad (19)$$

CA=color acumulado

7 CLASES QUE DEBE TENER EL ALGORITMO PARA PROSESAR LA ESTRUCTURA DE DATOS

Para el desarrollo del algoritmo propuesto en 5.2.1 se utilizará lenguaje C++. En este se puede implementar TADs (Tipos Abstractos de Datos) con el constructor class (clases). La implementación de TAD (métodos y datos) con C++ asegura todas las ventajas de los TADs. Ref. [6]. Las clases descriptas a continuación son un resumen de las funciones más importantes ya que deben constar con todas las variables necesarias.

7.1 Carga

Esta clase, deberá cargar las características primarias durante el proceso de etiquetado de componentes conexas. Por medio del procedimiento descrito en el punto 5.2.1.

7.2 Pinta

Es la clase que deberá tener la función 'Crece' (Punto 5.2.1) que identifique los píxeles pertenecientes a una misma línea y devuelve las coordenadas de esta y a la vez carga las características primarias.

7.4 Busca

Esta función busca arriba y debajo de una línea ya identificada. Una vez que encuentra un píxel con la mismas características buscadas (P (Ω_i) = true) llama a la función Pinta y guarda L (x_i, x_i, y_i)

7.5 Identifica

Utilizará las funciones anteriores. A partir de un píxel semilla, devuelve un puntero a un objeto que contiene las características primarias y secundarias de la región a la que pertenecía el píxel semilla.

7.6 Imagen

Esta clase debe contener las funciones para crear y borrar una imagen, leer y escribir píxeles, y tambien leer y escribir identificadores de objetos.

7.7 Características

Esta clase deberá tener las variables necesarias para guardar las características primarias. También deberá contar con un par de funciones para iniciar y reiniciar dichas variables.

7.8 Muestrea conjunto contorno

Esta clase debe buscar en el CC (6) las coordenadas que cumplan con el ángulo, el error y la dirección de muestreo especificadas. Con estos valores calcula la distancia en píxeles desde el centro de masa hacia la frontera de la región y las guarda en un nuevo conjunto de datos. Ref. [4].

$$dCM = \{d_0, d_1 \ldots d_{M-1}, d_M\} M = muestras \quad (20)$$

dCM= distancia en píxeles. Teniendo en cuenta o no los huecos en la región.

7.9 Signatura

Según lo que se dijo en el punto 6.1, existen distintas formas de referenciar una signatura y distintas formas de normalizarla. Esta clase deberá contar las clases anteriores, con variables y funciones propias, para obtener en planillas de datos distintas signaturas de acuerdo a la referencia especificada, la dirección de muestreo y el tipo de normalización.

7.10 Momentos Invariantes

Esta clase deberá calcular las Ec. 19 a la Ec. 22 utilizando las características primarias extraídas en el proceso de identificación de la región, en particular el conjunto objeto y las coordenadas acumuladas.

7.11 Momentos de Hu

Esta clase deberá calcular los momentos de Hu a partir de la clase 7.10 y guardar los datos en planillas.

7.12 Histograma de la región

Esta clase utilizará la frecuencia absoluta (FA) para obtener el histograma de la región.
De esta forma el histograma de la región Ω_i es:

$$h(r_k) = FA(r_k)/A \quad (21)$$
$$k = 0,1 \ldots L-1$$

Se puede decir que h (r_k) es la estimación de la probabilidad de ocurrencia del nivel r_k.

8 IMPLEMENTACIÓN Y EJEMPLOS DE APLICACIÓN

Las funciones antes nombradas fueron implementadas en Lenguaje C++ orientado a objetos. Ref. [6].
Para esto se desarrolló un software en donde se puede:

- Abrir imágenes desde archivos.
- Ingresar el umbral de segmentación y el canal R, G, B a utilizar.
- Ingresar la semilla a través del mouse. Haciendo un clic sobre la región u objeto se inician los algoritmos.
- Se extraen las características en planillas de datos que pueden ser guardadas en formato txt.
- Las características extraídas son centro de masa, Signatura, Momentos de Hu, Histograma de la región, Área de la región y Densidad de color.
- También puede mostrar la matriz de identificación.

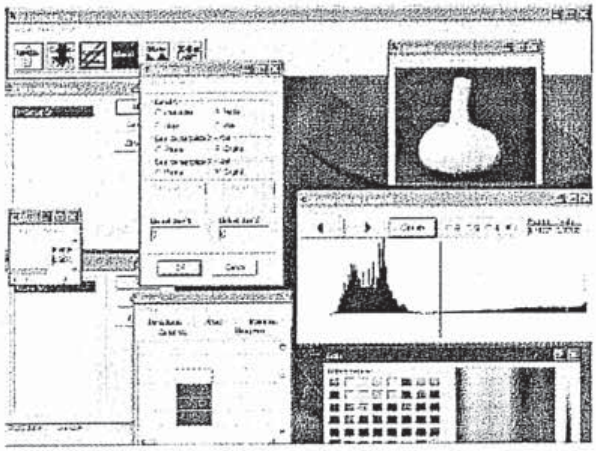


Figura 4. Imagen del software desarrollado.

8.1 Observaciones

En el AEC desarrollado la memoria auxiliar utilizada es variable. Esto puede traer problemas si se quiere implementar en sistemas con memoria limitada.

Como en todo algoritmo de crecimiento de regiones, se necesita saber a priori la ubicación de por lo menos un píxel perteneciente a la región, esto trae ineficiencia al momento de buscar varios objetos por medio del barrido de la imagen. Es por eso que el algoritmo es ideal en situaciones estructuradas en donde se tiene una idea de donde estará el objeto para no barrer toda la imagen en busca de el. Una situación ideal, es en la investigación de objetos a través de imágenes, en ese caso con el mouse de la PC se hace clic sobre el objeto y se extraen las características en planillas de datos.

Este algoritmo de extracción de características (AEC), no se puede comparar en forma directa con los demás métodos clásicos ya que estos últimos hacen distintas etapas por separado. Se puede decir que el AEC, realiza la segmentación en forma más lenta por que a la vez extrae las características y las organiza para representar el objeto en una estructura de datos. En términos de módulos, el AEC realiza tres funciones en uno. En términos de ciclos de ejecución, no se contó con una referencia por que no se tenía acceso a los algoritmos implementados en software comerciales, tales como MatLab, LabView. Sí, se podría comparar con el sistema abierto SIVA Ref. [8]. Éste entrega una aproximación del tiempo de ejecución de sus módulos, pero se tendría que programar un algoritmo clásico. Ya que el SIVA no consta de ninguno. En cuanto a limitaciones, esta primera versión solo segmenta a través de un umbral por cada canal R, G o B o por Intensidad.

8.2 Ejemplos de aplicación

Un ejemplo de aplicación ya mostrado es la Fig. 2 y su signatura Fig. 3 extraída con el software desarrollado. Para extraer la signatura el AEC, antes cuenta con el Área y las coordenadas X e Y acumuladas, que fueron obtenidas durante la segmentación.

8.2.1 Extracción de los momentos de Hu

A continuación se presentan tres imágenes de dos números tres y un seis, en donde se le extrajeron los momentos de Hu a las regiones rescriptas por ellos. Se observa la similitud de los datos de los Caracteres 3a y 3b en la Tabla 1. Ref. [8].

8.2.2 Extracción de la signatura

En la Fig. 5 se muestra el grafico de un análisis de componentes principales en donde se utilizaron los valores de la signatura de los caracteres 'a' a la 'n' tomados, como muestra la Figura 6. Ref. [9]. El análisis de componentes principales es una gran herramienta para visualizar la calidad de los descriptores usados para caracterizar objetos.



Figura 4. (a) Número tres (b) Número tres girado y escalado (c) Número 6

Tabla 1 Momentos de Hu de la Fig. 4 (a), (b) y (c)

	Carácter 3a	Carácter 3b	Carácter 6c
$Ø_1$	0,907226236	0,88101865	1,090652463
$Ø_2$	2,775776828	2,756745145	3,731153679
$Ø_3$	4,055703665	3,448229232	1,892747033
$Ø_4$	2,971092135	2,331738215	0,858469221
$Ø_5$	5,142063005	3,033549313	1,784603524
$Ø_6$	1,06434336	0,672945454	1,060769657
$Ø_7$	6,756123741	5,268305043	2,105832099

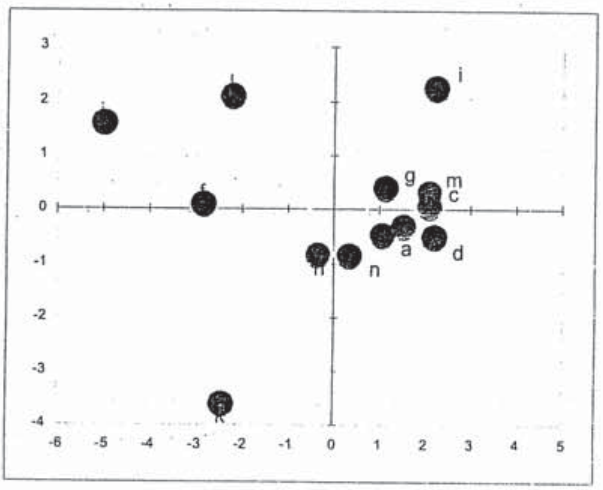


Figura 5. Representación en el espacio factorial de la letras 'a' a la 'n' caracterizadas por la signatura, tomada como muestra la Fig. 6.

La Fig. 6, muestra la matriz más la signatura que es representada por la líneas desde el centro de masa

hacia la frontera. La línea más oscura es la referencia a 90°.

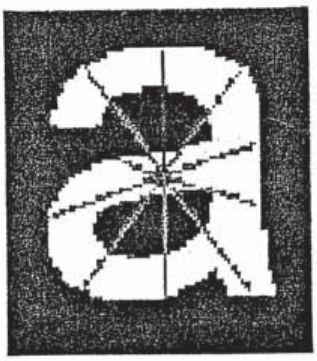


Figura 6. Matriz de identificación del carácter 'a'. más la signatura correspondiente.

8.2.3 Utilización en redes neuronales

Las matrices de datos obtenidas por el AEC pueden ser utilizadas para el entrenamiento de redes neuronales. Ver Fig. 7.

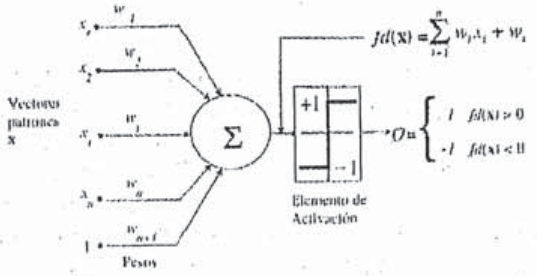


Figura 7. Perceptrón que puede ser entrenado con los vectores característicos extraídos por el AEC.

9 CONCLUSIONES, PRESENTE Y FUTURO

Cualquier imagen, en donde aparezca un objeto o una región de interés puede ser caracterizada por los datos extraídos por este algoritmo desarrollado. Estos datos pueden ser utilizados para investigación de formas en imágenes médicas, en estudios de formas de hojas de vegetales, en clasificación y reconocimiento de formas en la industria y muchas aplicaciones más, en general, reconocimiento de patrones, visión artificial y en robótica.

La aplicación actual más destacada, es la realización de una maqueta experimental, de un sistema de clasificación por visión artificial. Cuenta con una cinta trasportadora, una zona de captura de imágenes con cámara CCD, un sistema mecánico de clasificación en tiempo real y todo controlado con un software, cuyo núcleo central, lo constituye el algoritmo desarrollado localmente en Mendoza. Ref. [10].

Los trabajos futuros son la optimización del algoritmo y la posibilidad de implementarlo en un sistema embebido.

REFERENCIAS

[1] R. C. González & R.E. Woods, Tratamiento Digital de Imágenes, 2da y 3ra ed. Addison-Wesley/Diaz de Santos, 1996.

[2] J. A. Betancur, F. Ortiz & G.A. Osorio, Segmentación de frutos de café mediante métodos de crecimiento de regiones, Fac. Nal. Agr. Medellín. Vol.59, No.1. pp. 3311-3333. 2006.

[3] R. Adams & L. Bischof, Seeded Region Growing, IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell. Vol. 16, No. 6, pp. 641-647, 1994. [4] G. Pajares & J. M. de la Cruz, Visión por computador, Alfaomega/Ra-Ma, 2004

[5] R. L. Graham, E. Knuth Donald & O. Patashnik, Concrete Mathematics, a Foundation for Computer Science, Addison Wesley Publishing Company, 1992.

[6] F. Xhafa, P. Vázquez, J. Marco, X. Molinero & A. Martín, Programación en C++ para ingenieros, Thomson, 2006.

[7] M.K. Hu, Visual pattern recognition by moment invariants, IRE Trans. Inform. Theory, pp. 179-187, 1962.

[8] E. M. Murciano, SIVA, Sistema Interactivo de visión artificial, Univ. Politécnica de Madrid, Grupo SIA.

[9] R. Cesari & M. Cesari. Apuntes Cátedra Metodología de la Investigación Ciclo de licenciatura. Univ. Aconcagua – Instituto San Pedro Nolasco, Mendoza. 2004-2006.

[10] G. Sosa. Clasificadora de ajos por características morfológicas mediante visión artificial. Proyecto final de carrera, Departamento de Electrónica, FRM, UTN. 2008.

Adsorción en multicapa sobre superficies heterogéneas

G. D. García & F. O. Sánchez Varretti
ggarcia@frsr.utn.edu.ar & fsanchez@frsr.utn.edu.ar
Facultad Regional San Rafael, Universidad Tecnológica Nacional

A. J. Ramírez Pastor & F. Romá
antorami@unsl.edu.ar & froma@unsl.edu.ar
Departamento de Física, Universidad Nacional de San Luis, INFAP CONICET.

RESUMEN: La adsorción con múltiple ocupación de sitios en superficies que presentan algún grado de heterogeneidad es un tema de fundamental importancia en la ciencia y la tecnología. Buena parte de los adsorbatos utilizados en la caracterización de superficies mediante adsorción superficial tienen características poliatómicas, por ejemplo: O_2, N_2 CH_4, sin embargo la mayoría de los desarrollos teóricos se han llevado a cabo mediante modelos monoatómicos sobre sustratos homogéneos (modelo de BET). Para mejorar esta aproximación, Romá y col. desarrollaron una forma analítica exacta de extender estos modelos a especies poliatómicas. En este trabajo, a través de simulaciones Monte Carlo (MC), se han obtenido isotermas de dímeros sobre un sustrato heterogéneo unidimensional, esto es contrastado con las expresiones analíticas correspondientes.

Palabras clave: adsorción – heterogeneidad – Monte Carlo – simulación

ABSTRACT: The adsorption with multiple sites occupation on surfaces that present some grade of heterogeneity it is a subject of fundamental importance at the science and the technology. Most of the adsorbates utilized for the characterization of surfaces by means surface adsorption, have polyatomic characteristic, for example: O_2, N_2 Ch_4, nevertheless, the majority of the theoretical development have been carried out through monatomic models upon homogeneous substrates (BET model). To improve this approximation, Romá et al. developed an exact analytic way to extend those models to polyatomic species. At this work, through Monte Carlo (MC) simulations, has obtained dimers isotherms upon one dimensional heterogeneous substrates, it is contrasted with the corresponding analytic expressions.

Key words: adsorption – heterogeneity – Monte Carlo – simulation

1 INTRODUCCIÓN

Se sabe desde hace mucho tiempo que los sólidos tienen la capacidad de "capturar" grandes cantidad de gases o vapores condensables. Esta capacidad viene dada en parte por un fenómeno llamado adsorción y la podemos definir como:" Fenómeno de superficie por el cual una delgada capa o película de un gas, vapor o líquido es retenida sobre la superficie de un sólido debido a la combinación de fuerzas físicas y químicas" Ref. [1]. La película de las especies adsorbidas sólo tiene unas pocas moléculas de espesor. Este fenómeno difiere bastante del fenómeno de absorción en el que se forman fuertes enlaces físicos y químicos con la superficie. Podemos decir que "la eficiencia del sólido para retener partículas depende del área de superficie expuesta" Ref. [2]. En realidad son dos los fenómenos que juegan un rol preponderante en la adsorción, el área superficial y la porosidad del material en cuestión. Es por esto que la medición de la cantidad de gas adsorbido por un determinado material puede ofrecer información valiosísima a la hora de caracterizar al mismo. Mediante la relación a temperatura constante (isoterma) entre la cantidad de gas adsorbido y la presión, podemos estimar la cantidad de gas adsorbido por unidad de superficie.

2 MODELOS TEÓRICOS

El modelo BET Ref. [3] está basado en un modelo cinético de un proceso de adsorción propuesto por Langmuir Ref. [4], en el cual la superficie del sólido se supone como una matriz de sitios de adsorción. Se postula que existe un estado de equilibrio dinámico en el cual la cantidad de moléculas que arriban de la fase gas y se condensan en cada sitio es igual a la cantidad de moléculas que se evaporan de los sitios ocupados. El modelo implica que la presión está por debajo de la presión de saturación del vapor. Las suposiciones que posee el modelo teórico, a pesar de ser pocas y simples, han dado una ecuación que representa bastante bien los fenómenos observados en la realidad por lo que ha sido muy ampliamente utilizada durante muchos años debido a que no introduce demasiados errores a la hora de obtener resultados a partir de datos experimentales. Debido a la correcta elección de las suposiciones o la buena fortuna es que este modelo tiene una suerte de compensación de errores por lo que la ecuación de BET da resultados buenos sin tener en cuenta el tamaño del adsorbato, la heterogeneidad superficial y las interacciones laterales entre las moléculas adsorbidas. El objetivo del presente trabajo es analizar como sería el comportamiento de las isotermas al tener en cuenta algunas de estas variables y que información podemos brindarle a la parte experimental para poder obtener valores del área superficial más cercanos a la realidad. La siguiente ecuación permite representar la cantidad adsorbida en función de la presión reducida Ref. [2]:

$$\frac{n}{n_m}=\frac{c\left(p/p^0\right)}{\left(1-p/p^0\right)\left(1+(c-1)p/p^0\right)} \qquad (1)$$

Llamada la ecuación BET. Por conveniencia a la hora de realizar los gráficos se puede reescribir como:

$$\frac{p/p^0}{n\left(1-p/p^0\right)}=\frac{1}{n_m c}+\frac{(c-1)}{n_m c}\frac{p}{p^0} \qquad (2)$$

Para mejorar esta aproximación, Romá y col. Ref.[5] desarrollaron una forma analítica exacta de extender estos modelos a especies poliatómicas. En este trabajo, a través de simulaciones Monte Carlo (MC) Ref [6], se han obtenido isotermas de dímeros sobre un sustrato heterogéneo unidimensional, para luego ser contrastado con las soluciones analíticas.

3 SIMULACIÓN

Para llegar al equilibrio termodinámico, debemos considerar seis tipos de procesos mediante un esquema de Metropolis et al. Ref. [7]:
adsorción de un monómero sobre un sitio tipo 1,
desorción de un monómero desde un sitio tipo 1,
adsorción de un monómero sobre un sitio tipo 2,
desorción de un monómero desde un sitio tipo 2,
adsorción de un monómero en una capa por encima de la monocapa (o Bulk del líquido), y
desorción de un monómero desde una capa por encima de la monocapa.
A continuación se deben escribir las seis probabilidades de aceptación, de acuerdo al esquema anterior mediante el método de Monte Carlo.

4 RESULTADOS

El sustrato (1D) utilizado posee una topología caracterizada por dos tipos de sitios con energías de adsorción U_1 y U_2, en igual concentración y distribuidos en forma ordenada en grandes parches y al azar. Estas energías pueden correlacionarse con las constantes C_1 y C_2, que son los cocientes entre las funciones partición de una única partícula adsorbida en el sustrato y aquellas de las partículas adsorbidas en capas superiores. En cada sitio puede adsorberse una de las partículas que componen el dímero, necesitándose dos sitios vacíos lindantes para permitir la adsorción completa de un dímero. Además pueden adsorberse moléculas sobre las ya adsorbidas en la superficie. Es decir que se permite la ocupación de cada sitio con más de una partícula (en sentido vertical) y en forma ordenada según el modelo BET y despreciando las interacciones laterales que pudieran existir. El sustrato posee condiciones de borde periódicas.

Las simulaciones de Monte Carlo fueron contrastadas con el modelo teórico, encontrándose un muy buen acuerdo entre ambas técnicas. Los resultados para el caso homogéneo se muestran a continuación en la Fig. 1. Se representa el cubrimiento θ (número de partículas por sitio de la red) en función de la presión reducida, p/p_0. Se trata del caso de una red homogénea ($C_1 = C_2$) y heterogénea con monómeros adsorbidos en multicapa. También puede observarse el correcto ajuste de la expresión teórica [5] y la Ecuación (3) con los datos simulados.

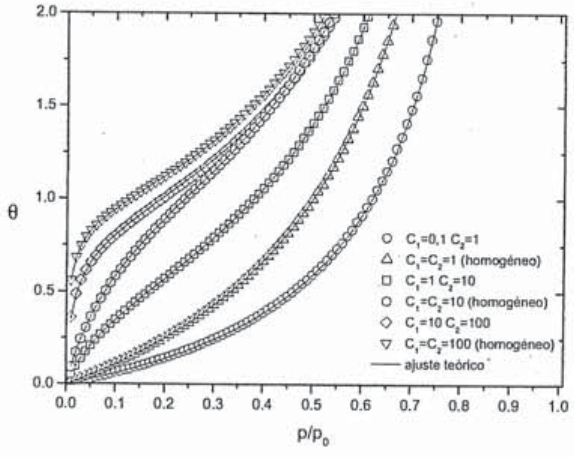


Figura 1. Monómeros sobre superficie homogénea y heterogénea.

En la Fig. 2 se aprecia el cubrimiento θ en función de la presión reducida, p/p_0 para el caso de dímeros adsorbidos en multicapa sobre una red heterogénea con dos tipos de sitios (C_1 y C_2), en igual concentración y agrupados en dos "grandes parches". Podemos observar el correcto ajuste del modelo teórico con los datos simulados.

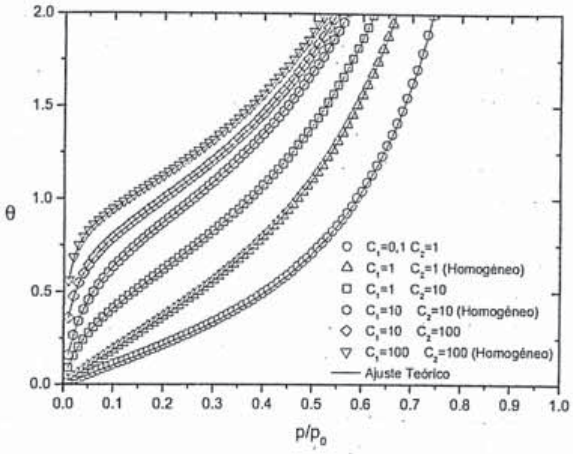


Figura 2. Cubrimiento θ como función de la presión reducida, p/p_0 para dímeros en grandes parches.

En la Fig. 3 se presentas el cubrimiento θ en función de la presión reducida, p/p_0 para el caso de dímeros adsorbidos en multicapa sobre una red heterogénea con dos tipos de sitios (C_1=C_2) distribuidos al azar y en igual concentración además del correcto ajuste de la teoría con los datos simulados.

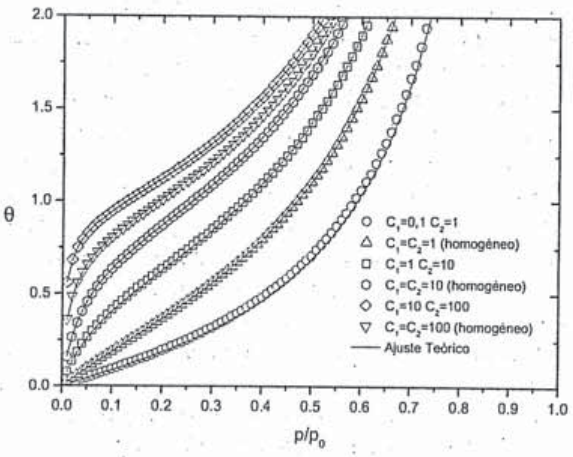


Figura 3. Dímeros sobre parches al azar.

El ajuste sugerido es:

$$\theta = f_{11}\theta_{11} + f_{12}\theta_{12} + f_{22}\theta_{22} \quad (3)$$

Donde las fracciones f_{ij} corresponden a las fracciones de sitios caracterizados por C_i y C_j.
En cuanto a los cubrimientos, tenemos que el cubrimiento θ_{ij} viene dado por la expresión:

$$\theta_i = \frac{1}{(1-p/p_0)}\left(1-\sqrt{\frac{1-p/p_0}{(1+(4C_i-1)p/p_0)}}\right) \quad (4)$$

Con un C_i equivalente a:

$$\sqrt{C_1 C_2} \quad (5)$$

En la Fig. 4 se puede observar la linealización de las isotermas de adsorción de monómeros sobre una red homogénea y sobre una red heterogénea, adsorbidos en multicapa mediante la expresión:

$$\frac{p/p_0}{v_m(1-p/p_0)} \quad (6)$$

Esta expresión en función de la presión reducida, para distintos valores de C y ajustada con un modelo lineal en el rango 0.1 - 0.3 entrega los valores del parámetro C_{BET} y el volumen de la monocapa V_m Ref.[3].

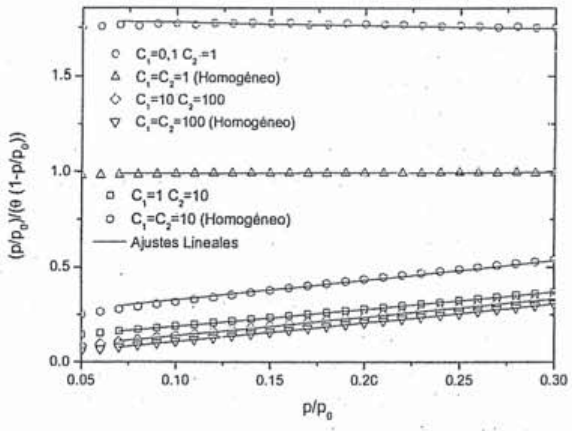


Figura 4 . Monómeros en ejes linealizados (BET).

En la Fig. 5 se realiza un estudio en ejes linealizados para isotermas de adsorción de dímeros en una red homogénea y sobre una red heterogénea, todo esto para una red de grandes parches adsorbidos en multicapa para distintos valores de C ajustadas con un modelo lineal en el rango 0.1 - 0.3. A través del cual se pueden obtener los valores de C_{BET} y el volumen de la monocapa V_m. A partir de estos resultados se obtuvieron las curvas de C_{BET}/C_2 vs. C_1/C_2 y V_m vs. C_1/C_2 tanto para monómeros como para dímeros en un sustrato de parches al azar y en grandes parches.

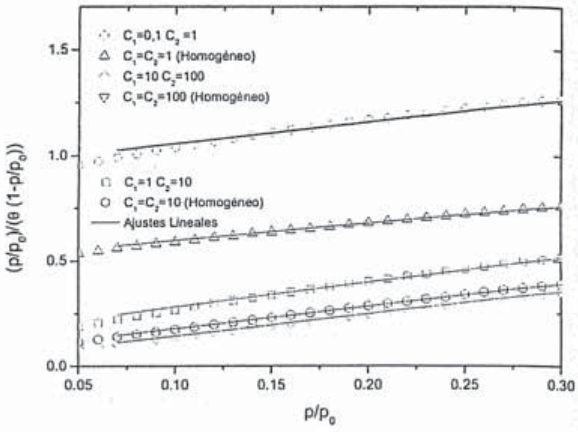


Figura 5. Dímeros en ejes linealizados, grandes parches.

Los resultados de este estudio se muestran a continuación.

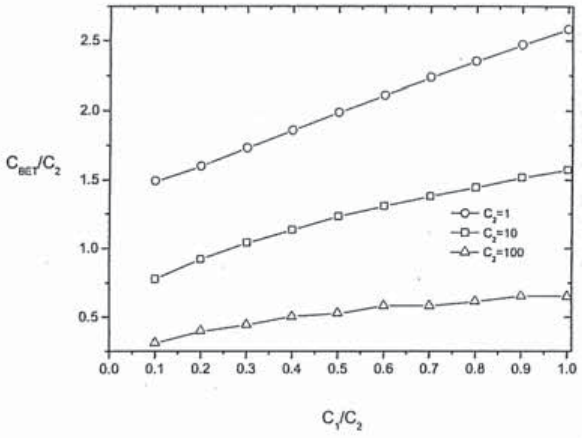


Figura 6. C_{BET}/C_2 vs. C_1/C_2 para parches al azar.

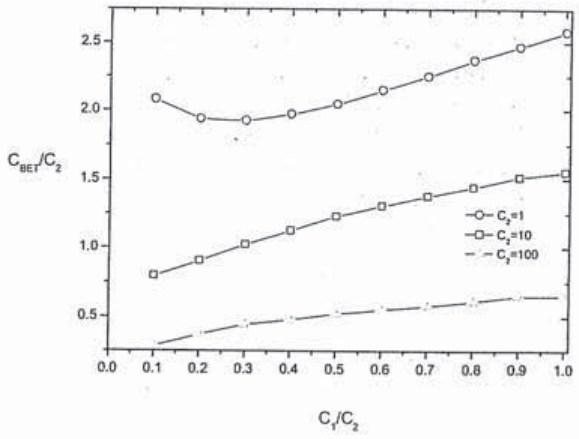


Figura 7. C_{BET}/C_2 vs. C_1/C_2 para grandes parches.

Puede observarse que en todas las curvas, la heterogeneidad es de gran relevancia para la caracterización del sustrato; el caso homogéneo, a la derecha de las gráficas, es en general el valor máximo, así podemos sugerir que la heterogeneidad disminuye el valor experimental de C_{BET} observado.

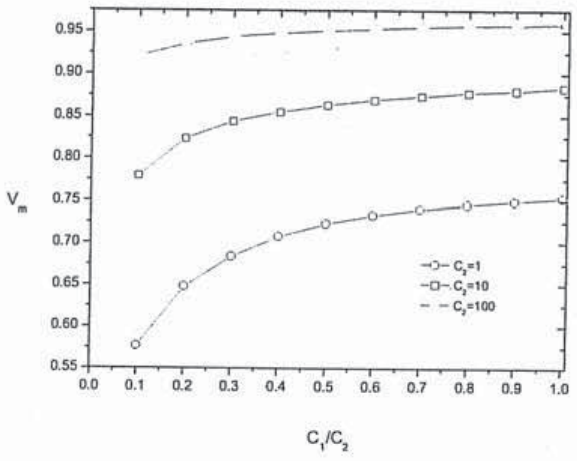


Figura 8. Volumen de la monocapa para parches al azar.

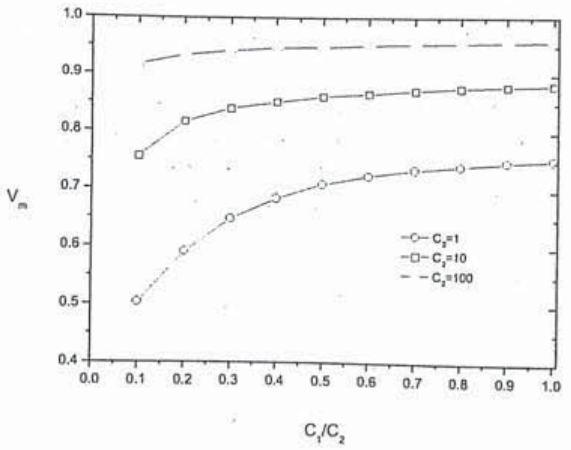


Figura 9. V_m vs. C_1/C_2 para grandes parches.

Nuevamente, se observa un crecimiento del parámetro en estudio (el volumen de la monocapa) en el sentido de la homogeneidad creciente, ubicado a la derecha de las gráficas. Este resultado sugiere la posibilidad de que la introducción de heterogeneidades superficiales acarree una subestimación del valor del volumen de la monocapa en su determinación experimental.

5 CONCLUSIONES

En el presente trabajo la utilización de modelos teóricos analíticos de aproximación a las isotermas de adsorción en multicapas para especies poliatómicas (k-meros) han sido utilizadas para obtener los parámetros de interés experimental e industrial. Se ha introducido la heterogeneidad en el modelo computacional para luego ser analizada mediante una variación de los modelos homogéneos en 1 dimensión. Se puede decir que los parámetros de interés varían con la heterogeneidad creciente dando resultados alejados de la realidad. Este efecto, que no es tomado en cuenta por el modelo BET, puede ser muy importante en sistemas reales en presencia de múltiple ocupación de sitios.

REFERENCIAS

[1] D. Godman, Cambridge Ilustrado Química, Pág.178, 1985.

[2] S.J. Gregg & K.S. W. Sing, Adsorption Surface Area and Porosity, 1982.

[3] S. Brunauer, P.H. Emmet & E. Teller, J. Am. Chem. Soc., 60, 309, 1938.
[4] I. Langmuir, J. Am. Chem. Soc., 38, 2221, 1916.
[5] F. Romá, A.J. Ramírez Pastor & J.L. Riccardo, Surf. Sci., 583, 213–228, 2005.
[6] D. Nicholson & N.G. Parsonage, Computer Simulation and the Statistical Mechanics of Adsorption, Academic London, 1982.
[7] N. Metropolis, A.W. Rosenbluth, M.N. Rosenbluth, A.H. Teller & E. Teller, J. Chem. Phys. 21, 1087, 1953.

Modelación Matemático-computacional para el análisis de sistemas en crecimiento

Roberto Gómez Guirado & Patricia Cuadros
rgomezguirado@unsj.edu.ar & pcuadros@unsj.edu.ar
Departamento de Matemática, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Juan

Guillermo Sergio Navas
snavas@unsj.edu.ar
Departamento de Matemática, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Juan

RESUMEN: Se muestra la primera etapa de un proceso de construcción de un modelo matemático-computacional de sistemas en crecimiento, y software de aplicación educativa, que presenta la dinámica compleja de economía y de poblaciones ecológicas, de un modo práctico, sencillo y pedagógico. En general se realiza una revisión de algunos modelos determinísticos en crecimiento y se confecciona la codificación en lenguaje Maple del modelo Lotka-Volterra para un caso particular (Predador-Presa). Se muestra, escuetamente, el funcionamiento del software confeccionado y se indica el mecanismo a seguir para establecer el comportamiento y potencial del modelo, utilizando el software desarrollado.

Palabras clave: sistemas en crecimiento – modelos ecológicos – modelos económicos

ABSTRACT: It is wanted to relate the first stage of a process of construction of a model mathematical-computational of systems in growth, and software of educational application that shows the complex dynamics of economy and of ecological populations, in a practical, simple and pedagogic way. In general he/she is carried out a revision of model deterministic in growth and the code is made in language Maple of the pattern Lotka-Volterra for a particular case (predator-prey). it is shown, concisely, the operation of the made software and the mechanism is indicated to continue to establish the behavior and potential of the pattern, using the developed software.

Key Words: systems in growth – ecological models – economics models

1 CONSIDERACIONES PRELIMINARES

1.1 Tendencias en las teorías económicas.

Se han propuesto distintas teorías para la explicación de los fenómenos de evolución económica. Sin embargo y hasta ahora, los enfoques simplificados dominan en dichas teorías. Como regla, el mayor acento se da sobre las condiciones de existencia y estabilidad de estados estables. Desafortunadamente, en la economía real estos tipos de comportamiento prácticamente no existen. En general se observa una dinámica compleja: ciclos periódicos, fluctuaciones y caos, ("catástrofe", "bifurcación", "ciclo límite", "atractor extraño", "estructura disipativa", etc.).
Sobre esta base se han formulado, en los años recientes, nuevos enfoques dinámicos [6].
El enfoque estático para la explicación de los fenómenos de evolución económica resulta obsoleto. Se advierte la necesidad de realizar análisis dinámicos en lugar de análisis estáticos. No existe ninguna teoría económica que no considere al parámetro del tiempo. En la teoría del equilibrio el tiempo está ausente debido a que se supone que el sistema puede ser soportado en ese estado por mucho tiempo. Esto puede ser cierto si el período de observación es corto. Por lo tanto, el análisis de equilibrio puede considerarse como un caso parcial del análisis dinámico.
Si bien lo apropiado es estudiar enfoques dinámicos, el desarrollo de teorías económica demostró que el análisis de los estados de equilibrio puede ser útil a pesar de sus restricciones. Los modelos estáticos son importantes para comprender el funcionamiento de los dinámico, pero son suficientemente conocidos como para obviar su análisis en esta presentación.
El uso del enfoque cuasiestacionario para el análisis de procesos dinámicos en economía surge de suponer e imaginar que el desarrollo de cualquier sistema complejo puede ser considerado como la sustitución de un estado estable por otro, con pequeños tiempos de procesos de transición entre ellos.

1.2 Justificación del trabajo

El foco principal de la teoría económica moderna es la explicación de los desplazamientos en la producción, de los lugares de trabajo y de los capitales en una economía en crecimiento; así como una explicación de la distribución de ingresos entre los participantes del proceso de producción, cuestiones en las que suelen ser útiles los modelos ecológicos.
Muchos problemas económicos, pueden ser descriptos en términos de sistemas dinámicos, mediante sistemas de ecuaciones diferenciales similares a los utilizados en ecología.
Los modelos matemáticos dinámicos que han tenido buen resultado en física y en biología tienen muchas características en común. En la actualidad, esos modelos se utilizan en sociología: economía.
Hay muchas características comunes que son propias de distintos procesos. Por ejemplo, la oscilación de poblaciones de tipo biológico y de ciclos económicos se describen con ecuaciones similares. Por lo tanto, es importante una consideración de los modelos ecológicos con el fin de entender tanto los modelos económicos, como para aplicarlos en los procesos educativos de forma amena. Este pensamiento se considera la base para el desarrollo del presente trabajo.
En consecuencia, esta primer etapa del trabajo, se centra en modelos dinámicos de sistemas en crecimiento y en la vinculación entre modelos económicos y ecológicos.
El modelo depredador-Presa, desarrollado en código Maple, es muy útil para analizar sensibilidad del sistema, ensayar en forma sencilla y atractiva la elección de parámetros, estudiar tensiones sociales, migración etc, resultando una herramientas didáctica para los alumnos en ingeniería de gestión.
También, con fines educativos, se desarrollaron programas en Maple para los siguientes conceptos básicos: Curva de fase, plano fase, punto estacionario, separatriz, los puntos singulares de ecuaciones diferenciales, estabilidad de la solución de sistemas de ecuaciones diferenciales, ciclos límite, mapa logístico.

1.3 Revisión de Modelos Clásicos y Modernos de la Economía, y de las Poblaciones Ecológicas.

1.3.1 Haavelmo

Supuso el siguiente modelo macro-económico, mediante las ecuaciones (1):

$$\left.\begin{array}{l} \dfrac{dN}{dt} = N\left(a - \dfrac{\beta N}{Y}\right), \quad a,\beta>0, \\ Y = AN^{\alpha}, \qquad A>0,\ 0<\alpha<1 \end{array}\right\} \qquad (1)$$

donde N es la población, Y es la producción, α, β, a, A son constantes. El reemplazo de la

segunda ecuación en la primer resulta en la ecuación número (2):

$$\frac{dN}{dt} = N\left(a - \frac{\beta N^{1-\alpha}}{A}\right) \qquad (2)$$

Por lo tanto, la ley de variación (ley de cambio) de N es la conocida curva logística usada en la teoría de las poblaciones biológicas y de análisis económico. La dinámica de este sistema es muy simple: dependiendo del valor inicial, N va monótonamente a su valor de equilibrio. La Figura 1 ilustra este comportamiento.

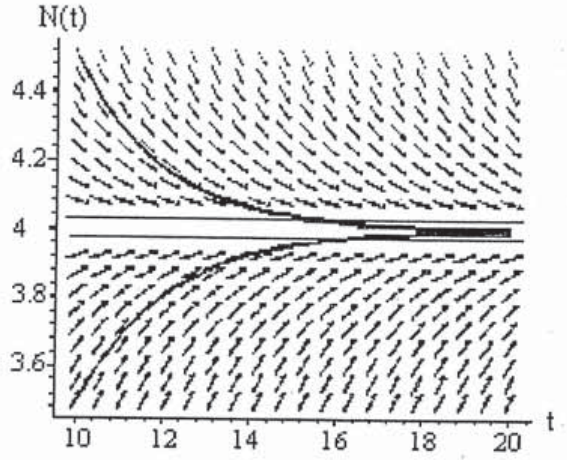


Figura 1. Puntos de equilibrio del Modelo de Haavelmo

1.3.2 Dinámica Urbana

Muestra que se puede observar un comportamiento no regular (atractor extraño) en sistemas dinámicos tridimensionales muy simples.
Considérese la ciudad rodeada por el área metropolitana de forma que resulte pequeña en comparación con esta. Las características locales de la ciudad se expresan con las tres variables principales siguientes:

X es la producción de la ciudad;
Y es la población de la ciudad;
Z es la renta de la tierra (inmobiliaria)

La dinámica de la ciudad se describe mediante el sistema de ecuaciones (3), que codificado en Maple permite estudiar posible evolución del tamaño de la población y del Producto Bruto Interno, y la elección de estrategias de control, modificando los parámetros a_i, c_i, d_i :

$$\left.\begin{aligned} \frac{dX}{dt} &= a_1\left(a_2 Y - a_3 X\right), \\ \frac{dY}{dt} &= c_1\left(c_2 X - c_3 Y\right) - c_4 XZ, \\ \frac{dZ}{dt} &= d_1 XY - d_2 Z, \end{aligned}\right\} \qquad (3)$$

Después de la transformación a variables canónicas, resulta el sistema de ecuaciones (7) de Lorenz.

1.3.3 Modelo de Malthus (o crecimiento natural).

Este es el más sencillo modelo de crecimiento y el primero en ser estudiado. También se le llama natural o modelo de crecimiento exponencial. Malthus escribió que la población humana aumenta geométricamente (exponencialmente), mientras que los recursos alimentarios aumentar aritméticamente (linealmente). Se asume que la población crece a una tasa que es proporcional a sí misma. Si P representa a la población, el modelo puede escribirse simbólicamente como:

$$\frac{dP}{dt} = KP \qquad x_{n+1} = x_n + \beta x_n \qquad (4)$$

1.3.4 Modelo de Verhulst-Pearl (ecuación logística)

$$\frac{dP}{dt} = KP\left(1 - \frac{P}{M}\right) \qquad x_{n+1} = x_n + \beta x_n \frac{M - x_n}{M} \qquad (5)$$

Surgió como una crítica al modelo de Maltus.
Si M es el tamaño límite de la población, es evidente que cuando P es pequeño en comparación con M, la ecuación se reduce a la de Malthus. Por otra parte, si P toma un valor que tiende a M, el aumento dP/dt tiende a cero.

1.3.5 Modelo de Verhulst (Modelo de crecimiento Compensatorio)

$$c_{n+1} = 2.c_n \qquad c_{n+1} = \frac{2}{1 + \frac{c_n}{K}}.c_n \qquad (6)$$

Este modelo surgió a partir del análisis de una clase de bacterias, la histidina auxotrophs, que no es capaz de producir su propia histidina (un aminoácido

necesario para construir las proteínas que son esenciales para la reproducción celular). Cuando estas bacterias se cultivaron en un medio que contenía suficiente histidina, se duplicó su cantidad por división cada 40 minutos. Este caso es de tener en cuenta porque aún con suficiente histidina, aparecen otros factores inter e intraespecíficos que dificultan la duplicación en 40 minutos. Este concepto es especialmente aplicable y a tener en cuenta en la economía.

1.3.6 Caos en el modelo de comercio internacional

Lorenz propuso el siguiente modelo que muestra los factores de surgimiento del atractor extraño que aparece debido al comercio internacional entre economías con ciclos límites:

$$\begin{cases} \dfrac{dx}{dt} = \sigma(y - x), \\ \dfrac{dy}{dt} = rx - y - xz, \\ \dfrac{dz}{dt} = xy - bz. \end{cases} \tag{7}$$

La solución del sistema de Lorenz se presenta mediante programación codificada para el software Maple. En la Figura 2 se muestra el atractor de Lorenz de este sistema.

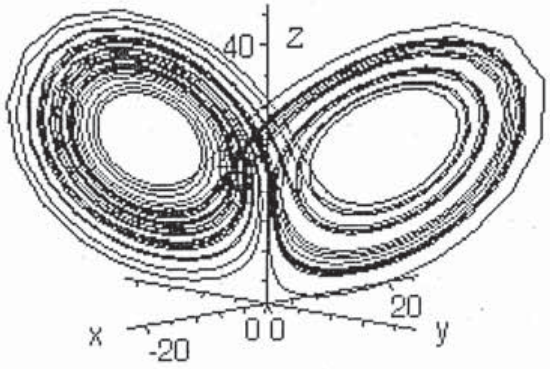


Figura 2. Atractor Extraño de Lorenz.

1.3.7 Modelo de Hutchinson o Lotka-Volterra (o modelo de interacción interespecífica)

La figura 3 muestra el caso general, que responde al sistema de ecuaciones (8):

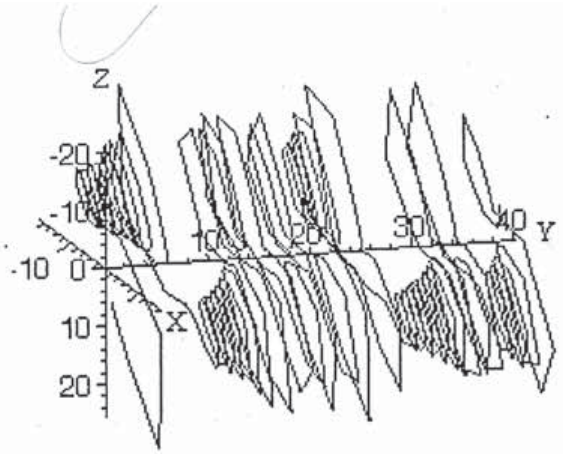


Figura 3. Modelo de Lotka-Volterra: Caso general.

Una comunidad se compone de todas las especies de plantas y animales que habitan una misma zona. Teniendo en cuenta el número de especies como una mera magnitud, es imposible analizar las complejas interacciones entre todas las especies en una comunidad en particular. El ecologista, por lo tanto, se ha concentrado en el análisis de las interacciones entre dos (a veces tres) especies. Estas interacciones se resumen en la tabla siguiente, según sea positivo o negativo el efecto de una especie cualquiera, sobre la otra. La ausencia de efecto se denota con 0.

Tabla 1. Interacción entre dos especies

Tipo de Interacción	Efecto Sobre la Especie 1	Efecto Sobre la Especie 2
Neutralismo	0	0
Comensalismo	+	0
Amensalismo	-	0
Protocooperación (no obligatoria)	+	+
Mutualismo (obligatorio)	+	+
Predación	+ (predador)	- (presa)
Parasitismo	+ (parásito)	- (huésped)
Competición	-	-

El signo positivo o negativo indica el efecto que una especie tiene sobre la tasa de crecimiento de otra. Sólo dos tipos de interacción se han estudiado en profundidad, desde el punto de vista de la dinámica de la población.

El efecto inhibitorio que cada una de dos especies competitivas tiene en el crecimiento de la población de la otra se ha modelado como una extensión de la ecuación logística, requiriendo, así dos ecuaciones de crecimiento, una para cada especie: Ec. (8).

$$\left.\begin{aligned}\frac{dN_1}{dt} &= r_1 N_1\left(K_1 - N_1 - a\frac{N_2}{K_1}\right)\\ \frac{dN_2}{dt} &= r_2 N_2\left(K_2 - N_2 - b\frac{N_1}{K_2}\right)\end{aligned}\right\} \quad (8)$$

Los términos de este modelo, llamado de Lotka-Volterra, son los mismos del modelo logístico, con el agregado de a, b y los coeficientes de competición que tienen en cuenta los efectos de un individuo de una especie sobre los de la otra.

Los supuestos subyacentes a este modelo de competencia son los mismos que para el modelo logístico, con la diferencia que los coeficientes de competición no varían con la densidad de población.

Interesa este tema para analizar cuestiones tales como "tensiones sociales", tratándolo como el caso de dos especies que ocupan el mismo nicho. Ver apartado 2.2, lucha de clases sociales, sistema (10).

Ocupar el mismo nicho ecológico implica que ambas especies utilizan la misma cantidad limitada de recursos ambientales, de la misma manera.

El término "nicho" es causa de fuerte discusión. Esto es más bien el atributo funcional de una especie, en lugar de un espacio unitario. En 1957, Evelyn Hutchinson intentó aclarar el significado de "nicho" al afirmar "que describe la respuesta de una especie a toda la gama de fuerzas ambientales que afectan a estas especies". Si, en el nicho, se define la competencia interespecífica a través de las ecuaciones anteriores (8), se obtiene el modelo de Hutchinson, tal como se describe anteriormente por el sistema de ecuaciones diferenciales ya visto, llamado Modelo de Lotka-Volterra, además de la definición n-dimensional del nicho ecológico.

En la actualidad, el uso de los conjuntos borrosos o fuzzy podría llegar a ser una mejor opción para describir al nicho. A diferencia de los conjuntos nítidos (crisp) utilizados por Hutchinson.

2 VINCULACIÓN ENTRE MODELOS ECONÓMICOS Y BIOLÓGICOS.

2.1 La Revolución en Ecología y Dinámica de Población.

En el punto 1.1 se hace referencia a la vinculación entre modelos económicos y biológicos.

Las últimas décadas han visto cambios drásticos en ecología teórica. Además de la presentación de nuevas técnicas matemáticas, ha cambiado aún hasta el enfoque filosófico para el entendimiento de la dinámica de ecosistemas y poblaciones ecológicas.

Nuevos enfoques matemáticos han transformado la disciplina. Los diagramas de flujo y ecuaciones diferenciales dejadas por los pioneros en modelación ecológica han llevado a bifurcaciones, atractor extraños y a trayectorias confusas, que resultan de suma utilidad para los modelos económicos.

2.1.1 Estabilidad estructural de los modelos económicos.

Algunas veces es posible encontrar cómo los sistemas dinámicos reaccionan a la perturbación en las condiciones iniciales. Pero en los otros casos interesa estudiar las propiedades funcionales del sistema dinámico mismo. Las propiedades cualitativas de las funciones pueden ser entendidas desde el punto de vista del concepto de estructura de la estabilidad.

Los modelos económicos se construyen para explicar los fenómenos auténticos de la vida real. Sin embargo, el resultado puede ser muy sensible a pequeños cambios en el modelo. En este caso, cualquier pequeño cambio en el modelo puede resultar en otro modelo con propiedades significativamente distintas. Para ilustrar el concepto de estabilidad estructural, se revisa el bien conocido modelo biológico "depredador-presa". Este modelo también fue considerado como modelo económico por muchos economistas y, como veremos en 2.2, el modelo de Goodwin, permite encontrar puntos comunes con él y vincular los fenómenos de la lucha entre clases y las sociedades biológicas.

2.2 Modelo Depredador- Presa

El sistema depredador-presa consiste en un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias:

$$\left.\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= \alpha\left(y_1 - y\right)x\\ \frac{dy}{dt} &= \beta\left(x - x_1\right)y\end{aligned}\right\} \quad (9)$$

Zhang, Dendrinos y Mullally utilizaron este modelo para describir la dinámica de las pequeñas ciudades. La variable x indica la densidad de uso de terreno, y es la renta del suelo (tierra); α, β, x_1, y_1 son

parámetros que se estudian oportunamente. El sistema describe el modelo de la oferta-demanda de la renta inmobiliaria especulativa, teniendo en cuenta los futuros porcentajes bajo las expectativas de los propietarios y de los usuarios de las tierras.

La otra aplicación del modelo de depredador-presa fue realizado por Goodwin, Gabish y Lorenz. Este modelo fue adoptado para describir la lucha de clases sociales. Se supone la existencia de dos tipos de ciudadanos: los trabajadores y los capitalistas. Los trabajadores gastan todos sus ingresos wL en consumo. Los capitalistas acumulan sus ingresos $Y - wL$, donde Y es la producción. Con transformaciones adecuadas, el modelo de Goodwin puede escribirse de la siguiente manera:

$$\left.\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= x\left[\frac{1}{k} - g - n - \frac{y}{k}\right] \\ \frac{dy}{dt} &= y\left[-g - r + bx\right]\end{aligned}\right\} \qquad (10)$$

Analizando estas ecuaciones se observa que el modelo de Goodwin coincide con el modelo "depredador-presa". Por lo tanto, las propiedades de éste último serán consideradas en detalle posteriormente. La analogía de dicho modelo y el de Goodwin nos permite encontrar los puntos comunes entre los fenómenos de la lucha entre clases y las sociedades biológicas.

Este modelo es relativamente simple y puede resultar en efectos oscilatorios. Sin embargo, su aplicación se ve restringida debido a su estructura inestable: pequeños cambios de forma funcional influencian en las propiedades cualitativas del sistema. Es muy importante encontrar tales propiedades del modelo que no sean sensibles a pequeños cambios en el mismo.

2.3 Caso Particular del Modelo de Hutchinson o Lotka- Volterra.

Aplicación de la interacción de dos especies: Zorros Vs. Conejos.

Se definen las siguientes constantes y variables:

r --------- número de conejos
f --------- número de zorros
α_1 ---------- coeficiente de interacción
γ_1 ---------- coeficiente de crecimiento de los conejos
α_2 ---------- coeficiente de interacción
γ_2---------- coeficiente de decaimiento de los zorros

En el programa Maple elaborado para resolver el sistema de ecuaciones diferenciales (11), se asignan, en un primer intento, los siguientes valores a los parámetros: γ_1=2; γ_2=1; α_1=.01; α_2=.01

$$\left.\begin{aligned}\frac{\partial r(t)}{\partial t} &= \gamma_1 r(t) - \alpha_1 r(t) f(t) \\ \frac{\partial f(t)}{\partial t} &= -\gamma_2 f(t) + \alpha_2 r(t) f(t)\end{aligned}\right\} \qquad (11)$$

Ejecutado el programa, se observa que con muy pocos zorros en el nicho ecológico, no más de 8 o 10, los conejos aumentan la población rápidamente hasta alcanzar aproximadamente los 840 hacia la mitad de la segunda unidad de tiempo. Mientras que los zorros han ido creciendo lentamente durante la primer unidad de tiempo y ya, con suficientes recursos, aumentan bruscamente hasta alcanzar los 1.080 ejemplares sobre el final de la segunda, donde se encuentran en su apogeo. Ver Fig. 4a, 4b, 4c, y 4d

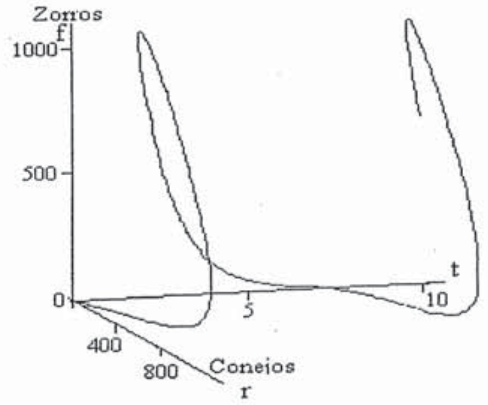


Figura 4a. Dinámica zorros, conejos, tiempo

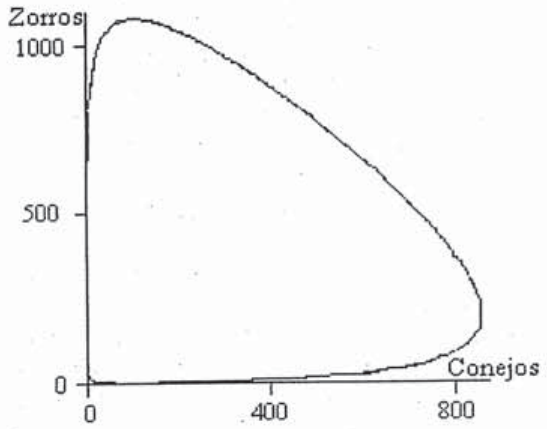


Figura 4b. Relación Zorros – Conejos

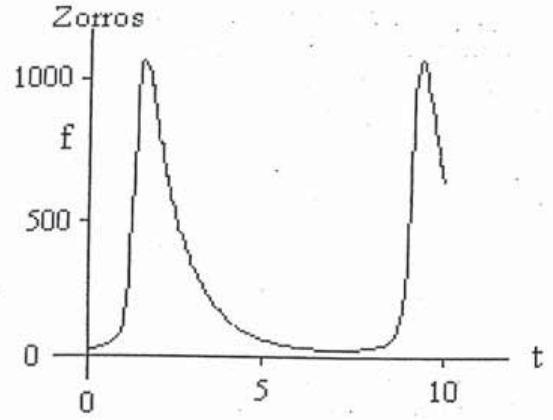


Figura 4c. Variación Zorros - tiempo

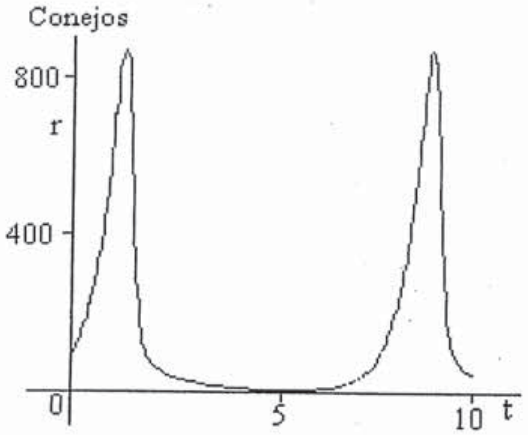


Figura 4d. Variación Conejos - tiempo

Obviamente, esto ha ocurrido a expensas de que los conejos han disminuido hasta 20 o 30 al final de la segunda unidad.

Los zorros, ya con muy pocos conejos, vuelven a decaer. Pero, con un coeficiente bajo γ_2, disminuyen lentamente y tardan alrededor de 7 unidades de tiempo para ponerse cerca de la extinción.

En este punto, puede suponerse que los zorros no se alimentan solo de conejos ya que de otro modo no podrían sobrevivir entre el final de la segunda unidad de tiempo y la séptima, lapso en el que la población de conejos es muy baja y casi no se producen encuentros entre ambas especies. También puede suponerse que han inmigrado algunos conejos de otras regiones

Casi extinguidos las zorros, en la séptima y octava unidad de tiempo los conejos prosperan libremente y se inicia un nuevo ciclo, en el que empieza a aumentar el número de zorros, puesto que los encuentros ocasionales comienzan a ser más frecuentes. Es claro que para los valores asignados a los parámetros, el sistema es estable.

Dando los valores $\gamma_1=2$; $\gamma_2=1$; $\alpha_1=1$; $\alpha_2=1$ el modelo responde como se muestra en la Figura 5.

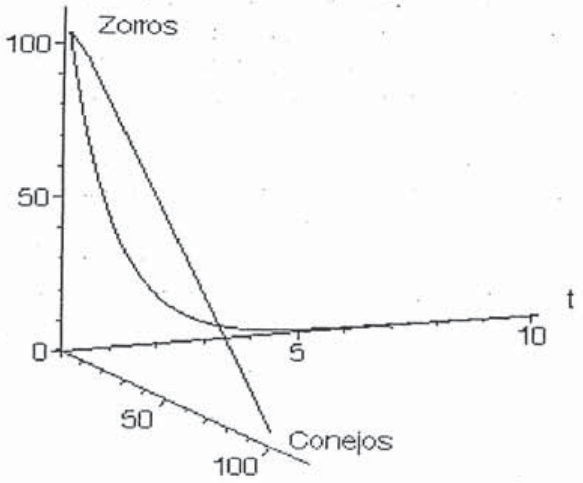


Figura 5. Dinámica zorros, conejos, tiempo.

Con estos valores asignados a las constantes, se observa que los conejos crecen hasta 100 y son consumidos muy rápidamente por los zorros, que alcanzan también aproximadamente 100. Como α_1 y α_2 han sido aumentados 100 veces, la interacción entre ambas especies se torna muy elevada, es decir, comienza a tener un fuerte peso el segundo sumando en ambas ecuaciones, que equivale a una fuerte interacción entre ambas especies. Al quedarse sin conejos, los zorros disminuyen su número en forma relativamente lenta.

Así las cosas, desaparecen ambas especies ya que no logran recuperarse y el sistema es inestable. Esto se ha comprobado incluso con 30 periodos de tiempo y el sistema sigue resultando inestable.

Observación: Para profundizar el caso se realiza la prueba de dejar constante $\gamma_1=2$ y se aumenta 5 veces γ_2, es decir $\gamma_2=5$. Si además, para tener una mejor visión, se aumenta a 20 el número de unidades de tiempo, como se muestra en la Figura 6, se concluye: Los zorros decrecen mucho más rápidamente con lo que se salva algún par de parejas de conejos y algún par de parejas de zorros. Como las características del nicho ecológico lo permiten, estos pocos sobrevivientes de cada especie no se encuentran con los de la otra, lo que impide la interacción. En estas circunstancias, los conejos prosperan muy lentamente hasta el comienzo de la novena unidad de tiempo, que es cuando su población crece a 100 bruscamente en un corto lapso, lo cual, a su vez, es conducente a que se produzcan encuentros con los

pocos zorros que quedan. Ello, desde luego, es motivo para que la población de los zorros crezca con elevada rapidez, dado que al aumentar la población de conejos adquiere importancia el segundo sumando de la segunda ecuación. Los zorros aumentan a expensas de los conejos que disminuyen en ese caso. Se inicia un nuevo ciclo y el sistema se torna estable.

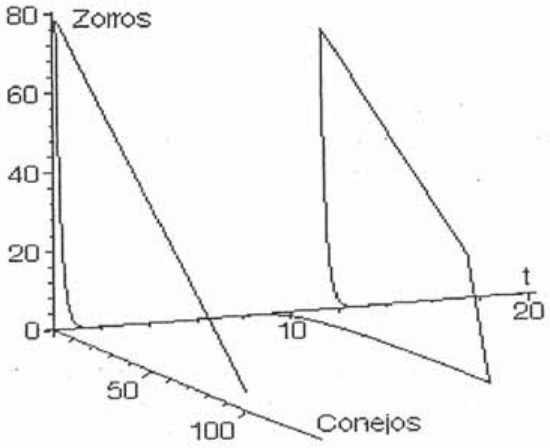


Figura 6. Dinámica zorros, conejos, tiempo.

Sintetizando, respecto a los conejos:
Un elevado valor de γ_1 provoca un rápido crecimiento de los conejos.
Esto, obviamente, se ve influenciado por el número de conejos y de zorros en un momento dado, cuyo producto es afectado por el coeficiente α_1 que, como era de esperar del análisis de las ecuaciones, mientras más alto sea, más interferirá en el crecimiento de los conejos.
Además es claro, que para un mismo α_1, mientras mayor sea la población de zorros, el crecimiento de los conejos se tornará más lento. Lo mismo puede decirse que, a igual número de zorros, a mayor α_1, más se entorpece el crecimiento de los conejos.
Respecto de los zorros:
Con un elevado γ_2 el decaimiento de los zorros es muy rápido, tanto más rápido cuanto mayor es γ_2.
Para un mismo α_2, el crecimiento de los zorros será más rápido cuanto mayor sea la población de conejos. Para una misma cantidad de conejos, el crecimiento de los zorros será tanto más elevado cuento más grande sea α_2.

3 CONCLUSIONES

Se observa: 1)Que ambas especies influencian en la evolución de si misma y de la otra. 2) Existe interacción interespecífica e intraespecífica. 3) El resultado final del modelo de competición es la eliminación de una especie por la otra. Ambas especies inhiben el crecimiento de la otra por un tiempo, pero finalmente una especie gana, creciendo a expensas de la otra (el funcionamiento del sistema depende de las condiciones del nicho ecológico). La especie ganadora es finalmente limitada por su propio índice de tamaño o límite de la población (ver modelo Logístico o de Verhulst-Pearl), mientras que la especie perdedora se extingue.
Este resultado se denomina Principio de Exclusión o axioma de Gauss, que puede resumirse de las siguiente manera: Dos especies no pueden ocupar indefinidamente el mismo nicho ecológico, pues el resultado inevitable es que una especie eliminará a la otra puesto que ambas usan la misma cantidad limitada de recursos ambientales de la igual manera.
4) El modelo es suficientemente estable y sensible a las variaciones de los parámetros y se comporta con un adecuado equilibrio si se eligen apropiadamente sus valores. 5) El modelo permite observar de modo sencillo y ameno la dinámica de poblaciones ecológicas y, por cuanto se ha comprobado en estudios separados un buen comportamiento para analizar la dinámica de la ciudad (específicamente para la provincia de San Juan) en lo referente a la evolución del tamaño de la población y del producto bruto interno, puede decirse que también constituye una herramienta interesante y didáctica para ser utilizada con fines educativos, y, en gestión, para la elección de estrategias de control.

REFERENCIAS

[1] Gutierrez A., Analysis of predator-prey interactions using simulation models. Principles and Application of Biological Control. University of California Press, Berkeley, CA. (in press), 1991.

[2] Hutchinson G.E., Ecology Limnological in Connecticut, 1994.

[3] Lorenz H.W., International Trade and the Possible Occurrence of Chaos, Economics Letters, V. 23, pp. 135-138. 1987.

[4] Onykiy B.N. & N. Zhigarev, *Mathematical model of potential system.* MEPhI. NIR 84-3-149. pp. 28-81. 1985.

[5] Samuelson P.A., *The collected Scientific Papers of Paul A. Samuelson.* Vol. III, MIT Press, Cambridge, MA. 1972

[6] Zhang W., Limit Cycles in van der Ploeg's Model of Economic Growth and Conflict Over the Distribution of Income, J. Economics, Vol. 48, pp. 159-173, 1988.

Algoritmo mejorado de compresión de imágenes hiperespectrales en memoria

J.E. Núñez Mc Leod, P.A. Euillades & E. González Videla

jmcleod@cediac.uncu.edu.ar, peuillad@cediac.uncu.edu.ar & egonzalez@cediac.uncu.edu.ar
Instituto CEDIAC, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo

RESUMEN: con el objeto de mejorar los tiempos de procesamiento de las imágenes hiperespectrales, los autores han desarrollado un algoritmo de compresión de imágenes en memoria, el cual ha sido mejorado permitiendo el aumento de las tasas de compresión, lo cual disminuye los requerimientos de memoria para el almacenamiento. En este trabajo se explica dicho algoritmo y se presentan las velocidades de procesamiento obtenidas, que son comparadas con las velocidades alcanzadas haciendo la lectura de la información de las imágenes directamente desde un medio de almacenamiento masivo, mostrando las mejoras obtenidas

Palabras clave: compresión – hiperespectral – clasificación – algoritmo – imágenes

ABSTRACT: In order to improve the processing times of hyperspectral imaging authors have developed a compression algorithm of images in memory, which has been improved by allowing increased rates of compression, which reduces memory requirements for storage. In this paper the algorithm is explained and the obtained speeds of processing appear, that are compared with the reached speeds taking the reading of the information of the images directly from a massive storage media, showing the obtained improvements.

Key Words: Compression – hyperspectral – classification – algorithm - imagery

1 INTRODUCCIÓN

En el año 2000 la NASA puso en órbita el satélite EO1, dentro del cual se instaló la cámara hiperespectral denominada hyperion, la primera de su tipo en un satélite. Desde ese momento la disponibilidad de imágenes hiperespectrales aumenta notablemente y su costo se reduce enormemente, ya que hasta el momento se utilizaban exclusivamente aviones especialmente preparados, con costos prohibitivos para la mayoría de las potenciales aplicaciones. Sin ser exhaustivos se mencionan los usos más comunes, tales como relevamientos geológicos y petroleros, ya sea con fines exploratorios o de auditoría, también se pueden utilizar para el seguimiento de las cosechas, tanto en sus ciclos normales como en el control de enfermedades, y cualquier otro uso del tipo espectroscópico, cuyo rango de detección sea compatible en el de las imágenes.

Las imágenes hiperespectrales disponen de decenas bandas, cubriendo el rango de los 400 a los 2500 nm, con lo cual la información espectral de cada píxel permite realizar un procedimiento de clasificación mucho más detallado, comparando con las posibilidades que admiten las imágenes multiespectrales convencionales. En la Fig. 1 se observa una porción de una imagen hiperespectral, en donde cada píxel de la misma está compuesta por un espectro de reflectancia característico dependiendo de la composición del terreno.

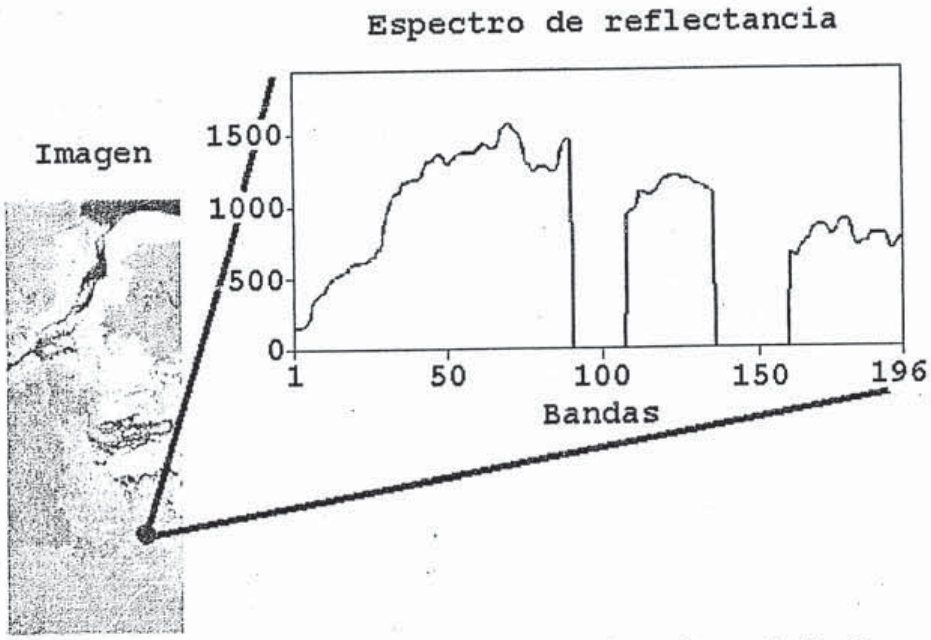


Figura 1. Imagen hiperespectral hyperion y el espectro de reflectancia constitutivo de un píxel.

Sin embargo, la resolución espacial es de 30 metros, lo que ocasiona la mezcla espectral de rasgos constitutivos de terreno, produciendo un enmascaramiento de los mismos e imposibilitando la detección directa. Si el rasgo buscado tiene una distribución espacial importante (varias decenas de píxeles), la pureza espectral de los píxeles internos a la región están garantizadas, por lo que la detección directa es posible, con un error por defecto en la evaluación de la superficie del rasgo. Pero si la distribución espacial es lo suficientemente pequeña, como para no tener por lo menos la presencia de un píxel puro, se hace necesaria la utilización de técnicas de subclasificación Ref. [1]. El uso de estos métodos genera un incremento notable en la cantidad de operaciones realizadas, ya que a los cálculos de los métodos de clasificación propiamente dichos, se deben agregar los cálculos de los métodos de discriminación y después los de resolución de las mezclas espectrales Ref. [1].

La cantidad de información contenida en cada píxel de una imagen hiperespectral, hace poco práctico

cargar mucha información en la memoria principal de la computadora. De esta manera, la información espectral es cargada por porciones cada vez que sea requerida, desde alguna unidad de almacenamiento masivo. Los tiempos de acceso y de transferencia de información entre la memoria principal y las unidades de almacenamiento hacen inútiles los esfuerzos de mejorar los algoritmos de procesamiento, por lo que se desarrolló un algoritmo de compresión de imágenes hiperespectrales en memoria, con lo que se mejoró la velocidad de acceso a la información casi 12 veces con una tasa de compresión del 37 % Ref. [2]. Con el objeto de mejorar estos resultados, en este trabajo se presenta un algoritmo mejorado, que permite aumentar la velocidad de acceso a la información y aumentar la tasa de compresión de los datos en memoria.

Se presentan algunos de los resultados obtenidos y finalmente se expone la conclusión del trabajo realizado.

2 DESCRIPCIÓN DEL ALGORITMO

2.1 *Característica de la información espectral*

La imagen hiperespectral, luego de ser procesada, contiene la información espectral de la reflectancia relativa, que corresponde a la relación entre la radiación incidente y la reflejada, en cada una de las bandas del espectro. En el caso de la imagen hyperion, de las 242 bandas originales quedan 196 bandas, como se observa en la Fig. 2, en la cual se aprecian dos intervalos sin información, correspondientes a dos regiones en las cuales el vapor de agua atmosférico absorbe fuertemente la radiación solar, perdiéndose de esta manera la información espectral correspodiente. Naturalmente, para evitar el almacenamiento de información de estas bandas, son eliminadas uniendo las correspondientes regiones del espectro con información válida, tal cual aparece en la Fig. 3, en la cual quedan 155 bandas con información.

En las Fig.s 2 y 3, las reflectancias relativas, que son valores mayores o iguales a cero y menores o iguales a uno, se encuentran multiplicadas por 10000, por lo que el valor máximo de ordenada es justamente 10000; por lo tanto, la cantidad de memoria para almacenar el espectro está dada por la Ec. 1, teniendo en cuenta al byte (8 bits) como unidad de almacenamiento y que se necesitan 2 bytes (16 bits) para guardar números de hasta un valor de 10000.

$$N = \frac{16\frac{bits}{banda} * 155\,bandas}{8\frac{bits}{byte}} = 310\,bytes \qquad (1)$$

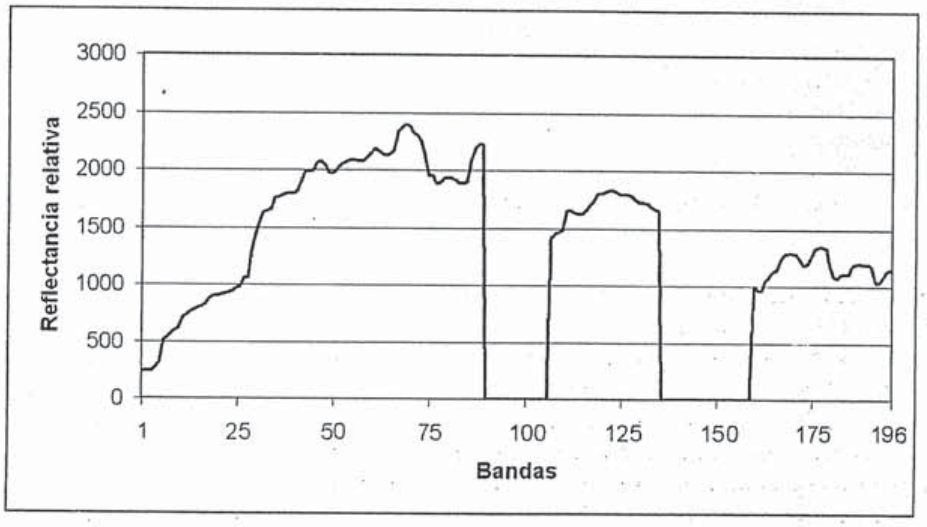


Figura 2. Espectro de reflectancia completo (196 bandas).

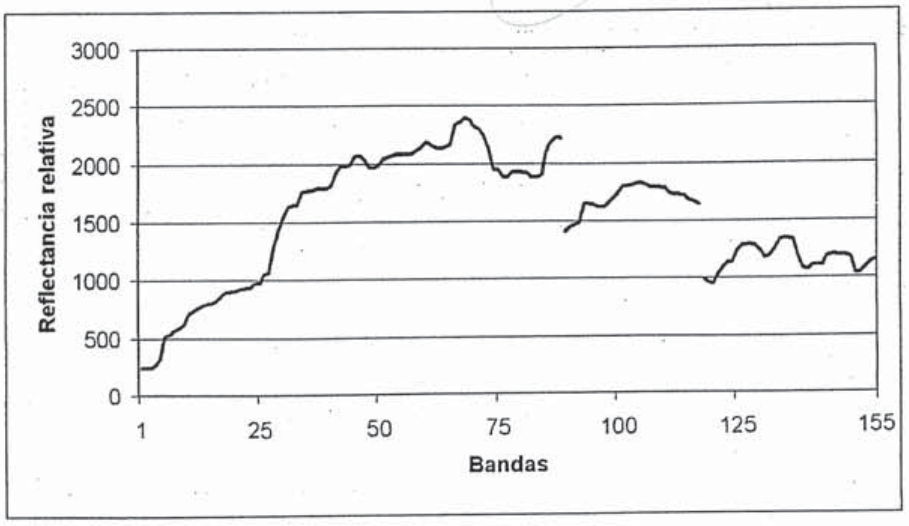


Figura 3. Espectro de reflectancia eliminadas las bandas de absorción (155 bandas).

2.2 *Método de compresión*

Teniendo en cuenta que para almacenar números hasta un máximo de 10000 se necesitan 14 bits ($\log_2$ 10000), se observa que hay 2 bits desperdiciados por cada banda, ya que se utilizan 2 bytes para el almacenamiento (16 bits). Por lo tanto, el algoritmo de compresión utiliza estos bits y además, reduce la cantidad de bits necesarios para al almacenamiento de los datos de cada banda, como se explicará a continuación.
Si la información, en lugar de almacenarse en bytes separados, por cada banda; se almacena en una cadena de bits, aprovechando los bits desperdiciados, la cantidad de memoria necesaria se obtiene según lo calculado en la Ec. 2, lo que equivale a un ahorro de memoria del 12.5 %.

$$N = \frac{14\frac{bits}{banda} * 155\ bandas}{8\frac{bits}{byte}} = 271.25 bytes \qquad (2)$$

Para almacenar la información de cada banda se necesitan 14 bits, como se mencionó anteriormente; sin embargo, si en lugar de almacenar el valor de la reflectancia se almacenan las diferencias de reflectancia entre una banda y la siguiente, la cantidad de bits necesarios se reduce a 10, teniendo en cuenta que la diferencia máxima encontrada en las imágenes analizadas no superaba el valor de 511 (9 bits) más un bit de signo, con lo cual el rango de valores posibles va desde -512 a 511. En la Fig. 4 se observa la diferencia entre los valores de una banda genérica, denominada b, y la inmediata siguiente b+1, al calcularse la diferencia entre los dos valores se obtiene el valor Δy, que corresponde al dato a almacenar en memoria. En la Fig. 5 se puede observar la relación entre el espectro original y su equivalente en diferencias de bandas, notándose la gran disminución en el rango necesario para almacenar la información.

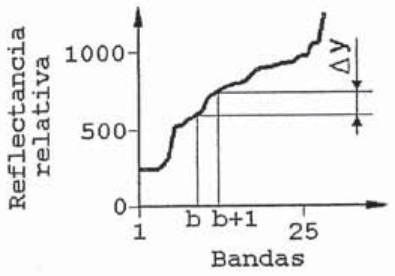


Figura 4 . Diferencia de bandas

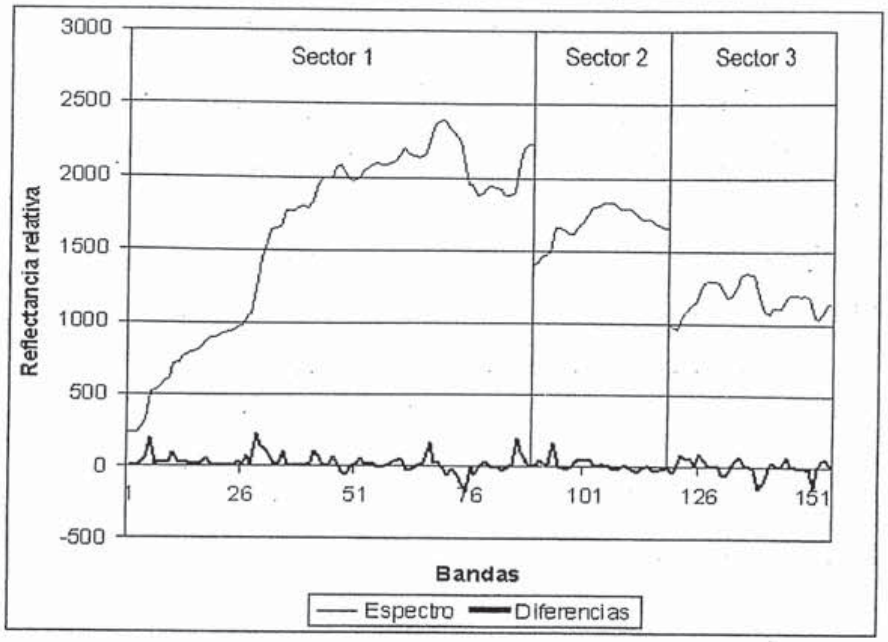


Figura 5. Espectro original y espectro en diferencias

En la Fig. 5 se ha dividido el espectro en 3 sectores y no se ha tenido en cuenta la diferencia entre bandas correspondientes a los puntos de discontinuidad entre dichos sectores, ya que los mismos son generalmente valores grandes, que penalizarían la tasa de compresión. De esta manera, al dividirse el espectro en tres sectores, en cada uno de ellos se almacena como primera información el valor de la primer banda de cada sector, y a continuación las diferencias entre bandas. De esta forma se puede reconstruir el espectro original utilizando en total la cantidad de memoria indicada en la Ec. 3.

$$N = \frac{3*14\frac{bits}{banda} + 152*10\frac{bits}{bandas}}{8\frac{bits}{byte}} \quad (3)$$

$$= 195.25\ bytes$$

Lo que representa una tasa de compresión de la información del 37 %.

Para poder aumentar la compresión se procede dividiendo por dos el valor de todas las bandas y después se calcula la diferencia entre los valores así calculados, los cuales son almacenados. El hecho de dividir por dos, implica la introducción de un cero en el bit más significativo del dato y la salida del bit menos significativo, el cual se pierde, según lo esquematiza la Fig. 6, donde las equis representan un valor binario cualquiera.

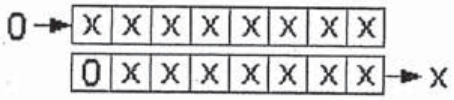


Figura 6. División por dos de un dato

De esta manera, para almacenar la información ahora se necesita un bit menos, ya que el bit más significativo siempre es cero, por lo tanto no es necesario almacenarlo, así sólo son necesarios 9 bits para almacenar las diferencias entre bandas.

Si en lugar de dividir por dos se divide por cuatro, entonces se introducen dos ceros como bits más significativos y se pierden los dos bits menos significativos. De esta manera, sólo son necesarios 8 bits para almacenar las diferencias entre bandas (incluyendo el bit de signo). Uno de los requisitos del algoritmo de descompresión es que debe ser muy rápido, ya que de lo contrario no habría ventaja frente a la lectura de la información desde un medio de almacenamiento masivo. El hecho de ser necesarios 8 bits es fundamental para este requisito, ya que es justamente el tamaño de un byte, lo que

significa que no hay necesidad de utilizar operaciones a nivel de bits para decodificar la información, lo que indica que se debe esperar un aumento notable en la velocidad de descompresión comparándola cuando se utilizan diez bits para el almacenamiento. De esta manera, evaluando la Ec. 3 para estas nuevas condiciones, indica que para almacenar un espectro completo son necesarios 158 bytes, lo que equivale a una tasa de compresión del 49 % respecto del espectro con 155 bandas y del 60 % respecto del espectro original con 196 bandas.

2.3 *Verificación del error*

El método de compresión propuesto tiene como ventajas una alta tasa de compresión y una alta velocidad de descompresión, pero necesariamente hay una pérdida de información, que produce una degradación de la calidad del espectro. Para verificar el grado de degradación, se propone utilizar un método de clasificación mediante el cálculo del ángulo espectral, como lo es el Spectral Angle Mapper (SAM) Ref. [3], contrastando el espectro descomprimido (degradado por pérdida de información) y el espectro original, según lo indicado en la Ec. 4

$$SAM(t,s) = \cos^{-1}\left(\frac{s \bullet t}{\|s\|\,\|t\|}\right) \qquad (4)$$

Donde s y t corresponden a los vectores n dimensionales representativos de los espectros en consideración, siendo s el espectro original y t el espectro descomprimido. Mientras menor es el valor obtenido, tanto más parecidos son los espectros comparados. Cuando se realizan clasificaciones, el menor valor utilizado para distinguir entre dos espectro distintos es de 0.01 radianes. Como ejemplo representativo de los resultados obtenidos se presentan tres espectros, uno de vegetación y dos de vulcanitas. En la Tabla 1 se observan los resultados obtenidos.

El hecho de utilizar vulcanitas se debe a su baja reflectancia, por tratarse de un tipo de roca oscuro, lo que hace aumentar el error relativo, este detalle se observa en el aumento de los ángulos espectrales, que como se dijo, es indicativo de una mayor diferencia entre el espectro original y el comprimido. Aún a pesar de esta diferencia, incluso las vulcanitas arrojan un resultado cinco veces inferior al valor umbral de diferenciación. Por lo que se concluye que la pérdida de información, debida a la aplicación del algoritmo de compresión, no es relevante en el momento de realizar clasificaciones.

Tabla 1. Ángulo espectral y reflectancia media de tres rasgos de terreno.

Espectro	SAM(t, s)	Reflect. media
Vegetación	0.0005758	2069.7
Vulcanita I	0.0017529	606.4
Vulcanita II	0.0018701	616.2

3 CODIFICACIÓN Y EJECUCIÓN

3.1 *Implementación del algoritmo*

Debido a que los tiempos de ejecución constituyen uno de los objetivos a tener en cuenta en la implementación del algoritmo, es que se decidió la programación del mismo utilizando el lenguaje ensamblador de los procesadores Intel, usando el ambiente de programación de Visual C++, el cual brinda la posibilidad de incluir instrucciones en ensamblador de manera sencilla.

Se codificaron dos módulos, el primero para comprimir la información y el segundo para descomprimirla, orientados ambos a un sector del espectro (Fig. 5), por lo que son utilizados tres veces para poder completar un espectro completo.

En el caso del módulo de compresión los pasos son los siguientes:

1- Asignar a pData el puntero a los datos a comprimir.
2- Asignar a pMem el puntero a la memoria donde se almacenará el espectro comprimido.
3- Asignar a bx el contenido de pData.
4- Almacenar bx en pMem.
5- Incrementar pMem.
6- Incrementar pData.
7- Dividir bx por 4.
8- Asignar a ax el contenido de pData.
9- Dividir ax por 4.
10- Asignar a cx la diferencia entre ax y bx.
11- Asignar a bx el valor de ax.
12- Almacenar cx en pMem.
13- Incrementar pMem.
14- Incrementar pData.
15- Si faltan datos ir al paso 8
16- Finalizar.

El módulo de descompresión está compuesto por los siguientes pasos:

1- Asignar a pData el puntero a los datos descomprimidos.
2- Asignar a pMem el puntero a la memoria donde se están los datos comprimidos.
3- Asignar a ax el contenido de pMem.
4- Asignar a pData el contenido de ax.
5- Incrementar pMem.
6- Incrementar pData.
7- Asignar a bx el contenido de pMem.
8- Multiplicar bx por 4.
9- Asignar a ax la suma de ax y bx.
10- Almacenar ax en pData.
11- Incrementar pMem.
12- Incrementar pData.
13- Si faltan datos ir al paso 7.
14- Finalizar.

3.2 *Tiempos de ejecución*

Como se mencionó anteriormente los tiempos de ejecución constituyen uno de los objetivos del algoritmo, pero solo importa en el caso del módulo de descompresión, ya que el módulo de compresión se ejecuta una sola vez y la imagen se almacena comprimida en memoria, mientras que el módulo de descompresión se ejecuta en forma conjunta con los algoritmos de clasificación y de esta manera influye en los tiempos de procesamiento de las imágenes.

Para la medición de los tiempos se utilizó una computadora con procesador Intel Core 2 Duo de 2.40 GHz, 2 GB de memoria RAM, un disco rígido de 160 GB SATA II de 7200 rpm. Además, se utilizó una imagen hiperespectral con 196 bandas, 1499 líneas y 417 columnas, con un tamaño total de 239290 kilobytes.

El módulo de compresión necesitó 96448 kilobytes de memoria para almacenar la imagen comprimida, lo que representa una tasa de compresión del 60 %.

Para evaluar los tiempos de lectura se procedió a leer los espectros uno a uno, desde el principio hasta el final, en forma secuencial. Primero se lo hizo leyendo directamente desde el archivo en disco y luego desde la imagen comprimida en memoria.

La lectura de todos los espectros de la imagen desde la unidad de almacenamiento, demandó 5.221 segundos, mientras que la misma operación desde la imagen comprimida tardó 0.187 segundos; es decir, 27.9 veces más rápido.

4 CONCLUSIONES

Se ha logrado obtener un algoritmo que permite comprimir imágenes hiperespectrales en la memoria principal de la computadora, con tasas de compresión del 60 % y con una velocidad de descompresión que es casi 28 veces superior a la de lectura directa de disco.

Si bien el consumo de memoria principal constituye una desventaja, pero el algoritmo habilita la posibilidad de optimizar en velocidad los códigos de clasificación, reduciendo los tiempos de procesamiento de las imágenes hiperespectrales.

Además, este método puede ser implementado en otro tipo de imágenes, donde los tiempos de procesamiento sean importantes y el tiempo de acceso a disco sea el limitante.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la Secretaría de Ciencia, Técnica y Posgrado de la Universidad Nacional de Cuyo por el apoyo brindado al presente trabajo.

REFERENCIAS

[1] J. Núñez Mc Leod, P. Euillades, M. Blanco, Detección de mezclas espectrales en imágenes hiperespectrales, Encuentro de Docentes e Investigadores de Ingeniería, 2007.

[2] J. Núñez Mc Leod, P. Euillades, Algoritmo de compresión de imágenes hiperespectrales en memoria, XXI Jornadas de Investigación de ña Universidad Nacional de Cuyo, 2008.

[3] R. Yuhas, A. Goetz, J. Boardman, Discrimination among semi-arid landscape endmembers using the spectral angle mapper (SAM) algorithm, Third Annual JPL Airborne

Perfil siniestral de la actividad agrícola "cultivo de vid para vinificar"

O.D. Gálvez & J.L. Britos

licdanielgalvez@yahoo.com.ar & jorgelbritos@speedy.com.ar
Escuela de IV Nivel Académico, Posgrado en Especialización en Higiene y Seguridad en el Trabajo, Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional

RESUMEN: se desarrolló un perfil siniestral para la actividad cultivo de vid para vinificar (código de identificación industrial único CIIU111252). Dicho perfil se comparó con el obtenido anteriormente para la agricultura (CIIU1) y este último fue considerado como muestra total. Para ello se utilizó una base de datos provista por una Aseguradora de Riesgos del Trabajo (ART) de la región y se realizó una evaluación estadística que incluyó como variables aleatorias los códigos de forma de accidentes y/o siniestros (CFx) y días caídos. Se determinó que los CFx de la actividad agrícola, CIIU111252, presenta mayor gravedad y criticidad que la mayoría de los CFx de la muestra. Además se observó que los riesgos más predominantes de las tareas de laboreo de la actividad agrícola son el mecánico y el de transporte y desplazamiento. Este trabajo puede ser utilizado en posteriores estudios como referencia y en la prevención de accidentes en la actividad agrícola. La metodología estadística utilizada puede también aplicarse a todas las ART que trabajan en la actividad y así obtener las curvas referenciales correspondientes para extender el presente estudio.

Palabras clave: vid – riesgos – CIIU111252 – siniestro – agricultura

ABSTRACT: it was developed a profile accident for the activity of vine cultivation for vinificar (identification code unique industrial, ICUI111252). This profile was compared with previously obtained for agriculture (ICUI1) and this last regarded as total sample. It used a database provided by an insurance of risks of the work in the region and it was realiced a statistical evaluation that included random variables as codes of form of accidents and/or sinister (CFx) and days fallen. It was determined that farming ICUI111252 presents greater severity and criticality that most codes of form on the sample. It was further noted that the most prevalent hazards of the tasks of tilling of agricultural activities are the mechanical and transport and movement. This study could be used as reference in subsequent studies and in the prevention of accidents in agricultural activity. The statistical methodology used can also be applied to all ART working in the activity and thus obtain the relevant reference curves to extend this present study.

Key Words: vine – risks – ICUI111252 – sinister – agriculture

1. INTRODUCIÓN

La agricultura es una de las actividades más desarrolladas en la Argentina, en general y en Mendoza en particular. Distintas publicaciones y estadísticas de la Superintendencia de Riesgos en el Trabajo (SRT), Ref. [1], referidas a la Seguridad e Higiene Laboral argumentan que la agricultura cuenta con un alto índice de accidentología debido a una serie de factores. Entre estos factores se destacan las pobres condiciones laborales a las que son sometidos los operarios que llevan a cabo las tareas, condiciones climáticas y a las características propias de la actividad. Con la sanción de la ley N° 24.557/1996, de Riesgos del Trabajo, Ref. [2], el empleador tiene la obligación de denunciar ante una Aseguradora de Riesgos del Trabajo (ART), todo accidente laboral o enfermedad profesional que sufran sus operarios. Las aseguradoras iniciaron la recolección de información y confección de bases de datos relacionadas con los siniestros laborales, siguiendo los lineamientos de la Superintendencia de Riesgos del Trabajo (SRT), ente nacional contralor de las ART. En este trabajo se emplea una base de datos, Ref. [3], que utiliza variables aleatorias como los códigos de forma de accidentes (CFx) y días caídos (días no laborables de un operario a causa de un siniestro), y que contiene registros de siniestros ocurridos en el sector agrícola de las provincias de Mendoza y San Juan desde agosto de 1996 a septiembre de 2004, aportados por una ART del medio. Y el perfil siniestral de la actividad agrícola, cuyo código de identificación de actividades industriales a un dígito es el CIIU1 (código de identificación industrial único), Ref. [4]. El CIIU 1 agrupa a su vez distintas actividades agrícolas con una codificación a 6 dígitos. Se estudia entonces la caracterización de la actividad agrícola a seis dígitos, "cultivo de vid para vinificar", CIIU111252, según su comportamiento siniestral, comparándola con el perfil siniestral de la actividad agrícola a un solo dígito CIIU1, aplicando el procedimiento de evaluación siniestral según la forma, Ref. [5]. Para poder aplicar esta metodología se necesitó definir y calcular los parámetros de evaluación. Los mismos caracterizan la actividad industrial analizada, pudiendo hacer comparaciones y evaluaciones entre el conjunto en estudio (CIIU111252) y el conjunto de la muestra (CIIU1).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Muestra

Los registros de cantidad de siniestros y días caídos del CIIU 1, fueron extraídos de una base de datos depurada, ordenada y filtrada, Ref. [3].

2.2. Análisis estadístico

Se utilizó el procedimiento de evaluación siniestral según la forma, Ref. [5].

3. RESULTADOS

3.1. Obtención de la muestra

El código de identificación industrial único (CIIU), a un dígito de la actividad agrícola, CIIU1, se compone de 86 actividades con CIIU a 6 dígitos, siendo una de ellas la actividad agrícola "Cultivo de vid para vinificar", CIIU111252, Ref. [4]. De la base de datos obtenida, Ref. [3], se extrajeron la cantidad de siniestros y días caídos de los CIIU1 y CIIU111252. Dichos datos se muestran en Tabla 1.

Tabla 1. Composición de la muestra, CIIU 1

CIIU	Siniestros	Días Caídos	días/stros	% siniestros	% días caídos
CIIU 1	1705	28107	16.5		
111252	680	12216	18.0	39.9	43.5

En Tabla 1 se observo que el CIIU1 tiene un promedio de 16.5 días caídos/siniestro. La actividad agrícola CIIU111252 tiene un promedio de 18 días caídos/siniestro y además representa el mayor porcentaje de la muestra con un 39.9% de siniestros y 43.5% de días caídos, respecto de las otras 85 actividades que componen el CIIU1 o muestra.

3.2. Determinación de la frecuencia

Denominaremos frecuencia a la cantidad de accidentes o siniestros y días caídos producidos para un determinado código de forma (CFx) en el CIIU estudiado. Los siniestros están clasificados

en función del tipo de siniestro, a través de los códigos de forma CFx. La participación porcentual de siniestros del CFx en el CIIUx analizado es dada por la ecuación (1). Cada siniestro está asociado a la cantidad de días caídos perdidos a causa del mismo. La participación de los días caídos del CFx en el CIIUx analizado se obtiene por medio de la ecuación (2).

$$\%S_{CFx} = TS_{CFx} \div TS_{CIIUx} \times 100 \quad (1)$$

$$\%DC_{CFx} = TDC_{CFx} \div TDC_{CIIUx} \times 100 \quad (2)$$

Donde:
$\%S_{CFx}$: Porcentaje de siniestros del CFx en el CIIUx analizado.
TS_{CFx}: N° de Siniestros totales del CFx en el CIIUx analizado.
TS_{CIIUx}: N° Total de Siniestros del CIIUx analizado.
$\%DC_{CFx}$: Porcentaje de días caídos del CFx en el CIIUx analizado.
TDC_{CFx}: N° de días caídos totales del CFx en el CIIUx analizado.
TDC_{CIIUx}: N° Total de días caídos del CIIUx analizado.
Los valores de frecuencia de cantidad de siniestros y días caídos para cada código de forma de los CIIU1 y CIIU111252 se muestran en las Tablas 2 y 3 y en las Fig. 1 y 2 respectivamente.

3.3. Determinación de la gravedad

Cada siniestro está asociado a una gravedad por su naturaleza. Para evaluar la gravedad de los siniestros se utiliza el margen de diferencia, dado por la ecuación (3).

$$MD_{CFx} = (\%DC_{CFx} \div \%S_{CIIUx} - 1) \times 100 \quad (3)$$

Donde:
MD_{CFx}: Margen de diferencia porcentual del CFx en el CIIUx analizado.
El margen de diferencia da una cuantificación porcentual de la gravedad para un CFx y toma valores positivos (gravedad alta), negativos (gravedad baja) o iguales a cero (gravedad media). Una gravedad alta significa que para un siniestro del CFx, los días caídos, DC, son mayores que la media de DC del CIIUx. Los valores de los márgenes de diferencia de los CIIU1 y CIIU111252 se muestran en Tablas 2 y 3 y en las Fig. 1 y 2 respectivamente.

Tabla 2. Registros de frecuencia y gravedad del CIIU1.

Código de forma	%SCFx	%DCCFx	MDCFx	Gravedad
1	14.3	19.1	33.7	**Alta**
2	6.2	11.1	79.2	**Alta**
4	5.3	4.4	-17.1	Baja
6	0.6	0.5	-20.5	Baja
7	3.6	3.4	-6.5	Baja
8	3.6	2.2	-39.6	Baja
9	2.6	3.6	34.9	**Alta**
10	14.3	13.2	-8.1	Baja
11	0.1	0.0	-75.7	Baja
14	0.1	0.0	-87.9	Baja
15	1.7	0.3	-79.7	Baja
16	0.1	0.0	-69.7	Baja
17	1.2	0.2	-80.0	Baja
18	0.2	0.2	-16.6	Baja
19	0.5	0.4	-6.7	Baja
22	0.4	0.2	-52.3	Baja
24	4.7	6.5	37.6	**Alta**
25	0.5	0.3	-45.4	Baja
26	11.8	16.8	42.1	**Alta**
27	2.4	4.3	79.0	**Alta**
29	0.8	1.2	43.4	**Alta**
30	12.7	3.5	-72.8	Baja
31	9.2	8.0	-13.4	Baja
99	3.2	0.8	-74.3	Baja

Tabla 3. Registros de frecuencia y gravedad del CIIU 111252.

Código de forma	%SCFx	%DCCFx	MDCFx	Gravedad
1	15.9	18.5	16.6	**Alta**
2	5.3	6.1	15.5	**Alta**
4	5.4	4.2	-22.8	Baja
6	1.2	0.8	-30.4	Baja
7	2.6	2.8	7.6	**Alta**
8	5.0	3.3	-33.7	Baja
9	2.5	4.2	66.3	**Alta**

Código de forma	%SCFx	%DCCFx	MDCFx	Gravedad
10	16.3	18.6	14.0	**Alta**
11	0.0	0.0	0.0	
14	0.1	0.0	-88.9	Baja
15	0.9	0.3	-62.9	Baja
16	0.1	0.0	-66.6	Baja
17	1.6	0.2	-89.4	Baja
18	0.0	0.0	0.0	
19	0.3	0.3	8.5	**Alta**
22	0.7	0.4	-47.7	Baja
24	1.5	2.2	49.7	**Alta**
25	0.1	0.1	-55.5	Baja
26	12.2	21.2	74.0	**Alta**
27	1.8	3.2	83.7	**Alta**
29	1.0	0.8	-19.7	Baja
30	12.4	3.5	-71.8	Baja
31	9.9	8.4	-14.7	Baja
99	3.1	0.7	-78.3	Baja

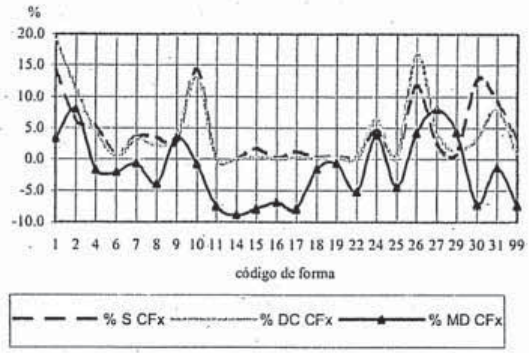


Figura 1. Distribución porcentual de la cantidad de siniestros (% S CFx) con sus días caídos (% DC CFx) para cada código de forma con su gravedad correspondiente (% MD CFx) para el CIIU 1.

Para los códigos de forma 11 y 18 los valores son cero puesto que no hay registros en la base de datos para el CIIU111252

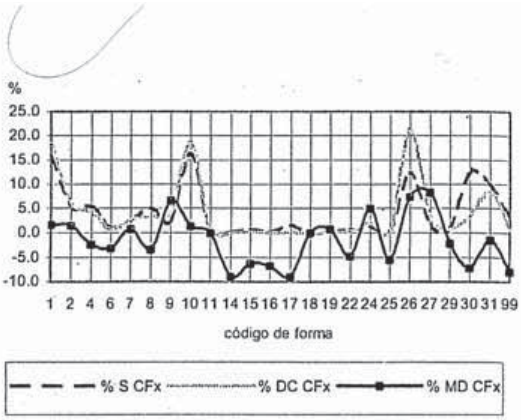


Figura 2. Distribución porcentual de la cantidad de siniestros (% S CFx) con sus días caídos (% DC CFx) para cada código de forma con su gravedad correspondiente (% MD CFx) para el CIIU111252.

3.4. Determinación de días caídos por CFx y CIIU

Estos parámetros representan la cantidad promedio de días caídos de un mismo CFx en el CIIU analizado y la muestra. Pudiendo representar los siniestros del tipo CFx con un único valor promedio de días caídos para los CIIUx y la cantidad promedio de días caídos de un mismo CIIUx. Los parámetros se obtienen por las ecuaciones 4 y 5.

$$PDC_{CFx} = TDC_{CFx} \div TS_{CFx} \quad (4)$$

$$PDC_{CIIUx} = TDC_{CIIUx} \div TS_{CIIUx} \quad (5)$$

Donde:
PDC_{CFx}: N° promedio de días caídos del CFx en el CIIUx analizado.
TDC_{CFx}: N° de días caídos totales del CFx en el CIIUx analizado.
TS_{CFx}: N° de Siniestros totales del CFx en el CIIUx analizado.
PDC_{CIIUx}: N° promedio de días caídos del CIIUx analizado.
TDC_{CIIUx}: N° de días caídos totales del CIIUx analizado.
TS_{CIIUx}: N° de Siniestros totales del CIIUx analizado.
Los valores se detallan en Tabla 4.

Tabla 4. Promedio de días caídos de un mismo CFx y CIIUx.

Código forma	CIIU 1			CIIU 111252		
	Siniestros	Días caídos	PDC_{CFx}	Siniestros	Días caídos	PDC_{CFx}
1	243	5355	22.0	108	2262	20.9
2	106	3131	29.5	36	747	20.8
4	90	1230	13.7	37	513	13.9
6	10	131	13.1	8	100	12.5
7	62	956	15.4	18	348	19.3
8	61	607	10.0	34	405	11.9
9	45	1001	22.2	17	508	29.9
10	244	3697	15.2	111	2274	20.5
11	1	4	0.0	0	0	0.0
14	1	2	2.0	1	2	2.0
15	29	97	3.3	6	40	6.7
16	2	10	5.0	1	6	6.0
17	20	66	3.3	11	21	1.9
18	4	55	0.0	0	0	0.0
19	8	123	15.4	2	39	19.5
22	7	55	7.9	5	47	9.4
24	80	1815	22.7	10	269	26.9
25	9	81	9.0	1	8	8.0
26	201	4709	23.4	83	2595	31.3
27	41	1210	29.5	12	396	33.0
29	14	331	23.6	7	101	14.4
30	216	970	4.5	84	426	5.1
31	157	2242	14.3	67	1027	15.3
99	54	229	4.2	21	82	3.9
Código forma	Siniestros	Días caídos	PDC_{CIIU}	Siniestros	Días caídos	PDC_{CIIU}
	1705	28107	16.5	680	12216	18.0

3.5. Determinación de la criticidad

Cada siniestro está asociado a una criticidad, independientemente de la gravedad. Este parámetro permite determinar la criticidad en función de la diferencia del margen de diferencia, por medio de la ecuación (6).

$$DMD_{CFx} = MD_{CFx1} - MD_{CFx2} \quad (6)$$

Donde:

DMD_{CFx}: Diferencia de márgenes de diferencia porcentual del CFx.

MD_{CFx1}: Margen de diferencia porcentual del CFx en el CIIU 111252.

MD_{CFx2}: Margen de diferencia porcentual del CFx en la muestra, CIIU 1.

Mientras mayor es la diferencia entre los valores obtenidos, mayor es la criticidad del código de forma del CIIU analizado y viceversa.

La Tabla 5 muestra los valores obtenidos de la ecuación (6).

Tabla 5. Registros de diferencia del margen de diferencia y criticidad de cada código de forma de los CIIU1 y CIIU111252.

Código de forma	%MDCFx CIIU 11252	%MDCFx CIIU 1	DMD CFx	Criticidad
1	16.6	33.7	-17.1	No Critico
2	15.5	79.2	-63.7	No Critico
4	-22.8	-17.1	-5.7	No Critico
6	-30.4	-20.5	-9.9	No Critico
7	7.6	-6.5	14.1	**Critico**
8	-33.7	-39.6	5.9	**Critico**
9	66.3	34.9	31.4	**Critico**
10	14.0	-8.1	22.1	**Critico**
11	0.0	-75.7	0.0	
14	-88.9	-87.9	-1.0	No Critico
15	-62.9	-79.7	16.8	**Critico**
16	-66.6	-69.7	3.1	**Critico**
17	-89.4	-80.0	-9.4	No Critico
18	0.0	-16.6	0.0	
19	8.5	-6.7	15.3	**Critico**
22	-47.7	-52.3	4.7	**Critico**
24	49.7	37.6	12.1	**Critico**
25	-55.5	-45.4	-10.1	No Critico
26	74.0	42.1	31.9	**Critico**
27	83.7	79.0	4.7	**Critico**
29	-19.7	43.4	-63.1	No Critico
30	-71.8	-72.8	1.0	**Critico**
31	-14.7	-13.4	-1.3	No Critico

99	-78.3	-74.3	-4.0	No Critico

No se consideran los códigos de forma 11 y 18 para la determinación de la criticidad, debido a que no existen registros de accidentes para el CIIU111252. Los CF11 y CF18 adoptan valores igual a cero en la representación gráfica de la curva DMD_{CFx}, a solo efecto de contar con una curva continua.

Los valores de la Tabla 5 se representan en la Fig. 3.

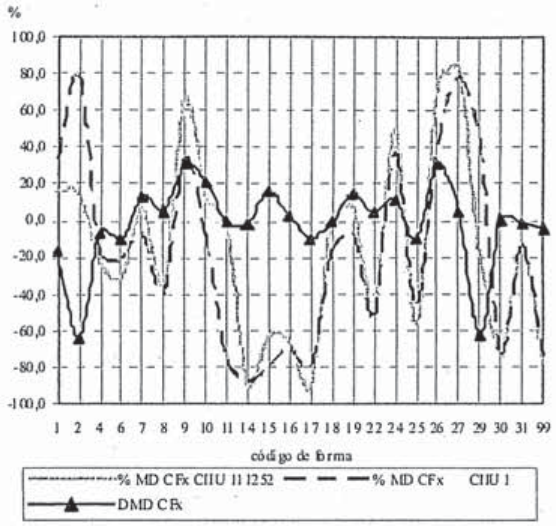


Figura 3. Distribución porcentual de la Diferencia del Margen de Diferencia, DMD CFx, entre los Márgenes de Diferencia del CIIU analizado (CIIU 111252) y la muestra (CIIU 1).

3.6. Determinación de prioridades

La prioridad está definida en relación a la anomalía detectada en el comportamiento del código de forma. La anomalía queda determinada por la aplicación de los parámetros que miden márgenes de diferencia. La prioridad se determinó de acuerdo a la Tabla 6, Ref. [5].

Tabla 6. Prioridades

		Gravedad		
		Alta	Media	Baja
Criticidad	Crítica	AA	AB	AC
	Media	BA	BB	BC
	No crítica	CA	CB	CC

Donde:

P1: Prioridad 1 (AA)
P2: Prioridad 2 (AB, BA)
P3: Prioridad 3 (CA, BB, AC)
P4: Prioridad 4 (CB, BC)
P5: Prioridad 5 (CC)

A cada código de forma de accidente se le asigno de acuerdo a Tabla 6, una prioridad en función de su gravedad (Tabla 3) y criticidad (Tabla 5). De esta manera se obtuvo el perfil siniestral de la actividad agrícola, CIIU111252. En Tabla 7 se representa el perfil siniestral de la actividad agrícola, CIIU111252.

Tabla 7. Perfil siniestral de la actividad agrícola CIIU111252.

Código de Forma	Definición	Gravedad	Criticidad	Prioridad
1	Caída de personas a nivel	Alta	No Critico	CA-P3
2	Caída de personas de altura	Alta	No Critico	CA-P3
4	Caída de objetos	Baja	No Critico	CC-P5
6	Pisada sobre objetos	Baja	No Critico	CC-P5
7	Choque contra objetos	Alta	Critico	AA-P1
8	Golpes por objetos (excepto caídas)	Baja	Critico	AC-P3
9	Aprisionamiento o atrapamiento	Alta	Critico	AA-P1
10	Esfuerzo físico excesivo o falsos movimientos	Alta	Critico	AA-P1
11	Exposición a frío	0	0	0
14	Exposición a radiaciones no ionizantes	Baja	No Critico	CC-P5
15	Exposición a productos químicos.	Baja	Critico	AC-P3
16	Contacto con electricidad	Baja	Critico	AC-P3
17	Contacto con productos químicos	Baja	No Critico	CC-P5
18	Contacto con fuego	0	0	0
19	Contacto con materiales calientes o	Alta	Critico	AA-P1

Código de Forma	Definición	Gravedad	Criticidad	Prioridad
	incandescentes			
22	Explosión o implosión	Baja	Critico	AC-P3
24	Atropellamiento por animales o eventos que involucren animales	Alta	Critico	AA-P1
25	Mordeduras de animales	Baja	No Critico	CC-P5
26	Choque de vehículos o actos que involucren vehículos	Alta	Critico	AA-P1
27	Atropellamiento por vehículos	Alta	Critico	AA-P1
29	Agresión física con o sin armas	Baja	No Critico	CC-P5
30	Proyecciones de Objetos	Baja	Critico	AC-P3
31	Cortes o pinchaduras con Objetos	Baja	No Critico	CC-P5
99	Otras formas (elaborar informe especial)	Baja	No Critico	CC-P5

De las columnas código de forma y prioridad de la tabla 7, se obtuvo el espectrograma de la actividad agrícola CIIU111252, aplicando el mismo formato que el espectrograma obtenido para el CIIU1, Ref. [5], Dichos valores se representan en Tabla 8.

Tabla 8. Espectograma del CIIU111252

1	CA	9	AA	17	CC	26	AA
2	CA	10	AA	18		27	AA
4	CC	11		19	AA	29	CC
6	CC	14	CC	22	CA	30	CA
7	AA	15	CA	24	AA	31	CC
8	CA	16	CA	25	CC	99	CC

3.7. Comparación de espectogramas

Obtenido el perfil siniestral del CIIU111252, se compararon los datos de la Tabla 8 con el espectograma del CIIU1, Ref. [5]. Los datos se muestran en Tabla 9.

Tabla 9. Espectogramas

	CIIU 1	CIIU 111252
código de forma	PRIORIDAD	PRIORIDAD
1	CA	CA
2	CA	CA
4	CC	CC
6	CC	CC
7	AA	AA
8	AC	AC
9	AC	AA
10	AC	AA
11	CC	
14	CC	CC
15	AC	AC
16	CC	AC
17	CC	CC
18	CC	
19	CC	AA
22	CC	AC
24	AC	AA
25	AC	CC
26	AC	AA
27	AC	AA
29	AC	CC
30	AC	AC
31	CC	CC
99	CC	CC

4. DISCUSIÓN

La gravedad es la medida que expresa la relación entre la cantidad de días perdidos y la cantidad de siniestros, para cada uno de los códigos de formas de accidentes del CIIU111252, comparado respecto a los días perdidos y cantidad de siniestros de la muestra, CIIU1. A su vez, la criticidad manifiesta la relación de gravedad de cada código de forma dentro del CIIU analizado, respecto de la muestra. En Tabla 3 los valores de frecuencia indicaron cuales son los accidentes de mayor presencia, por lo tanto debe emplearse estos como referencia para el trabajo de prevención dentro de la actividad. En la Tabla 3 se observaron nueve códigos de forma, CF, con gravedad alta, los cuales son CF1; CF2; CF7; CF9; CF10; CF19; CF24; CF26 y CF27. En Tabla 4 se observo que el CIIU111252 tiene un promedio de 18 días caídos/siniestro, cantidad que es mayor que la del promedio del CIIU1 con 16.5 días caídos/siniestro. Se analizaron los

registros de Tabla 4 y Tabla 7 y al considerar valores de días caídos/siniestro superiores a 16.5, se obtuvieron los mismos nueve códigos de forma con gravedad alta, que superaron este valor. De los cuales 7 códigos de forma tienen prioridad 1 (CF; CF9; CF10; CF19; CF24; CF26 y CF27) y los CF1 y CF2 con prioridad 3. Si bien los CF1 y CF2 tienen una alta gravedad y baja criticidad, los promedios de días caídos/siniestro son superiores al valor de la media de la muestra o CIIU1. En Tabla 5 los valores positivos de la DMD_{CFx} corresponden a aquellos accidentes para cada código de forma, donde la cantidad de siniestros es superior a la de la muestra. El mismo criterio se tiene para valores negativos. Estos valores positivos y negativos nos da una idea de la mayor o menor criticidad de los códigos de forma del CIIU111252. De los valores obtenidos de la Diferencia del Margen de Diferencia, se definió la criticidad como crítica, cuando DMD>0, media, cuando DMD=0 y no crítica, cuando DMD<0. Para una DMD>0, los valores de gravedad para el código de forma del CIIU111252 son mayores a los registros de gravedad de la muestra (CIIU 1). Se relacionaron los datos de Tabla 3 y Tabla 5 y se obtuvieron 12 CF críticos, de los cuales 7 CF tienen alta gravedad (CF7; CF9; CF10; CF19; CF24; CF26 Y CF27) y los 5 CF restantes (CF8; CF15; CF16; CF22 Y CF30) con baja gravedad y días caídos/siniestro menores a 16.5 (valor medio de la muestra). A cada código de forma, según su naturaleza, se lo relaciono con un determinado riesgo, Ref. [5]. De Tabla 8 y Tabla 9, los códigos de forma con prioridad 1 presentaron riesgos ergonómicos; CF10, riesgo físico; CF19, riesgo mecánico; CF7 y CF9 y riesgo de transporte y desplazamiento; CF24, CF26 y CF27. De los código de forma con prioridad 3, los mas importantes fueron los CF1 y CF2 por presentar alta gravedad y un promedio de 20.9 y 20.8 días caídos/siniestro respectivamente, mayores a la media de la muestra. Estos últimos códigos de forma presentaron riesgos mecánicos.

5. CONCLUSIÓN

La actividad agrícola, CIIU111252, presentó códigos de forma de accidentes con prioridades relevantes, que se pueden considerar como puntos críticos. El CIIU111252 con un 43.5% de días caídos del 100% de la muestra, cuenta con más días caídos/siniestro que la media de la muestra. De los 22 códigos de forma del CIIU111252 analizados, el 41% de esos, o sea, 9 códigos de forma son los que tienen alta gravedad, criticidad y mayores días caídos/siniestro, de los cuales el 78% de estos 9 CF tienen prioridad 1. En cuanto a los riesgos asociados a los códigos de forma, Ref. [5], el 77% de los mismos lo integran dos tipos de riesgos, el mecánico con un 44% y el de transporte y desplazamiento con un 33%. De las tareas de laboreo que se realizan en los viñedos, como poda, desbrote, atadura y raleo, control de heladas y plagas, fertilización, laboreo del suelo, control de malezas, riego, cosecha y la utilización de tractores y maquinaría agrícola, los riesgos más predominantes en el CIIU111252 son el mecánico y los relacionados con el transporte y desplazamiento. Con la obtención de curvas y el espectrograma característico del CIIU 111252, el profesional de Seguridad e Higiene Laboral tiene un conocimiento general sobre el perfil siniestral de la actividad agrícola y de los códigos de forma con sus riesgos asociados, de esta manera es posible idear estrategias para la prevención de accidentes en la actividad agrícola e implementar planes de seguridad y capacitaciones. Este trabajo puede ser utilizado en posteriores estudios como referencia, además la aplicación de la metodología estadística utilizada puede hacerse extensiva a todas las ART que trabajen en la actividad agrícola.

REFERENCIAS

[1] Superintendencia de Riesgos en el Trabajo, http://www.srt.org.ar. Página en castellano. Fecha de captura: 20/5/2008.

[2] Ley Nacional N° 24.557/1996, de Riesgos del Trabajo.

[3] Trabajo de investigación "Convalidación de datos de siniestros laborales registrados por una ART" Ing. Julieta Quiroga P. (2006).

[4] Trabajo de investigación "El perfil siniestral de la agricultura" Ing. Dino Calori P. (2006).

[5] Trabajo de investigación "Desarrollo de metodología para la evaluación y cuantificación de siniestros laborales" Ing. Gabriel Mattolini P. (2006).

Mejora del proceso de software en micro y pequeñas organizaciones

N.C. Dumit Muñoz & G. Mercado

ndumit@frm.utn.edu.ar & gmercado@frm.utn.edu.ar
Grupo de Investigación y Desarrollo en Tecnologías de Información y las Comunicaciones (GridTICs), Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional

R.O. Moralejo, S. Navarría, M.J. Barrionuevo, C. Carrilllo Castillo & L. Palá Caso

raul.moralejo@um.edu.ar & salvador.navarria@um.edu.ar & pupy5@hotmail.com & cele_carrillo@hotmail.com & lisandropa2004@yahoo.com.ar
Instituto de Calidad en Tecnologías de la Información (ICTI), Facultad de Ingeniería, Universidad de Mendoza

RESUMEN: En los últimos años han aparecido un gran número de estándares y propuestas internacionales y regionales relacionadas con mejora de procesos software (SPI) para micro y pequeñas empresas software (VSEs). Esto evidencia el creciente interés en la comunidad de Ingeniería de Software en abordar el tema de SPI para VSEs. Este creciente interés se suscita porque la industria del software en la mayoría de los países está formada en gran parte por este tipo de empresas. Es importante fortalecer a las VSEs con prácticas y guías eficientes de Ingeniería de Software adaptadas a su tamaño y tipo de negocio. En este artículo se presenta una valoración de los conocimientos sobre modelos y estándares de evaluación y mejora del proceso de software, y una herramienta para ser aplicada en micro y pequeñas organizaciones de software.

Palabras clave: evaluación – mejora – proceso de software – modelos – estándares

ABSTRACT: In recent years, several standards and international and regional proposals related to software processes improvement (SPI) for very small software enterprises (VSEs) have appeared. This evidences the increasing interest in the subject of SPI for VSEs by the Software Engineering community. This growing concern is due to the fact that this type of companies in most of the countries largely forms the software industry. It is important to strengthen the VSEs with efficient practices and guides of Software Engineering adapted to their size and business orientation. This article presents an assessment about knowledge on models and standards of evaluation and improvement of the software process, and a tool to be applied to micro and small software organizations.

Key Words: evaluation – improvement – software process – models – standards.

1 INTRODUCCIÓN

El presente trabajo forma parte de un proyecto mayor que está siendo ejecutado en forma conjunta por la Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza y la Universidad de Mendoza – Facultad de Ingeniería.

A principios del siglo XXI la comunidad de Ingeniería del Software (industria e investigadores) ha expresado especial interés en la mejora de procesos software (conocida por las siglas SPI, del término en inglés Software Process Improvement) en micro y pequeñas empresas desarrolladoras de software con menos de 50 empleados (a las cuales se hace referencia en el presente artículo por la sigla VSEs del término en inglés Very Small Software Enterprises). Esto se evidencia por el creciente número de artículos que tratan el tema según el análisis de la tendencia de las publicaciones de mejora de procesos en micro, pequeñas y medianas empresas presentado en [1], así como por la aparición de un gran número de estándares y propuestas internacionales y regionales relacionadas con SPI para VSEs.

Este creciente interés acerca de SPI en VSEs, se suscita porque este tipo de empresas son una pieza muy importante en el engranaje de la economía mundial, además la industria del software en la mayoría de los países está formada por un tejido industrial compuesto en gran parte por VSEs. En Europa el 85% de las compañías del sector de las tecnologías de la información son muy pequeñas, entre 1 y 10 empleados [2]. En Iberoamérica el 75% de las empresas software tienen menos de 50 empleados [3]. Además según [4] aproximadamente el 94% de empresas que desarrollan software son pequeñas.

Este tipo de organizaciones desarrollan productos significativos que, para su construcción, necesitan estrategias, prácticas y/o guías eficientes de ingeniería del software adaptadas a su tamaño y tipo de negocio.

Siguiendo esta premisa es importante entonces ayudar a estas organizaciones a entender y usar las prácticas ofrecidas por los estándares/modelos y propuestas internacionales, tales como Bootstrap [5], ISO 9001-2000 [6], ISO/IEC 15504 [7] o CMMI [8], y regionales relacionadas con SPI para VSEs, tales como Moprosoft [9].

La estrategia es el uso de una herramienta, que facilite a las VSEs emprender un proceso de evaluación y mejora.

Además de la presente introducción el artículo presenta en la sección 2 los objetivos. En la sección 3 se describe el instrumento utilizado para la recogida de datos, y en la sección 4 se explica la metodología utilizada para el desarrollo de la Herramienta.

Los resultados obtenidos se muestran en la sección 5 y finalmente se detallan las conclusiones y futuros trabajos (sección 6).

2 OBJETIVOS

- Obtener conocimientos sobre los aspectos técnicos de los modelos y estándares de evaluación y mejora del proceso de software.
- Desarrollar una herramienta para la evaluación y mejora de procesos en pequeñas organizaciones software.

Los objetivos se han logrado, no obstante se ha seguido trabajando en la obtención de conocimientos sobre los modelos y estándares de evaluación y mejora del proceso de software, y en la actualización de la herramienta.

3 INSTRUMENTO UTILIZADO PARA LA RECOGIDA DE DATOS

El instrumento VAMEPS [10] utilizado para la valoración de los aspectos técnicos (Arquitectura, Método de Evaluación, Proceso de Mejora, y Herramientas) de los modelos y estándares de evaluación y mejora del proceso de software, fue diseñado y validado en el marco de la Tesis Doctoral titulada "Enseñanza de Modelos y Estándares de Evaluación y Mejora del Proceso de Software desde la perspectiva CTS (Ciencia, Tecnología y Sociedad)" [11].

Las poblaciones sobre las cuales se trabajó son de 36 alumnos (año 2005) y 35 alumnos (año 2006) que cursaron la materia Aseguramiento de la Calidad del Software, en la Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza, quinto año de la Carrera "Ingeniería en Sistemas de Información". En ambas ocasiones el dictado de la materia estuvo a cargo del Profesor Adjunto Ing. Raúl Omar Moralejo y del Jefe de Trabajos Prácticos Ing. Nerina Dumit.

4 DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA

El ciclo de vida elegido fue iterativo, planificado en cuatro iteraciones:
Iteración 1 – Viabilidad:
Se efectuó un análisis de los sistemas existentes, identificando posibles mejoras y definiendo los requerimientos de alto nivel del nuevo sistema. Se estimó el esfuerzo necesario para el desarrollo del sistema y se estableció el plan general del proyecto.
Iteración 2 – Arquitectura:
Se definió la arquitectura del sistema, contemplando los mecanismos principales de funcionamiento. Se construyó un prototipo operativo que incluía las interfaces gráficas (con navegación y guías), el almacenamiento y recuperación de archivos de evaluación, y la asistencia en la evaluación de los procesos y prácticas.
La realizó la carga de las áreas, procesos para cada área, y prácticas asociadas a la mismas.
Iteración 3 – Construcción:
Se completó la funcionalidad del prototipo operativo, cubriendo los requerimientos restantes (carga de empresas, proyectos, generación de reportes, evaluación completa de todas las áreas, seguridad).
Iteración 4 – Cierre:
Se completó la documentación técnica, manual de usuario y se efectuaron las pruebas de aceptación del sistema.

5 RESULTADOS

5.1. *Valoración de los conocimientos sobre los modelos y estándares de evaluación y mejora del proceso de software.*

Año 2005: La media de la edad es de 25 años, corresponde un 58% a hombres (cantidad: 21) y un 42% a mujeres (cantidad: 15), donde el 86% tiene experiencia laboral (19 hombres – 12 mujeres), frente a un 14% sin experiencia laboral (2 hombres – 3 mujeres).
Año 2006: La media de la edad es de 25 años, corresponde un 66% a hombres (cantidad: 23) y un 34% a mujeres (cantidad: 12), donde el 80% tiene experiencia laboral (28), frente a un 20% sin experiencia laboral (7).
En ambos casos, el porcentaje del alumnado que tiene experiencia laboral es alto, por tal motivo los datos relevados respecto a los aspectos de los modelos y estándares son interesantes, debido a que refuerza la importancia de las opiniones de estas personas frente al conocimiento y percepción que tienen de los modelos y estándares de evaluación y mejora del proceso de software.
Valoración Arquitectura:
Teniendo en cuenta las opciones Muy de Acuerdo y De Acuerdo, el orden de importancia con mayor porcentaje promedio (años 2005 y 2006) de elección es para Bootstrap (80.1%), MoProSoft (76.1%), CMMI (73.2%), ISO/IEC 15504 (70.45%), e ISO 9001 (60.85%). Ver Tabla 1.
Valoración Método de Evaluación:
Teniendo en cuenta las opciones Muy de Acuerdo y De Acuerdo, el orden de importancia con mayor porcentaje promedio (años 2005 y 2006) de elección es para CMMI (78.75%), Bootstrap (77.45%), MoProSoft (67.45%), ISO 9001 (66.45%) e ISO/IEC 15504 (59.4%), e. Ver Tabla 2.
Valoración Proceso de Mejora:
Teniendo en cuenta las opciones Muy de Acuerdo y De Acuerdo, el orden de importancia con mayor porcentaje promedio (años 2005 y 2006) de elección es para Bootstrap (90.2%), CMMI (67.5%), ISO 9001 (65%), ISO/IEC 15504 (63.55%), y MoProSoft (56.15%). Ver Tabla 3.
Valoración Herramientas:
Teniendo en cuenta las opciones Muy de Acuerdo y De Acuerdo, el orden de importancia con mayor porcentaje promedio (años 2005 y 2006) de elección es para CMMI (64.9%), Bootstrap (60.65%), ISO/IEC 15504 (59.35%), ISO 9001 (49.55%), y MoProSoft (43.9%). Ver Tabla 4.

Tabla 1. Valoración Arquitectura

Valoración en Porcentaje (%)	BOOTSTRAP		ISO/IEC 15504		CMMI		ISO 9001		MoProSoft	
	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006
Muy de acuerdo	19.4	11.4	5.6	5.7	16.7	14.3	0	17.1	22.2	11.4
De Acuerdo	69.4	60.0	63.9	65.7	61.1	54.3	38.9	65.7	47.2	71.4

Tabla 2. Valoración Método de Evaluación

Valoración en Porcentaje (%)	BOOTSTRAP		ISO/IEC 15504		CMMI		ISO 9001		MoProSoft	
	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006
Muy de acuerdo	25	0	2.8	2.9	16.7	5.7	2.8	17.1	13.9	0
De Acuerdo	55.6	74.3	41.7	71.4	69.4	65.7	44.4	68.6	63.9	57.1

Tabla 3. Valoración Proceso de Mejora

Valoración en Porcentaje (%)	BOOTSTRAP		ISO/IEC 15504		CMMI		ISO 9001		MoProSoft	
	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006
Muy de acuerdo	8.3	20.0	8.3	5.7	19.4	5.7	2.8	17.1	16.7	5.7
De Acuerdo	77.8	74.3	41.7	71.4	55.6	54.3	44.4	65.7	52.8	37.1

Tabla 4. Valoración Herramientas

Valoración en Porcentaje (%)	BOOTSTRAP		ISO/IEC 15504		CMMI		ISO 9001		MoProSoft	
	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006
Muy de acuerdo	5.6	37.1	8.3	11.4	13.9	8.6	5.6	28.6	5.6	2.9
De Acuerdo	50	28.6	36.1	62.9	44.4	62.9	27.8	37.1	25	54.3

5.2. *Descripción de la herramienta*

La herramienta desarrollada cuenta con una interfaz gráfica donde se muestra un árbol de navegación con Mapa, Áreas (procesos, prácticas), Reportes, y Seguridad.

El usuario puede evaluar cada Área asignando valores de acuerdo a las guías y sugerencias indicadas (mejora del proceso) para cada uno de los proyectos que está trabajando la empresa. Todos los módulos que contiene la herramientas son configurables según las características de la organización. El conjunto de áreas, procesos, prácticas, etc. es parametrizable y puede estar basado en distintos modelos y estándares de evaluación y mejora del proceso de software. Además contiene un robusto módulo de seguridad, que permite el monitoreo de los accesos de todos los usuarios del sistema.

A continuación se muestran algunas de las pantallas de la herramienta referidas a la administración de la misma. Ver Fig. 1, 2, 3 y 4.

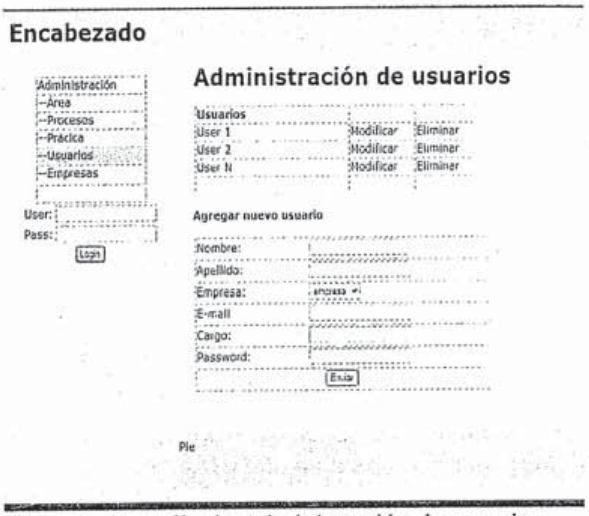


Figura 1. Pantalla de Administración de usuarios

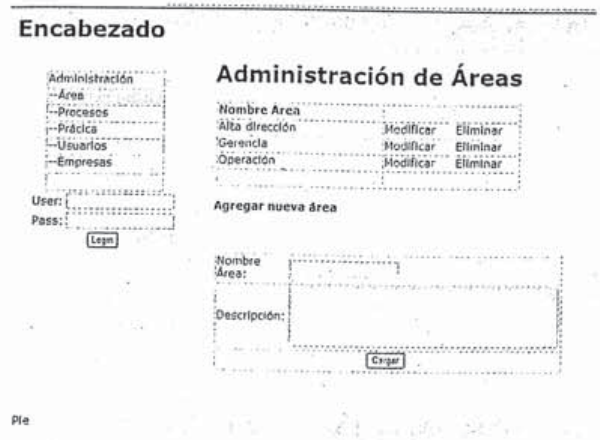


Figura 2. Pantalla de Administración de Áreas

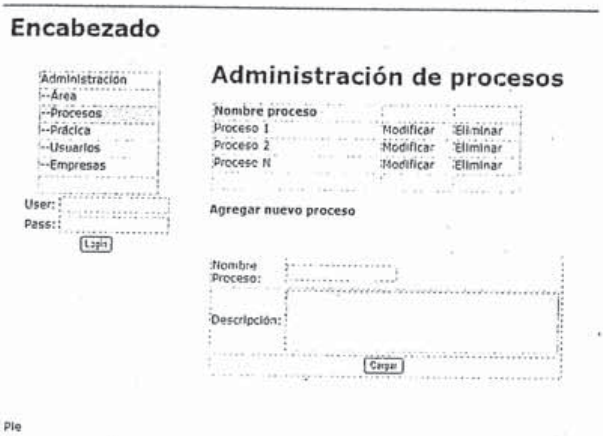


Figura 3. Pantalla de Administración de procesos

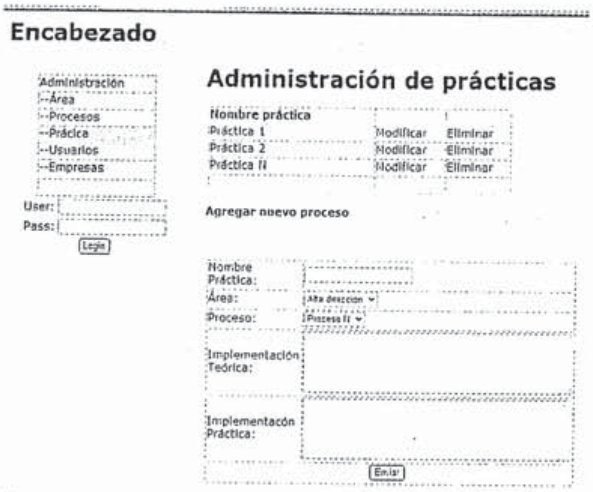


Figura 4. Pantalla de Administración de prácticas

6 CONCLUSIONES

En este artículo se ha presentado la valoración realizada por estudiantes a los modelos y estándares de evaluación y mejora del proceso de software (BOOTSTRAP, ISO/IEC 15504, CMMI, ISO 9001 y MoProSoft) y una herramienta que establece los elementos necesarios para conducir una evaluación y mejora del proceso de software en pequeñas organizaciones. La herramienta construida constituye una aplicación de asistencia en la evaluación y mejora del proceso para micro y pequeñas organizaciones software. Permite la generación de evaluaciones, cargar una guía con las mejores prácticas de acuerdo a la envergadura de la organización, la posibilidad de almacenar y recuperar las evaluaciones de todos los proyectos de la misma, seguimiento de las evaluaciones iniciadas identificando las marcas de la revisión destacándole los cambios que se producen como consecuencia de sus acciones en el sistema, portabilidad de la herramienta, y acceso vía remota.

El instrumento de recogida de datos se ha seguido aplicando durante el año 2008 con alumnos de las Universidades Tecnológica Nacional - Facultad Regional Mendoza, Universidad de Mendoza - Facultad de Ingeniería y Universidad Nacional de Chilecito - Carrera Ingeniería en Sistemas. Los datos se están procesando para luego evaluar los resultados.

Como trabajo futuro se continuará con la actualización del software teniendo en cuenta los hallazgos obtenidos a partir de su implementación y los datos relevados en la aplicación del instrumento de recogida de datos respecto a la valoración de los modelos y estándares de evaluación y mejora del proceso de software. Además se seguirá con la recogida de datos durante el año 2009, y se hará el seguimiento de la utilización de la herramienta en los proyectos de investigación que se están ejecutando en las Universidades mencionadas.

REFERENCIAS

[1] Pino, F., F. Garcia, and M. Piattini, Revisión sistemática de mejora de procesos software en micro, pequeñas y medianas empresas. Revista Española de Innovación, Calidad e Ingeniería del Software (REICIS), 2006. Vol. 2(1) Abril pp. 6-23.

[2] ESI. Europe Software Institute. 2007, htp//:www.esi.es/en/main/iitmark.html.

[3] Mayer&Bunge. Panorama de la Industria del Software en Latinoamérica. Mayer & Bunge

Informática LTDA. Brasil. 2004. www.mbi.com.br/200409_panorama_industria_software_america_latina.pdf

[4] Fayad, M.E., M. Laitinen, and R.P. Ward, Software Engineering in the Small. Communications of the ACM, 2000. Vol. 43(3) March pp. 115-118.

[5] BOOTSTRAP (Software Engineering Body of Knowledge). 2005. http://www.bootstrap.org

[6] ISO (Organización Internacional para la Estandarización). 2005. http://www.iso.org

[7] ISO (Organización Internacional para la Estandarización), http://www.iso.org; IEC (Comisión Electrónica Internacional). 2005. http//:www.iec.ch

[8] CMMI (Capability Maturity Model Integration). 2005. http://www.sei.cmu.edu/cmmi/

[9] MoProSoft (Modelo de Procesos para la Industria de Software – México). 2005. http://www.software.net.mx/

[10] VAMEPS (Valoración de Modelos y Estándares del Proceso de Software). 2004 - 2008

[11] Moralejo, R.O., Tesis Doctoral "Enseñanza de Modelos y Estándares de Evaluación y Mejora del Proceso de Software desde la perspectiva CTS (Ciencia, Tecnología y Sociedad)" - Programa de Doctorado en Enseñanza de las Ciencias y la Tecnología - Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales de la Universidad de Granada, España. 2008.

Metodología de diseño de autómatas accionados por flancos empleando SFC

J.A. Laporte, O.A. Nieto & .G. Martinelli

jlaporte@frm.utn.edu.ar, onieto@frm.utn.edu.ar & gmartinelli@frm.utn.edu.ar
Cátedra de Automatización y Control Industrial, Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional.

RESUMEN: Se presenta una metodología académica y ejemplos de diseño de sistemas secuenciales industriales, prestando especial atención en los que se utilizan en las entradas del sistema a automatizar, dado por la naturaleza del problema, la detección de flancos o flancos condicionales. Para ello en la resolución se emplea: un Gráfico Funcional Secuencial (SFC), las correspondientes ecuaciones secuenciales, y la verificación por simulación antes de su implementación. Esto le brinda al diseñador una mayor flexibilidad, lo que puede resultar en una minimización de costos, mayor confiabilidad y menor mantenimiento del mando.

Palabras clave: Redes de Petris – grafcet - sistemas secuenciales.

ABSTRACT: It is presented an academic methodology and examples of design of industrial sequential systems, paying special attention in those that are used in the entrances of the system to automate, given by the nature of the problem, the detection of flanks or conditional flanks. For it in the resolution is used: a Sequential Functional Graph (SFC), the corresponding sequential equations, and the verification for simulation before their implementation. This offers the designer a bigger flexibility, what can be in a minimización of costs, bigger dependability and smaller maintenance of the control.

Key Words: Nets of Petris – grafcet - sequential systems.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Motivación y objetivos de este trabajo.

Actualmente cuando al ingeniero o técnico en el área de automatización, de nuestro medio, se le encomienda una cotización o un diseño de una determinada aplicación, un gran porcentaje de ellos recurren al método de prueba y error, ocasionando (la mayoría de las veces) frustraciones y/o pérdidas económicas en horas–hombres empleadas en tal empresa.

Es por esta razón que la Cátedra de Automatización y Control Industrial [1] de la FRM UTN, brinda al futuro ingeniero electromecánico, un método racional de diseño (SFC), lo que se traduce en un ahorro de: $/horas-hombres en el proyecto, puesta a punto y modificaciones posteriores (pudiéndose verificar por un software de simulación de distribución gratuita, como el que brinda Triangle Research International, Inc. 2003). Además haciendo uso de las respectivas ecuaciones secuenciales, el diseñador puede elegir la tecnología (lógica cableada, dispositivos neumáticos, hidráulicas, compuertas electrónicas, software, etc.), en la implementación física del automatismo en cuestión (lo que se traduce en un ahorro de costos).

En el presente trabajo se presenta una metodología y ejemplos en el diseño e implementación de autómatas, en cuyas entradas se presenten flancos o flancos condicionados.

2. NOCIONES DE SFC

2.1 *Breve descripción*

Se considera un sistema secuencial, con múltiples entradas binarias, variantes en el tiempo (siendo una de ellas I_i) y múltiple salidas binarias, también variantes en el tiempo (siendo una de ellas S_k), según la Fig.1.

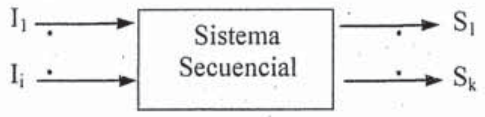


Figura 1. Sistemas de múltiples entrada-salida

El estado de este sistema se puede describir relacionando las entradas y salidas del mismo, por medio de variables auxiliares binarias denominadas etapas, cuyos desenvolvimientos se representan por medio de un Gráfico Funcional Secuencial (SFC) [2].

Según se indica en la Fig. 2, las etapas se representan con un cuadrado y una letra "E" con un número como subíndice indicando el orden que ocupa dicha etapa dentro del SFC.

Se adoptará que el orden creciente de los números de las etapas estarán dados por el orden de ejecución.

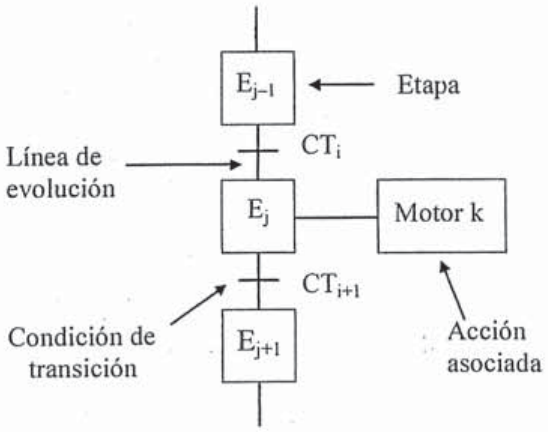


Figura 2. Elementos del SFC

Las líneas de evolución, son los segmentos verticales que relacionan entre sí dos etapas consecutivas (Fig. 2).

Las condiciones de transiciones (CT), simbolizan las condiciones lógicas necesarias (no suficientes) para que se active una (o varias) etapas inmediatamente posteriores a ellas y que se desactive una (o varias) etapas inmediatamente anteriores. Las condiciones de transiciones se simbolizan por un trazo perpendicular a las líneas de evolución.

La condición de transición puede ser una o varias variables booleanas que intervienen en el proceso; por ejemplo una señal de un final de carrera, la activación de un motor, etc. En la Fig.2, se indican tres etapas y dos condiciones de transición entre ellas.

La acción asociada a una etapa, corresponde a la salida S_j del sistema.

En una etapa puede existir o no acciones asociadas a ella. Las acciones que llevan asociadas las etapas se representa con un rectángulo donde se indica el tipo de acción a realizar (Fig. 2).

2.2 *Reglas de evolución del SFC*

Se puede resumir una serie de reglas básicas que hay que tener en cuenta para aplicar el SFC.

1) El proceso se descompone en etapas, que serán

activadas en forma secuencial.
2) Ninguna, una o varias acciones pueden ser asociadas a cada etapa. En el caso de asignarse alguna acción, ésta acción sólo está activa mientras lo este la respectiva etapa.
3) Una etapa E_j se activa cuando la precedente, E_{j-1} lo está y la condición de transición entre las etapas, CT_i, ha sido activada.
4) La activación de la etapa siguiente E_j implica la desactivación de la precedente, E_{j-1}.
5) La etapa inicial E_0 tiene que ser activada antes de que se inicie el ciclo del SFC.

3. ECUACIONES SECUENCIALES

Para que las ecuaciones lógicas (que rijan el comportamiento de las etapas) respeten las reglas de evolución del SFC 3) y 4), se debe verificar que:
Cuando E_{j-1} y CT_i valgan 1, se debe activar E_j.
Cuando E_j y CT_{i+1} valgan 1, se debe desactivar E_j.
Es decir que se debe cumplir:

$$\text{Set } E_j = E_{j-1} \,.\, CT_i \;\; ; \;\; \text{Reset } E_j = E_j \,.\, CT_{i+1} \qquad (1a)$$

O lo que es equivalente:

$$\text{Set } E_j = E_{j-1} \,.\, CT_i \;\; ; \;\; \text{Reset } E_j = E_{j+1} \qquad (1b)$$

La Ec. (1a), se puede implementar con compuertas lógicas, elementos discretos neumáticos o hidráulicos, según se indica en la Fig. 3

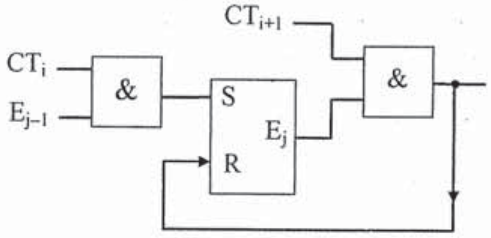


Figura 3. Implementación de la Ec.(1a)

Tanto la Ec. (1a) como la Ec. (1b), se pueden implementar en un PLC mediante el lenguaje de programación grafcet. Así para los PLC's de Schneider [3] el diagrama ladder se indica en la Fig. 4a , mientras que el listado de instrucciones en la Fig. 4b. La Ec. (1b), se puede implementar con dispositivos modulares neumáticos o hidráulicos, según se muestra en el esquema de la DIN/ISO 1219, en la Fig. 5. Así también, la Ec. (1a), se puede verificar, usando un software de simulación (como el referenciado en [4]), lo que se indica en la Fig. 6.

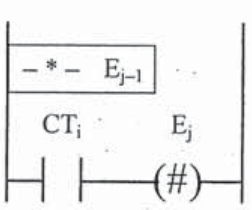


Figura 4a. Ladder del grafcet

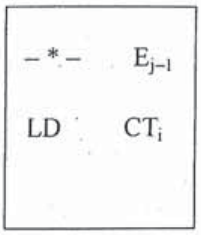


Figura 4b. Listado de instrucciones del grafcet

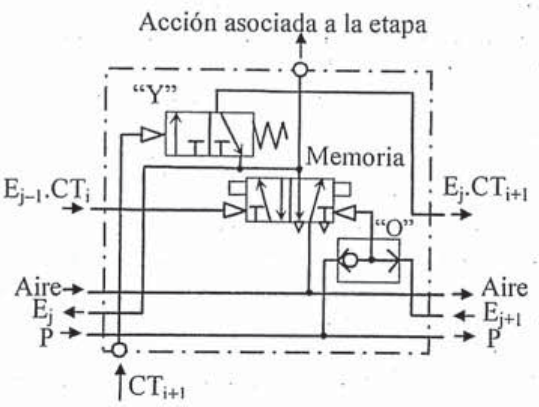


Figura 5. Implementación de la Ec.(1b) según el esquema modular según DIN/ISO 1219

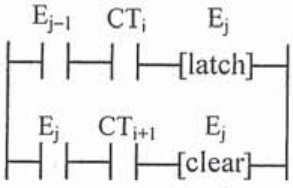


Figura 6. Ladder del simulador según la

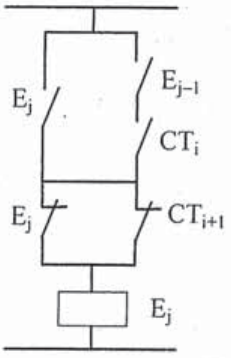


Figura 7. Realización física de la Ec.(2)

Siguiendo a [5] y empleando el concepto de variables creadora y anulatoria en una ecuación secuencial, la Ec. (1a) se puede expresar como:

$$E_j = \left[E_j + E_{j-1} \,.\, CT_i\right] . \; \overline{E_j \,.\, CT_{i+1}} \qquad (2)$$

O lo que es equivalente:

$$E_j = \left[E_j + Set\, E_j\right] \overline{\text{Re}\, set\, E_j} \qquad (3)$$

En la Fig. 7, se indica como es la implementación de la Ec. (2) empleado lógica cableada, electroneumática o electrohidráulica.

4. FLANCOS

4.1 *Flancos y su detección*

Se considera que la variable binaria H en un instante puede estar en estado lógico cero y en otro puede estar en estado lógico uno.
El pasaje de un nivel a otro se lo conoce como flanco. Si el pasaje es de 0 a 1, el cambio de nivel es positivo o el flanco es ascendente; en caso contrario es descendente.
Lo que se pretende es que, estando activada la etapa E_{j-1} en el instante t_1, al producirse un flanco ascendente en H, se active la etapa E_j, según se indica en la Fig. 8.

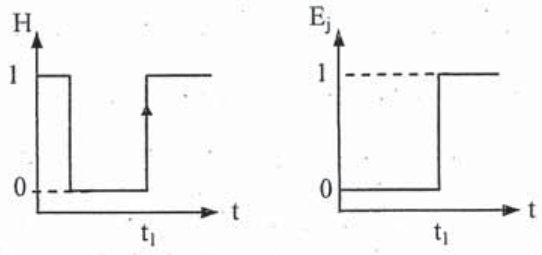


Figura 8. Flanco ascendente

La detección propuesta aplicando un SFC simplificado es la indicada en la Fig. 9, mientras que el SFC empleado se muestra en la Fig. 10. La etapa auxiliar E_{ja} se utiliza en la detección del flanco en H.

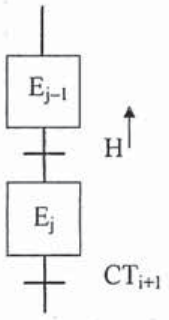


Figura 9. SFC propuesto simplificado

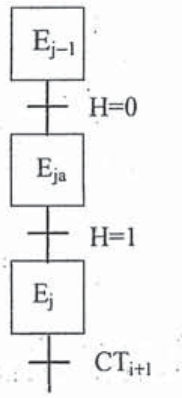


Figura 10. SFC propuesto empleado

Teniendo en cuenta la Ec. (2) y las condiciones de transición mostradas en el SFC correspondientes a la Fig. 10, las ecuaciones secuenciales que rigen el comportamiento (parcial) del mismo, están dadas por la Ec. (4).

$$\left.\begin{array}{l} E_{ja} = \left[E_{ja} + E_{j-1} \cdot \overline{H}\right] \overline{E_{ja} \cdot H} \\ \text{Set } E_{ja} = E_{j-1} \cdot \overline{H} \;\; ; \;\; \text{Reset } E_{ja} = E_{ja} \cdot H \\ E_j = \left[E_j + E_{ja} \cdot H\right] \overline{E_j \cdot CT_{i+1}} \\ \text{Set } E_j = E_{ja} \cdot H \;\; ; \;\; \text{Reset } E_j = E_j \cdot CT_i \end{array}\right\} \quad (4)$$

Se pueden implementar la Ec. (4) en grafcet en un PLC, según se muestra en la Fig. 11.

– * –	E_{j-1}
LDN	H
#	E_{ja}
– * –	E_{ja}
LD	H
#	E_j
– * –	E_j
LD	CT_{i+1}

Figura 11. Grafcet de la Ec. (4)

4.2 *Ejemplo de diseño 1*

Un motor Q mueve una corona dentada, provista de una leva que puede accionar un fin de carrera eléctrico P. El accionamiento sobre el pulsador de marcha M, provoca el funcionamiento el motor Q (esté o no accionado P). El motor se deberá detener cuando la leva acciona nuevamente el fin de carrera P (siga o no accionada la puesta en marcha M). Para hacer funcionar otra vez al motor Q es necesario accionar nuevamente el pulsador M.
Resolución del problema: al tener dos condiciones de transición consecutivas, de efectos antagónicos y al no poder precisar de antemano cual es el estado lógico de cada una de ellos en un instante determinado, es que se recurre a un SFC cuyas etapas son activadas por flancos. En la Fig. 12 se indica el SFC simplificado, mientras que en la Fig. 13 se indica un SFC detallado. Las etapas auxiliares 10 y 100, se emplearon en la detección del flanco

ascendente en las variables binarias M y P respectivamente.

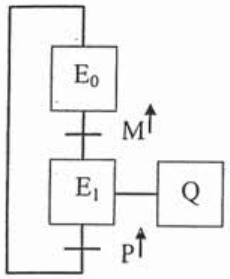


Figura 12. SFC simplificado del ejemplo 1

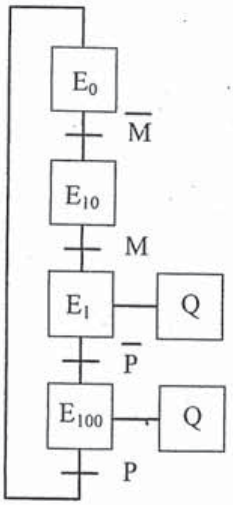


Figura 13. SFC detallado del ejemplo 1

La Fig. 14, es la verificación de este ejemplo, mediante el simulador Trilogi 5.3.

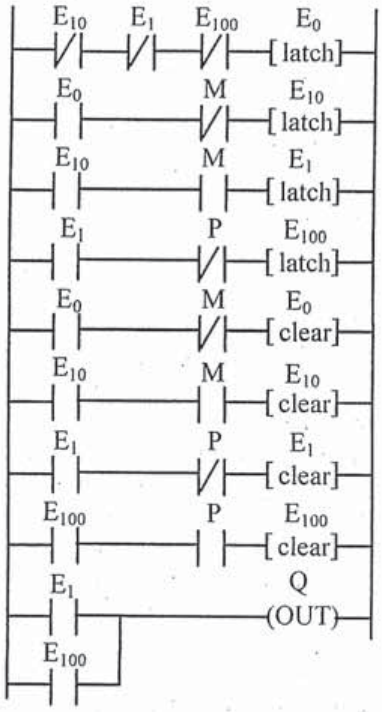


Figura 14 Ladder del simulador

La implementación física (o por software) del circuito de mando de este autómata, se logra a partir del SFC de la Fig. 13 y mediante el conjunto de ecuaciones secuenciales dada por la Ec. (4) o el listado de instrucciones del tipo de la Fig. 11.

5. FLANCOS CONDICIONADOS

5.1 *Flancos condicionados y su detección*

Se considera la variable binaria H, en la cual, se puede producir un flanco y la variable binaria C.
Lo que se pretende es que, estando activada la etapa E_{j-1} en el instante t_1, al producirse un flanco ascendente en H, estando C en estado lógico alto, se active la etapa E_j, como se indica en la Fig. 15.

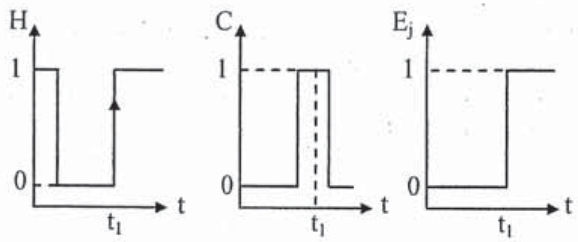


Figura 15. Flanco ascendente condicionado

La detección propuesta aplicando un SFC simplificado es la indicada en la Fig. 16, mientras que el SFC desarrollado, se indica en la Fig. 17. La etapa auxiliar Ea_1 se utiliza en la detección del flanco en H, mientras que la etapa auxiliar Ea_2 asegura que se pasará a la etapa E_j al producirse dicho flanco siempre que la variable C esté en estado alto.

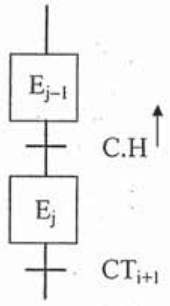


Figura 16. SFC propuesto simplificado

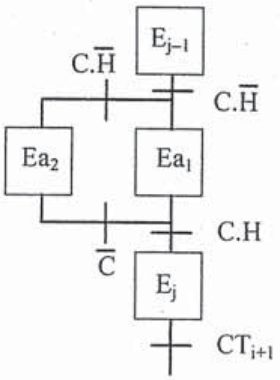


Figura 17. SFC propuesto empleado

Surge de la Ec. (2) y el SFC de la Fig. 17, la ecuación secuencial (5) que rigen el comportamiento (parcial) del mismo.

$$
\begin{aligned}
&Ea_1 = \left[Ea_1 + \left(E_{j-1} + Ea_2\right) C\overline{H}\right]\left[\overline{Ea_1\,(\overline{C}+CH)}\right] \\
&\text{Set } Ea_1 = \left(E_{j-1} + Ea_2\right) C.\overline{H} \\
&\text{Reset } Ea_1 = Ea_1\left(\overline{C}+CH\right) \\
&Ea_2 = \left[Ea_2 + Ea_1\,\overline{C}\,\right].\left[\overline{Ea_2\;C\,\overline{H}}\,\right] \\
&\text{Set } Ea_2 = Ea_1\;\overline{C}\;;\ \text{Reset } Ea_2 = Ea_2\,C\,\overline{H} \\
&E_j = \left[E_j + Ea_1\,C.H\,\right].\left[\overline{E_j\;CT_{i+1}}\,\right]
\end{aligned}
\qquad (5)
$$

Se puede implementar la Ec. (5) en grafcet en un PLC, según se muestra en la Fig. 18.

– * –	E_{j-1}
LD	C
ANDN	H
#	Ea_1
– * –	Ea_2
LD	C
ANDN	H
#	Ea_1
– * –	Ea_1
LDN	C
#	Ea_2
– * –	Ea_1
LD	C
AND	H
#	E_j

Figura 18. Grafcet de la Ec.(5)

5.2 *Ejemplo de diseño 2*

Diseñar un indicador del sentido de rotación del eje de una máquina, de tal manera que cuando gire en sentido antihorario se encienda un indicador con la letra C y cuando lo haga en sentido horario se enciende un indicador con la letra H. El dispositivo captador de información esta constituido por un disco, acoplado al eje de la máquina, y 2 sensores fotoeléctricos A y B (Fig. 19) y los correspondientes emisores. El disco citado está dividido en sectores transparentes y opacos alternativamente. El estado lógico de A y B será alto cuando reciba una señal (después de atravesar el sector transparente del disco) proveniente del respectivo emisor.

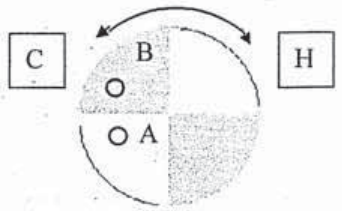


Figura 19. Sistema empleado

En la Fig. 20 se indica la secuencia de estados lógicos en A y B cuando el sentido de giro es antihorario.

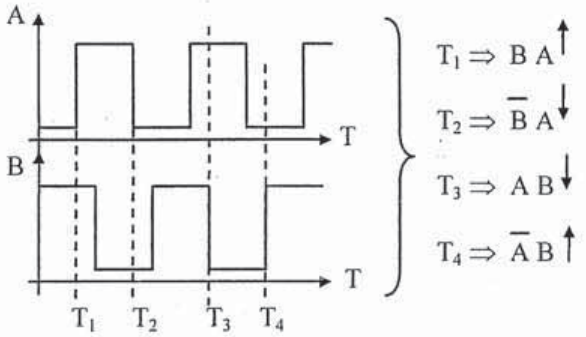


Figura 20. Secuencia para giro antihorario

En la Fig. 21 se indica la secuencia de estados lógicos en A y B cuando el sentido de giro es horario.

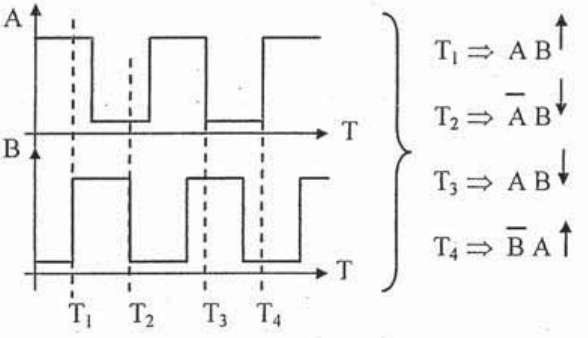


Figura 21. Secuencia para giro horario

Como se puede apreciar de la Fig. 20 y la Fig. 21, se adopta para la detección del sentido antihorario: un flanco ascendente en A con la condición de que B este en estado alto; mientras que para detección del sentido horario se adopta: un flanco ascendente en B con la condición de que A este en estado alto. Se muestra en la Fig. 22 el SFC simplificado empleado en la resolución de este problema, mientras que en la Fig. 23 se indica el SFC detallado.

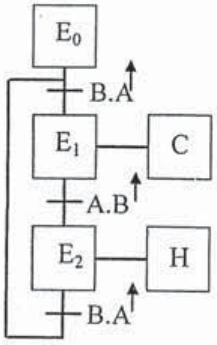


Figura 22. SFC simplificado del ejemplo 2

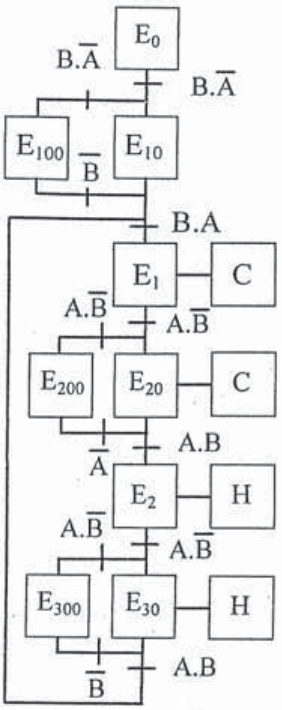


Figura 23. SFC detallado del ejemplo 2

Se indica en la Fig. 24, la verificación de este problema, mediante el diagrama ladder del simulador [4].

La implementación física (o por software) del circuito de mando de este autómata, se realiza a partir del SFC de la Fig. 23 y mediante el conjunto de ecuaciones secuenciales dada por la Ec. (5) o el listado de instrucciones del tipo de la Fig.18.

6. CONCLUSIONES

Los motivos de esta cátedra para incorporar la enseñanza de las dos estructuras de detección de flancos haciendo uso de SFC y de las respectivas ecuaciones secuenciales son: el logro de una metodología racional de diseño y dar las herramientas conducentes a que la materialización del dispositivo de mando sea independiente de la tecnología escogida.

En el diseño se hace uso de la construcción de un diagrama SFC, deduciendo a partir de él, las correspondientes ecuaciones secuenciales, para después de verificarlas por simulación, se las implementa según la tecnología adoptada por el proyectista.

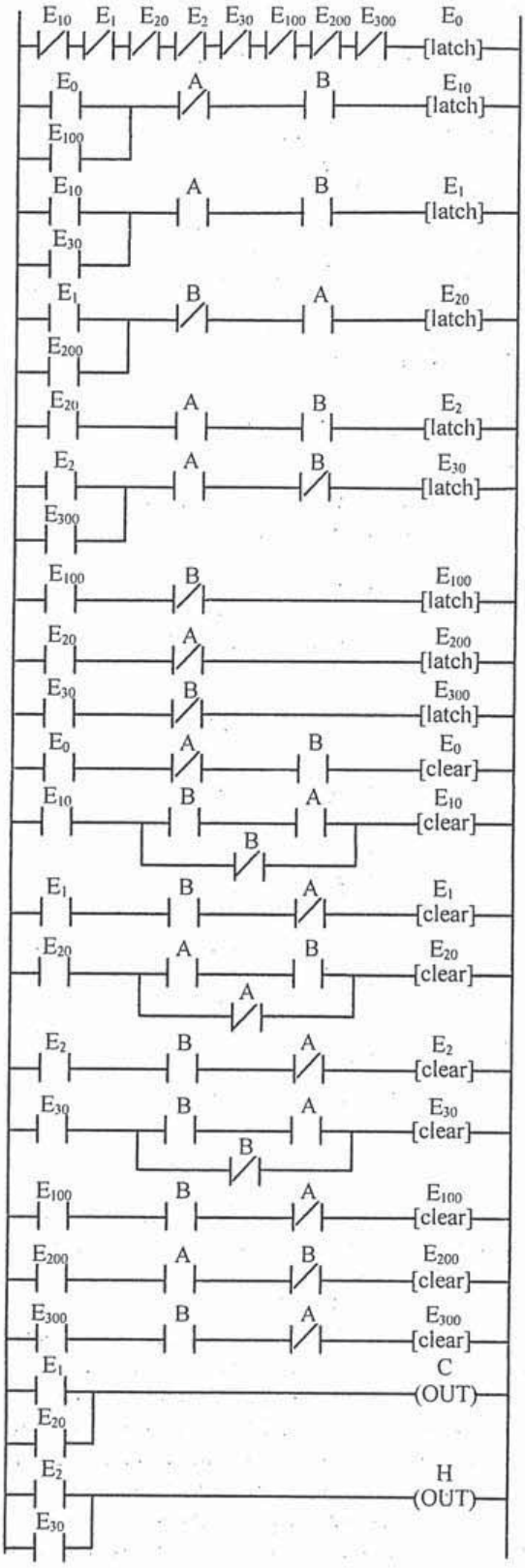


Figura 24. Ladder del simulador del ejemplo 2

La consecuencia inmediata de la utilización de estas técnicas, es que le otorgan al alumno una mayor flexibilidad en la concretización del diseño, lo que se puede traducir en un menor costo, mayor confiabilidad y menor mantenimiento del sistema de mando.

Se propone como futuro trabajo, realizar estudios sobre la descripción del comportamiento del sistema a automatizar mediante grafo de estados, obteniendo el correspondiente SFC, para después de verificarlo por simulación, dar las posibles alternativas de implementación.

REFERENCIAS

[1] J. Laporte, Apuntes de la Cátedra de Automatización y Control Industrial, Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional, (2007).

[2] Piedrafita Moreno R., Ingeniería de la Automatización Industrial, Alfaomega, México (2004).

[3] Groupe Schneider, Manual de puesta en marcha y programación TSX Nano, Madrid (1997).

[4] Triangle Research International, Inc. , Internet TRiLOGI Version 5.3, Singapore (2003). http://www.tri-plc.com

[5] A. Fernández & A. Rodríguez, Automatismos Digitales, Paraninfo, Madrid (1982).

Diseño y construcción de un filtro en microondas mediante resonadores hairpin

A.I. Balbuena, C.M. Puliafito & J. Aliquo

a.balbuena@gmail.com, carlos.puliafito@um.edu.ar & jeremias.aliquo@um.edu.ar
Instituto de Alta Frecuencia y Microondas. Facultad de Ingeniería. DICYT. Universidad de Mendoza

RESUMEN: en este trabajo se presenta de forma teórica y práctica, el diseño y construcción de un filtro pasabanda de microondas en banda L, mediante la utilización de resonadores en configuración hairpin. A través de este estudio se pretende entonces, dar una solución a la problemática actual vinculada con la reducción de tamaño de los componentes que integran un equipo de comunicaciones en microondas. Debido a que este tipo de configuración (hairpin) es muy reciente, el principal obstáculo en la tarea de investigación resultó en la escasez de bibliografía referida al tema. Es por esto que la etapa de diseño se optimizó mediante software específico para el análisis en microondas, donde se pudo comprender qué cambios eran necesarios realizar sobre los distintos parámetros de los resonadores, para lograr la respuesta en frecuencia adecuada. Se fabricó un único filtro que permitió alcanzar los objetivos propuestos, el cual mostró una respuesta en frecuencia prácticamente idéntica a la diseñada.

Palabras clave: microondas – filtro – resonador

ABSTRACT: in this work is presented in theoretical and practical form, the design and construction of a passband filter of microwaves in L band, by means of the use of resonators in a hairpin configuration. Through this study it is tried then, to give a present problematic solution related with the downsizing of the components that integrate a communications equipment in microwaves. Because this type of configuration (hairpin) is very recent, the main obstacle in the investigation task was in the shortage from bibliography referred to the subject. It is by that the design stage was optimized by means of specific software for the analysis in microwaves, where it was possible to understood what changes were necessary to make on the different parameters from the resonators, to obtain the suitable frequency response. An only filter was made wich allowed to reach the proposed objectives, showing a practically identical frequency response compared to the designed one.

Key Words: microwaves – filter – resonator

1 INTRODUCCIÓN

1.1 *Microondas*

El término microondas se refiere a las señales de corriente alterna con frecuencias comprendidas entre 300MHz y 300GHz con longitudes de onda correspondiente entre 1m y 1mm, respectivamente. Las señales con longitud de onda del orden de milímetros se denominan ondas milimétricas.
El desarrollo de componentes de microondas, estimulado por los avances en la tecnología radar, fue rápido y diverso.
Las aplicaciones militares se vieron acompañadas de un gran avance en aplicaciones comerciales, que incluyen radares para el control del tráfico aéreo, radares para predicción meteorológica, telemetría, telecomando, detectores de intrusos y control del tráfico rodado entre otros. Pero el mayor impulso ha llegado procedente de la incipiente demanda de la industria de las telecomunicaciones.

2 TECNOLOGÍA DE MICROTIRAS

2.1 *Líneas microtiras*

La línea de transmisión plana consistente de una tira conductora central espaciado del plano de tierra por una capa de dieléctrico es conocida como microstrip o microtira. La estructura general de una microtira se muestra en la Fig. 1.

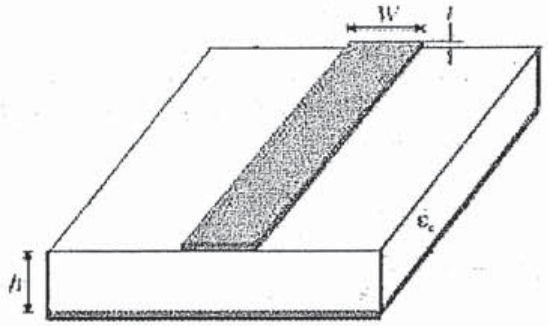


Figura 1. Línea microtira

Una tira conductora de ancho 'W' y espesor 't' se encuentra sobre el substrato dieléctrico, el cual presenta una constante dieléctrica relativa εr y un espesor 'h', para seguir luego con un plano conductor de tierra.
Las microtiras poseen la mayoría de sus líneas de campo electromagnético en la región del dieléctrico, concentradas ente la tira conductora y el plano de tierra y otra fracción en la región de aire sobre el dieléctrico mostrado en la Fig. 2.
Esto provoca que el frente de onda que se esta propagando por la microtira no sea estrictamente plano, es decir que no es un modo transversal electromagnético puro dado que habrán líneas que tendrán velocidades de fase diferentes a las de otras líneas.

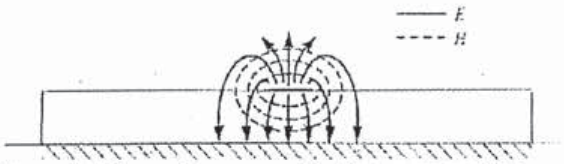


Figura 2. Líneas de campo eléctrico y magnético

De todas formas, como la mayoría de las líneas se cierran por el dieléctrico sólido y no por el aire, se podrá suponer que la velocidad de propagación estará más cercana a aquellas líneas que se propagan por el dieléctrico sólido que por el aire, por lo que se puede asegurar que el modo de propagación será 'cuasi' transversal electromagnético (TEM).
En una aproximación cuasi-TEM, se considera que un material dieléctrico homogéneo con una constante dieléctrica efectiva εre reemplaza al medio no homogéneo aire-dieléctrico de la microtira.
De este modo, las características de transmisión en una microtira pueden describirse mediante la constante dieléctrica efectiva εre y la impedancia característica Zc, las cuales dependerán no solo de las propiedades del material, sino también de las dimensiones físicas de la microtira.
De esta dependencia de Zc con las dimensiones físicas de la microtira, se pueden lograr elementos pasivos integrados como inductancias y capacidades distribuidas y así dar lugar a diversos tipos de componentes que forman parte de equipos de transmisión y recepción de señales en microondas, tales como resonadores y filtros, entre otros.

3 RESONADORES DE MICROONDAS

Los resonadores de microondas se utilizan en una variedad de aplicaciones, tales como filtros, osciladores y amplificadores sintonizados.
Cerca de la resonancia, un resonador de microondas puede modelarse tanto por un circuito equivalente serie o paralelo RLC de constantes concentradas, apreciándose en las Fig. 3 y Fig. 4.

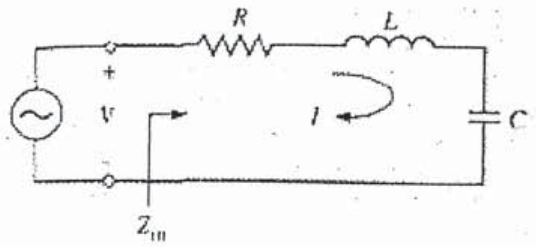


Figura 3. Circuito RLC serie

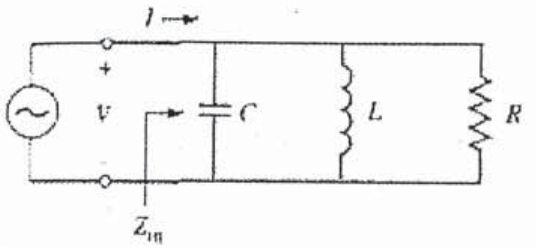


Figura 4. Circuito RLC paralelo

La impedancia de entrada del circuito RLC serie viene dada por (1) demostrándose en Ref. [1] que la misma puede ser rescrita como (2) teniendo en cuenta (3) donde $\Delta\omega$ es un desplazamiento de la frecuencia de resonancia dada en (4).
Para el circuito RLC paralelo, la impedancia de entrada estará dada por (5) la cual se demuestra en Ref. [1] que puede tomar la forma de (6).

$$Z_{in} = R + j \cdot \omega L - j \cdot 1/\omega C \quad (1)$$

$$Z_{in} = R + j \cdot 2L \cdot \Delta\omega \quad (2)$$

$$\omega = \omega_0 + \Delta\omega \quad (3)$$

$$\omega_0 = 1/\sqrt{L \cdot C} \quad (4)$$

$$Z_{in} = \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{j \cdot \omega L} + j \cdot \omega C \right)^{-1} \quad (5)$$

$$Z_{in} = \frac{R}{1 + j \cdot 2 \cdot \Delta\omega \cdot RC} \quad (6)$$

Los resonadores de microondas pueden implementarse mediante líneas de transmisión (o secciones de ellas) con diversas longitudes y terminaciones (generalmente circuitos abiertos o cortocircuitos).
Si se considera una línea de transmisión de largo $\lambda/2$ cortocircuitada en un extremo, como se muestra en la Fig. 5, caracterizada por la impedancia característica Z_0, una constante de propagación β y una constante de atenuación α, se demuestra en Ref. [2] que presentará una impedancia de entrada (7) donde se puede derivar de Ref. [1] a (8), tomando esta última expresión la forma de la impedancia de entrada de un circuito RLC serie.
Se puede implementar dicho resonador mediante microtira, mostrado en la Fig. 6.

$$Z_{in} = Z_0 \cdot tgh(\alpha + j \cdot \beta) \cdot l \quad (7)$$

$$Z_{in} = Z_0 \cdot \left(\alpha \cdot l + j \cdot \frac{\Delta\omega\pi}{\omega_0} \right) \quad (8)$$

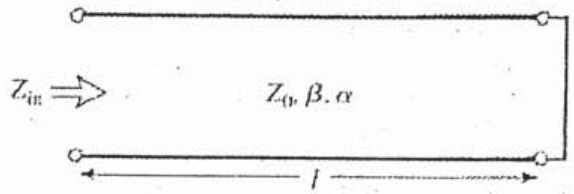


Figura 5. Línea de transmisión cortocircuitada

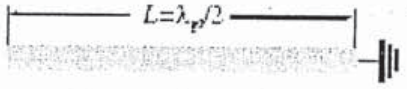


Figura 6. Resonador de microtiras de $\lambda/2$

Un tipo de resonador práctico que se utiliza en circuitos de microtira consiste en una línea de transmisión de largo $\lambda/2$ con circuito abierto, visto en la Fig. 7.
La impedancia de entrada de un trozo de línea de largo 'l' en circuito abierto resulta de Ref. [2] en (9) y como fuera dicho anteriormente, haciendo (3) se llega de Ref. [1] a (10).
Comparando con la impedancia de entrada de un circuito RLC paralelo como el mostrado en la Fig. 4 se puede obtener con esta línea de transmisión un circuito resonante paralelo.

$$Z_{in} = Z_0 \cdot \cot gh(\alpha + j \cdot \beta) \cdot l \quad (9)$$

$$Z_{in} = \frac{Z_0}{\alpha \cdot l + j \cdot (\Delta\omega \cdot \pi / \omega_0)} \quad (10)$$

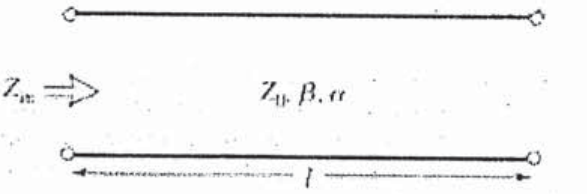


Figura 7. Línea de transmisión con circuito abierto de $\lambda/2$

4.1 *Síntesis por análisis de red*

El diseño de filtros mediante síntesis por el análisis de red comienza especificando la función de transferencia del filtro, el cual se considera como una red de dos puertos mostrada en la Fig. 8, donde V1, V2, I1 e I2 son las tensiones y corrientes en los puertos 1 y 2 respectivamente, Z01 y Z02 son las impedancias terminales (de generador y carga), t1 y t2 son los planos de referencia y E_S la tensión del generador.

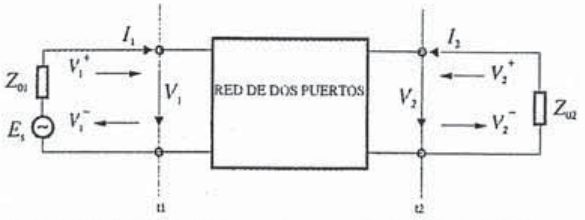


Figura 8. Red de dos puertos equivalente del filtro

Como resulta difícil la medición de tensiones y corrientes en frecuencias de microondas, debido a que la medición directa implica magnitud y fase de una onda que viaja en una determinada dirección o una onda estacionaria, se introducen las variables V1+, V2+, V1- y V2- en donde Vi+ indica ondas incidentes y Vi- ondas reflejadas de tensión. De este modo se pueden definir los parámetros S de la red de dos puertos en términos de Vi+ y Vi- Ref. [1] a través de (11) a (14) donde:

$$S_{11} = \left.\frac{V_1^-}{V_1^+}\right|_{V_2^+ = 0} \quad (11)$$

$$S_{12} = \left.\frac{V_1^-}{V_2^+}\right|_{V_1^+ = 0} \quad (12)$$

$$S_{21} = \left.\frac{V_2^-}{V_1^+}\right|_{V_2^+ = 0} \quad (13)$$

$$S_{22} = \left.\frac{V_2^-}{V_2^+}\right|_{V_1^+ = 0} \quad (14)$$

$$\left|S_{21}(j\Omega)\right|^2 = \frac{1}{1+\varepsilon^2 \cdot Fn^2(\Omega)} \quad (15)$$

$$\Omega = \frac{\Omega}{FBW} \cdot \left(\frac{\omega_0}{\omega} - \frac{\omega}{\omega_0}\right) \quad (16)$$

En estas expresiones, Vi+ = 0 implica una adaptación perfecta en el puerto i. La función de transferencia de una red de 2 puertos, es una expresión matemática del parámetro S21 Ref. [3] dada en (15), donde ε es la constante de ripple, Ω es la frecuencia angular y Fn(Ω) representa la función característica, siendo las mas conocidas las de Butterworth y Chebyshev, Ref. [4]. Una vez adoptada la función de transferencia, la síntesis del filtro resulta en un prototipo pasabajos el cual se define como una red escalera de inductancias y capacidades mostrada en la Fig. 9.

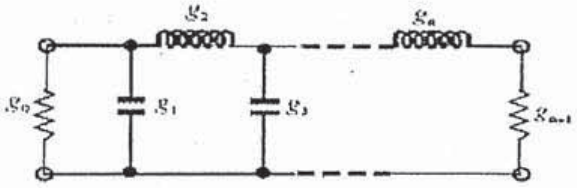


Figura 9. Prototipo pasabajos

Los valores de los elementos gi del prototipo están tabulados de acuerdo a la función de transferencia adoptada, presentándose en Ref. [3] la forma de cálculo de los mismos, así como también las expresiones para determinar el orden n del prototipo conforme a la función de transferencia elegida.
Para obtener las características en frecuencia y los valores de los elementos para la realización práctica de filtros pasabanda, se debe aplicar una transformación de frecuencias, la cual mapea la respuesta del prototipo pasabajos en el domino de la frecuencia Ω al dominio de la frecuencia ω donde se encuentra expresada la respuesta del filtro pasabanda. De esta manera, si consideramos la transformación de la respuesta de un prototipo pasabajos a una respuesta pasabanda, la cual presenta un ancho de banda de ω2 – ω1, siendo ω1 y ω2 las frecuencias de corte inferior y superior respectivamente, quedará expresada por (16) siendo ω0 la frecuencia angular central y FBW el ancho de banda fraccional de la respuesta pasabanda. Al aplicar esta transformación a los elementos reactivos del prototipo pasabajos, un elemento inductivo se transformará en un circuito resonante serie LC, mientras que un elementos capacitivo se transformará en un circuito resonante paralelo LC en el filtro pasabanda mostrado en la Fig. 10.

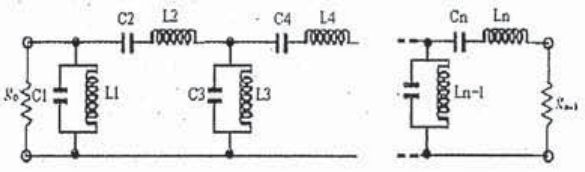


Figura 10. Filtro pasabanda

4.2 *Filtro microstrip pasabanda con resonadores de media onda en acoplamiento paralelo*

En la Fig. 11 se ilustra la estructura general de un filtro microstrip pasabanda utilizando resonadores de media onda con acoplamiento paralelo. Los resonadores se encuentran posicionados de forma que los resonadores adyacentes sean paralelos entre si a lo largo de la mitad de su longitud. Este arreglo en paralelo brinda un acoplamiento relativamente grande para un determinado espaciamiento entre resonadores, conveniente para la construcción de filtros de mayor ancho de banda comparados con otras estructuras.

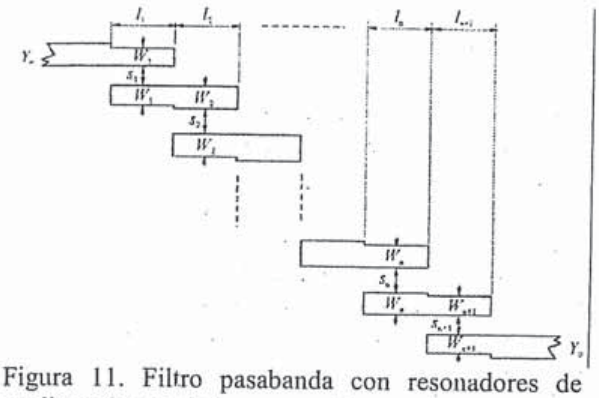


Figura 11. Filtro pasabanda con resonadores de media onda acoplados en paralelo

$$\frac{J_{01}}{Y_0} = \sqrt{\frac{\pi}{2}\frac{FBW}{g_0 g_1}} \tag{17}$$

$$\frac{J_{j,j+1}}{Y_0} = \frac{\pi FBW}{2}\frac{1}{\sqrt{g_j g_{j+1}}} \quad j = 1 \text{ a } n-1 \tag{18}$$

$$\frac{J_{n,n+1}}{Y_0} = \sqrt{\frac{\pi FBW}{2 g_n g_{n+1}}} \tag{19}$$

$$(Z_{0e})_{j,j+1} = \frac{1}{Y_0}\left[1 + \frac{J_{j,j+1}}{Y_0} + \left(\frac{J_{j,j+1}}{Y_0}\right)^2\right] \tag{20}$$

$$(Z_{0o})_{j,j+1} = \frac{1}{Y_0}\left[1 - \frac{J_{j,j+1}}{Y_0} + \left(\frac{J_{j,j+1}}{Y_0}\right)^2\right] \tag{21}$$

Las ecuaciones de diseño para este tipo de estructura están dadas por (17), (18) y (19), donde go, g1, ..., gn son los elementos del prototipo pasabajos mostrado en la Fig. 9, con una frecuencia de corte normalizada Ωc = 1, FBW es el ancho de banda fraccional, Jj,j+1 son las admitancias características de los inversores J (inversores de admitancias) ya que el espaciamiento necesario para el acoplamiento puede considerarse como un inversor de admitancias Ref. [3] e Yo es la admitancia característica de las líneas terminales. De este modo se procede a determinar las impedancias características de modos par e impar de los resonadores microstrip acoplados mediante (20) y (21), dichas impedancias caracterizan el acoplamiento paralelo entre microtiras Ref. [3]. Una vez determinadas dichas impedancias se deben calcular las dimensiones físicas de las microtiras acopladas que presenten las impedancias de modo par e impar, W1 y S1 se determinan de modo que se adapten a (Zoe)0,1 y (Zoo)0,1.

4.3 *Filtro microstrip pasabanda implementado mediante resonadores hairpin*

La principal ventaja de los filtros pasabanda con resonadores en configuración hairpin, es brindar una estructura mucho más compacta respecto de lo que pueden ofrecer otro tipo de estructuras. Conceptualmente la configuración hairpin se obtiene realizando un pliegue de los resonadores de media onda acoplados en paralelo para que tomen una forma de 'U'. Esto es lo que permite reducir la longitud y mejora la relación de aspecto de forma significativa comparada con otras estructuras. Consecuentemente, debido a que esta configuración puede considerarse como una evolución de la disposición en acoplamiento paralelo, se utilizan las mismas ecuaciones de diseño.

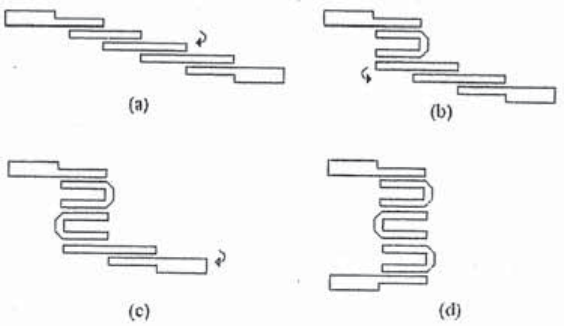


Figura 12. Evolución de una configuración de resonadores hairpin

Sin embargo al realizar el pliegue de los resonadores, es necesario tener en cuenta la reducción de la longitud de las líneas acopladas, lo que reduce el acoplamiento efectivo entre los resonadores. Del mismo modo, si los dos brazos de cada resonador hairpin no se encuentran suficientemente espaciados, los mismos también

funcionaran como un par de líneas acopladas. La longitud de los resonadores es de media longitud de onda, de modo que cada uno será de 180 grados, siendo 90 grados la longitud desde el centro hasta el fin de los mismos. De los 90 grados, θ grados son desplazados fuera de la sección acoplada, en un segmento sin acoplamiento dentro del resonador, que es lo que en definitiva da lugar al pliegue. Esto, como se explicó anteriormente, reduce la longitud de las líneas acopladas y en efecto reduce el acoplamiento entre resonadores.

Una guía práctica para escoger el factor de deslizamiento del filtro, se basa en la correlación del espaciamiento propio con el espaciamiento mutuo entre los resonadores. Estudios realizados sobre diversos casos, sugieren que el espaciamiento propio del resonador sea de 2 a 2,5 veces más largo que el espaciamiento mutuo.

5 DISEÑO PRELIMINAR

Para comenzar el diseño del filtro, primeramente se determina el orden y los coeficientes del prototipo pasabajos, como fue explicado en secciones previas para proceder a calcular las impedancias Zoo y Zoe. Una vez obtenidos estos valores y con la ayuda de software específico para el diseño en microondas se determina la longitud, espaciamiento y ancho de cada resonador hairpin.

A través de dicho software se pueden realizar simulaciones de líneas microstrip acopladas en paralelo, mediante modelos numéricos avanzados. Se pueden apreciar capturas de pantalla en las Fig. 13 y Fig. 14.

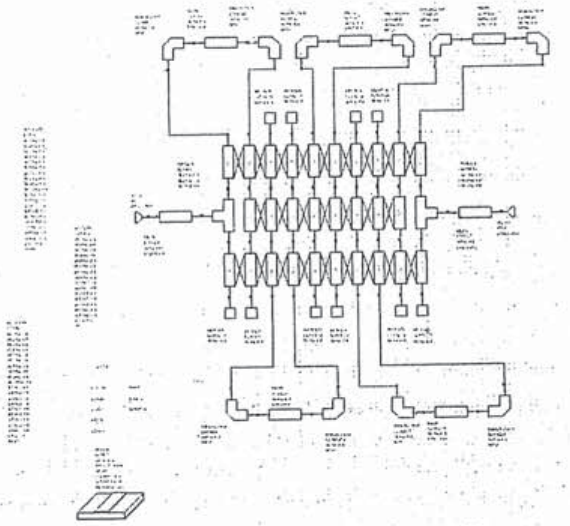


Figura 13. Simulación lineal

Para el diseño se tuvo en cuenta un filtro Butterworth de 5to orden, con una frecuencia central de 1,5Ghz y un ancho de banda de potencia mitad de 100Mhz aproximadamente, presentándose a continuación en la Fig. 14 las correspondientes respuestas en frecuencia para los parámetros S11 y S21.

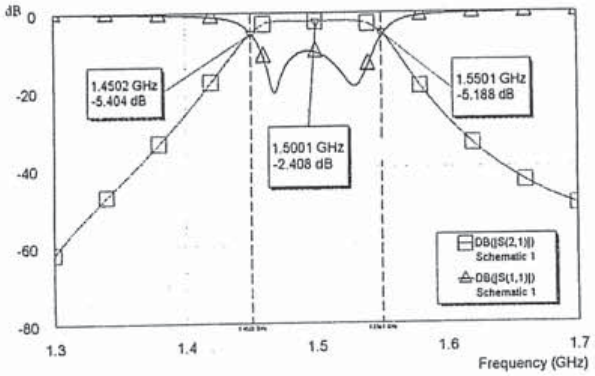


Figura 14. Respuesta en frecuencia para los parámetros S11 y S21

6 CONSTRUCCIÓN DEL FILTRO

Para la construcción del filtro, se utilizó el substrato TMM4® de Rogers Corp. el cual presenta una constante dieléctrica relativa de 0,45 ± 0,045 junto con conectores tipo SMA.

El filtro se fabricó mediante procesos de fotolitografía, logrando una precisión de ± 4 milésimas de pulgada.

El filtro construido se puede observar en la Fig. 15, donde se colocó un objeto de referencia (en este caso una moneda) para tener una noción en escala real de las dimensiones del mismo.

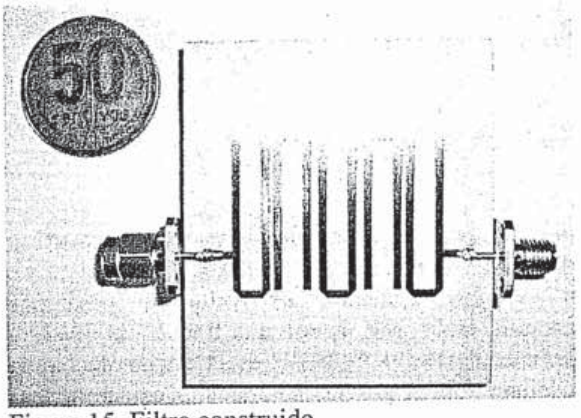


Figura 15. Filtro construido

7 MEDICIONES

En la Fig. 16 se muestra la respuesta en frecuencia del filtro construido para el parámetro S21 dentro de la banda desde 1,325Ghz a 1,625Ghz.

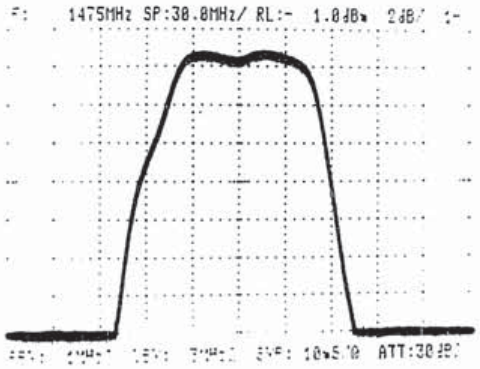


Figura 16. Banda de 1,325Ghz a 1,625Ghz

Se observa que se obtuvo una respuesta muy similar a la diseñada, en donde la frecuencia central tuvo un corrimiento descendente de 25Mhz, ubicándola en 1,475Ghz, respecto de los 1,5Ghz propuestos. El ancho de banda medido del filtro construido, resultó en 101,5Mhz respecto de los 100Mhz del filtro diseñado. La pérdida de inserción fue de 2dB aproximadamente, sin cambios apreciables en lo construido respecto de lo diseñado.
En las Fig. 17, Fig. 18 y Fig. 19 se puede apreciar con más detalle la frecuencia central, la frecuencia de corte superior y la frecuencia de corte inferior, realizando una ampliación en la medición sobre la banda pasante.

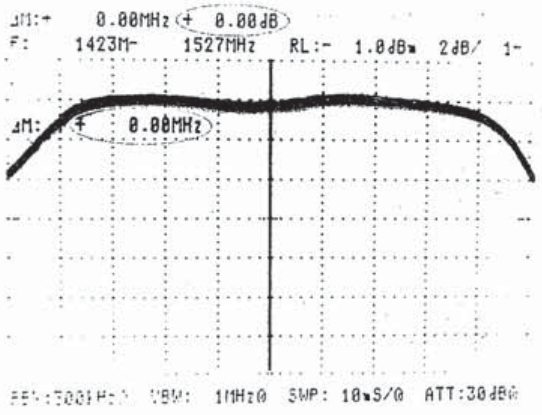


Figura 17. Frecuencia central en 1475Mhz

En la Fig. 17 se observa la frecuencia central, para la cual se configuró el analizador de espectro en 10,4Mhz por división horizontal con extremos en 1423Mhz y 1527Mhz, resultando el centro en 1475Mhz donde se fijó el nivel de referencia a 0dB.

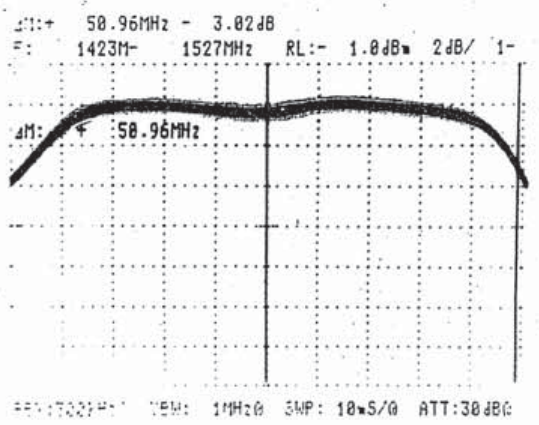


Figura 18. Frecuencia de corte superior en 1525,96Mhz

En la Fig. 18 se puede apreciar la frecuencia de corte superior para la cual se ha corrido el marcador en 50,96Mhz sobre la frecuencia central de 1475Mhz, resultando en 1525,96Mhz a -3,02dB correspondientes con el ancho de banda de potencia mitad.

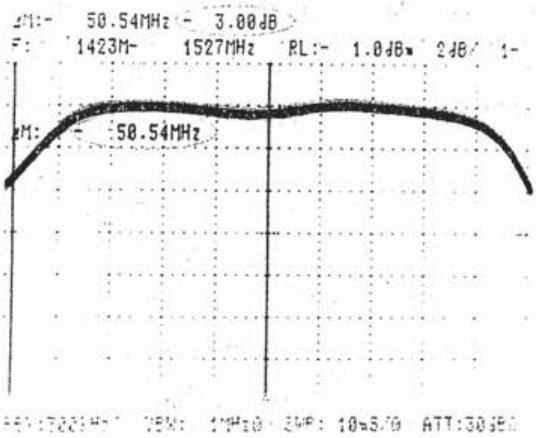


Figura 19. Frecuencia de corte inferior en 1424,26Mhz

Finalmente, se observa en la Fig. 19 la frecuencia de corte inferior, donde se corrió el marcador en forma descendente a 50,54Mhz, resultando la misma en 1424,26Mhz a -3,00dB acordes con el ancho de banda de potencia mitad.

8 CONCLUSIONES

En el presente estudio, se intentó reflejar la ventaja de la disposición de resonadores hairpin para la aplicación de filtros en microondas, teniendo en cuenta que este tipo de configuración reduce la longitud y permite mejorar la relación de aspecto con respecto a otras estructuras. De este modo, efectivamente se obtuvo un circuito de dimensiones reducidas en comparación con otras topologías.

En la etapa de diseño, mediante software específico para microondas, se logró modelar y simular la respuesta del filtro para varias iteraciones del mismo en los rangos de frecuencia deseados. Al variar distintos parámetros de los resonadores se observó que al incrementar la longitud de los mismos se afectaba la frecuencia central, mientras que el espaciamiento entre los resonadores modifica el ancho de banda.

Continuando con las mediciones del filtro construido, se pudo apreciar un corrimiento descendente de 25Mhz en la frecuencia central, ubicándola en 1,475Ghz respecto de los 1,5Ghz propuestos, resultando en un error aceptable si se considera la precisión de fabricación de ± 4 milésimas de pulgada. Respecto del ancho de banda obtenido, resultó en 101,5Mhz respecto de los 100Mhz propuestos, parámetro que se puede considerar prácticamente exacto.

Finalmente, la utilización de resonadores en configuración hairpin para la realización de filtros en microondas, se puede considerar como acertada, ya que cumple ampliamente con la tendencia actual de diseño en microondas si se tienen en cuenta las exigencias actuales en cuanto a la reducción de tamaños y volúmenes de los circuitos resultantes.

REFERENCIAS

[1] D. Pozar, Microwave Engineering, John Wiley & Sons Inc., 1998.

[2] S. Puliafito, Propagación y Radiación de Ondas Electromagnéticas. Parte II: Guías de Ondas 2° Edición, Editorial Idearium, 1985.

[3] J. Hong & M.J. Lancaster, Microstrip Filters for RF/Microwave Applications, John Wiley & Sons Inc., 2001.

[4] L. Matthaei, E. M. T. Young & L. Jones, Microwave Filters, Impedance-Matching Networks, and Coupling Structures, Artech House, 1980.

Sistema de clasificación con visión artificial

G.E. Sosa, A.F. Gonzalez & S. Leguizamon

gesosa@frm.utn.edu.ar
Grupo Génesis, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza

Resumen: Se desarrolló un sistema de clasificación con visión artificial. Este cuenta con una cinta transportadora, una zona de captura de imágenes con video cámara CCD, un sistema mecánico de selección y un computador personal tipo PC. En esta PC, se ejecutan los algoritmos de: captura de imágenes, identificación del objeto en la imagen, extracción de características aprendizaje- y clasificación. La interfase del PC con la video cámara es a través de una placa de captura. El sistema mecánico de clasificación, la cinta transportadora y la barrera infrarroja son controlados por el puerto serie (RS232) con un microcontrolador (PIC). Los programas fueron escritos en C++ para entorno windows y microchip, estos se desarrollaron íntegramente, excepto aquellas librerías propias de cada compilador.

Palabras clave: Visión Artificial, clasificación.

Abstract: We develop a classification system with artificial vision. This has the following components: a tape that transports; a field of capture of images with video camera CCD; a mechanical system of selection and a personal computer (PC). In this PC, the following algorithms are run: capture of images, identification of the object in the image, output of features and classification. The interface of the PC with the video camera is through a board of capture. The mechanical system of classification, the tape that transports and the barrier infra red is controller per the port series (RS232) with a microcontroller (PIC). The programs were written in C++ for Windows and Microchip, these they were developed entirely, except those libraries characteristic of each compiler.

Key words: Artificial vision, Growth of areas, pixels addition.

1 INTRODUCCIÓN

Es preciso reconocer que hoy por hoy la visión por computador a veces no es la mejor solución a un problema. Existen muchas ocasiones en las que el problema es tan complejo que la solución humana es lo mejor. Por ejemplo imaginemos una conducción de un vehículo en una carretera con tráfico intenso. Pero a veces, las soluciones humanas tienden a ser inexactas o subjetivas y en ocasiones lentas y presentan una ausencia de rigor así como una pobre percepción. Pero, la solución humana es menos estructurada que la solución artificial y muchos problemas de visión por computador requieren un nivel de inteligencia mucho mayor que el que la máquina pueda ofrecer. El sistema de visión humana puede describir automáticamente una textura en detalle, un borde, un color, una representación bidimensional de una tridimensional, ya que puede diferenciar entre imágenes de diferentes personas, firmas, colores, etc., puede vigilar ciertas zonas, diagnosticar enfermedades a partir de radiografías, etc. Sin embargo, aunque algunas de estas tareas pueden llevarse a cabo mediante visión artificial, el software o el hardware necesario no consigue los resultados que serían deseables. Ref. [1].

Con la capacidad computacional que existe en la actualidad es cada vez más simple y más económico implementar un sistema de clasificación con visión artificial.

En este trabajo se presenta el desarrollo de un maqueta experimental que cumple con las "funciones básicas" de un sistema de visión artificial. El objetivo por lo cual se desarrolló la maqueta experimental del SCVA es integrar los conocimientos que se tenían sobre programación, visión artificial, automatización y sistemas en tiempo real. Se pensó en la experiencia que se iba a obtener después de lograr el objetivo como una base para desarrollar un sistema comercial de mayor envergadura.

2 SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL

Un sistema de visión artificial (SVA) intenta reproducir ciertas funciones hasta ahora atribuibles a organismos biológicos (sistema de visión humano y sistema de visión animal). Centrándose en los aspectos funcionales, un SVA tradicional está constituido por las siguientes unidades: adquisición, procesamiento, segmentación, extracción de características, representación, y clasificación o reconocimiento. Ref. [3].

2.1 Adquisición

Al momento de implementar la unidad de adquisición en un SVA debemos tener en cuenta, principalmente, el censor de captura a utilizar o cámara de video y su calibración, el tipo de iluminación y el hardware para el procesamiento.

En nuestro caso la adquisición de las imágenes se hace a través de un capture frame de cuatro entradas analógicas estándar. Este se conecta a la PC a través del puerto PCI y es detectado como un dispositivo estándar de captura de imágenes. A la placa de captura se conecta la video cámara CCD con salida analógica PAL-N. El manejo del dispositivo de captura se hace a través de las librerías multimedia para C++ que posee el compilador utilizado. Ref. [4].

El tipo de iluminación es difusa y la calibración se hizo de acuerdo al modelo básico del proceso de formación imágenes. Ver Figura 1. Ref. [1].

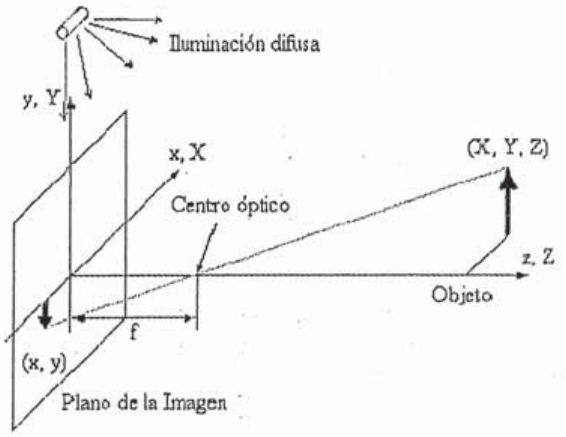


Figura 1 Modelo básico del proceso de formación de imágenes.

El modelo que muestra la Fig. 1 no tiene en cuenta la deformación introducida por la lente. En este se observa la iluminación difusa, el objeto representado por una flecha (X, Y ,Z) , la longitud focal (f) y la proyección del objeto en el plano de la imagen (x, y). La imagen se forma invertida en el censor digitalizador, este luego se encarga de colocar la imagen en su forma correcta.

2.2 Procesamiento

El procesamiento hace referencia a la transformación de la imagen original en una

nueva, con características deseadas, ecualización del histograma p.e.
En este caso no hay un procesamiento de la imagen ya que se suponemos que está apta para la próxima etapa.

2.3 Segmentación, extracción de características y representación

En este paso se utiliza un algoritmo previamente desarrollado. Este fusiona el paso de segmentación, extracción de características y representación de objetos. Las características utilizadas para la clasificación pueden seleccionarse entre la signatura, los momentos de Hu, la densidad de color, el histograma del objeto, el rectángulo que contiene al objeto, el área y la orientación, entre otros Ref. [1].
La Fig. 1 muestra el diagrama en bloques del software desarrollado para el SVA, en donde está incluido el algoritmo de extracción de características, más la etapa de aprendizaje y clasificación.

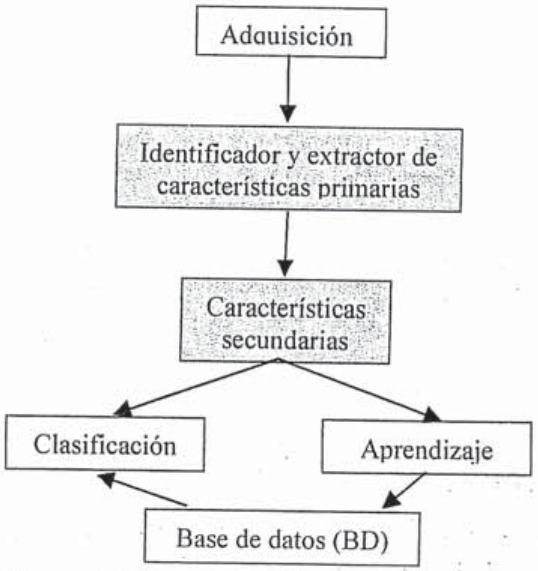


Figura. 2 Diagrama en bloques del software del SVA desarrollado en tiempo real.

2.4 Clasificación o reconocimiento

Los enfoques en reconocimiento de patrones pueden distinguirse en estadístico (teoría de la decisión), sintáctico (o estructural), redes neuronales artificiales y reconocimiento basado en la apariencia. Ref. [1].

En este caso, para la clasificación se usa la teoría de decisión de Bayes (enfoque estadístico), en esta se desarrollaron los clasificadores de mínima distancia.
La teoría de la decisión de Bayes es un método estadístico clásico en clasificación de patrones. Se basa en el supuesto de que el problema de la decisión se enfoca en términos probabilísticas y que todas las probabilidades relevantes resultan conocidas. Ref. [2].
Una imagen pude ser caracterizada por una serie de datos numéricos o simbólicos. Ref [3].
Un ejemplo suele aclarar todo, como ejemplo de datos numérico tenemos el área de una región en una imagen. Esta se puede usar para clasificar por tamaño los objetos en una escena. Cada dato o conjunto de datos que caracterice a una clase en particular la llamamos prototipo de clase y al conjunto de datos del objeto a clasificar lo llamaremos vector característico.
El concepto es: A partir de una serie de prototipos, guardados en una BD, se calcula la distancia entre cada uno de estos y el vector característico del objeto que se quiere clasificar. Aquel prototipo que este más cerca o que cumpla con un umbral le corresponde el vector característico entrante.
Supóngase los siguientes prototipos de áreas de regiones.
$A_1 = 10\,(pixel)$; $A_2 = 20\,(pixel)$; $A_3 = 30\,(pixel)$;
El objeto que se quiere clasificar tiene:

$$A = 15\,(pixel)$$

Usado la distancia de Euclides:

$$[d_1(A, A_1) = d_2(A, A_2)] < d_3(A, A_3) \qquad (1)$$

Entonces A no pertenece A_3 pero se tiene incertidumbre ya que está a igual distancia de A_1 y A_2 .Se podría solucionar cambiando la condición de cercanía, colocando una condición de umbral o usando otra distancia que tenga en cuenta la varianza o covarianza de la muestra.

$$d_i(A, A_i) \leq Umbral_i \qquad (2)$$

Si el vector característico tiene más de una dimensión se puede usar la distancia de Mahalanovis. Ref. [1]. Ref. [4].

$$d_i(X, X_i) = (X - X_i)C^{-1}(X - X_i)^T \qquad (3)$$

Donde X y X_i son vectores característicos n dimensionales, C^{-1} es la covarianza y T es la matriz transpuesta.

Para la clasificación propuesta necesitamos obtener los prototipos. Esto se realiza en el bloque de Aprendizaje.

2.4.1.1 Aprendizaje

El aprendizaje es el proceso de estimación de una dependencia desconocida (entrada, salida) o estructura de un sistema utilizando un número limitado de observaciones. El esquema de aprendizaje incluye tres componentes (Fig. 2): un generador de vectores de entrada aleatorio, un sistema que proporciona una salida para un vector de entrada dado y una maquina de aprendizaje que estima una relación desconocida (entrada, salida) del sistema a partir de las muestras observadas.
Generador, el generador o distribución de muestras produce vectores aleatorios $X \in \Re^d$, estos vectores determinan una función de densidad de probabilidad $p(X)$, que es desconocida.
Sistema, el objetivo del aprendizaje consiste en estimar las dependencias desconocidas entre las variables de entradas X y de salida Y a partir de un conjunto de observaciones pasadas de valores (X, Y). El conjunto de variables Z indican el resto de factores que afectan a las salidas pero que no son observados o controlados.
Maquina de aprendizaje, en el caso mas general, la maquina de aprendizaje es capaz de implementar un conjunto de funciones $f(X, W) \in \Omega$ en donde Ω es un conjunto parámetros abstractos utilizados únicamente para indexar un conjunto de funciones. Dichas funciones deben ser elegidas previamente al comienzo del proceso de aprendizaje. Vides cámara

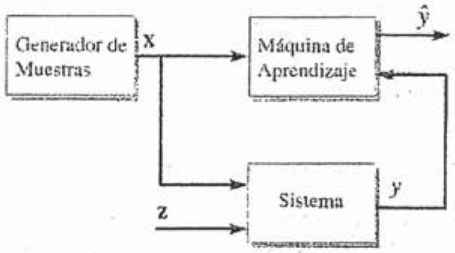


Figura 3. Una maquina de aprendizaje utilizando observaciones del sistema para obtener una aproximación de su salida.

Además podemos distinguir entre aprendizaje supervisado y no supervisado, el aprendizaje supervisado consiste en estimar la relación desconocida (entrada, salida) a partir de muestras conocidas (entrada, salida). Bajo el esquema de no supervisado, solamente se proporciona al sistema de aprendizaje las muestras de entrada y no existe noción alguna de la salida durante el aprendizaje. Para saber mas sobre el aprendizaje no supervisado de implemento en C++ un mapa autoorganizable de Kohonen (Ref. [4]).

3 IMPLEMENTACIÓN DEL SCVA

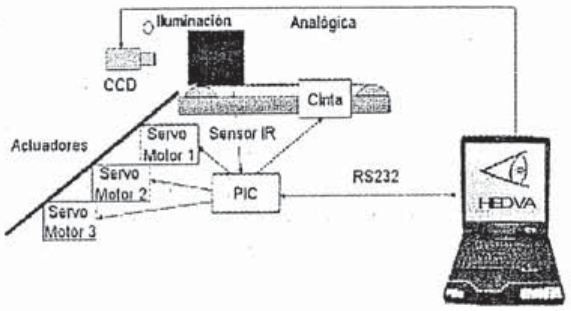


Figura 4. Muestra un diagrama del SCVA.

En la Fig. 4 se muestra una representación del sistema desarrollado. Este se divide en zona de captura imágenes, cinta trasportadora, actuadores, control local y control general.

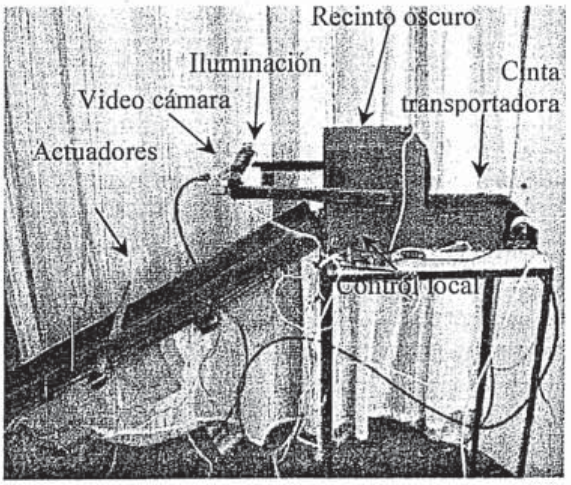


Figura 5. Sistema real

3.1 Alcances y limitaciones

El SCVA desarrollado es una maqueta funcional que realiza las funciones básicas de un SVA. Tiene

las partes necesarias para automatizar un proceso de clasificación. Pero este sistema no es comercial por lo tanto no puede ser comparado con otro. Los objetos simétricos son ideales para este sistema ya que solo toma una imagen del objeto en la cinta transportadora. La selección se hace cuando el objeto se desplaza por acción de la gravedad sobre una pendiente que tiene tres Actuadores. Las limitaciones son grandes cuando queremos clasificar algún objeto que no es simétrico o que no debe moverse o agitarse demasiado. Las experimentaciones ye llevaron a cavo con bulbos de ajos.

3.1. Clasificación por tamaño y forma

La experimentación con mas porcentaje de aciertos (> 90%) fue la clasificación por tamaño y forma cuando se utilizaba como descriptor el rectángulo que contiene a la región descripta por el bulbo en la imagen, Ref. [1]. Los tamaños de los bulbos están determinados por el diámetro del disco mayor y se relacionan con la medida en píxeles del ancho del rectángulo que contiene a la región. En nuestro caso se clasifican los tamaño 7, 6 y 5. Ref. [2], Ref. [3]. Para la forma se utilizó la relación de especto del rectángulo antes mencionado y se divide a los bulbos en dos clases, Primero o Segunda Ref. [2], Ref. [3]. En la Fig. 1 se observa que después de los tres Actuadores la pendiente continua, esto sirve para dejar pasar todos aquellos objetos que no pertenezcan a ninguna de las tres clases asignada a cada actuador.

Los errores se deben a la falta de mas barreras IR que detecten con mayor precisión cuando pasa el objeto por el punto focal de la cámara de video. Esto lleva a que en algunas ocasiones el objeto se acerca demasiado a la video cámara y no se mantiene la relación antes descripta. La velocidad de clasificación es menor a 1 (s) desde que se detecta al objeto asta que se abre un actuador. Con la cinta transportadora a una velocidad de 20 (cm/s).

La utilización de otros descriptores como momentos invariantes o signatura se hacen necesarios cuando tenemos que clasificar en varias clases de forma. Una experiencia que se llevó a cavo fue utilizando ambos descriptores para clasificar en cuatro clases de formas (bulbo formado, deformado, Pera y descarte Ref. [3].). Los resultados fueron alentadores pero con un nivel de acierto entre 90 % y 70%, debido a que solo se tomaba una imagen del bulbo y en ocasiones la inclinación de este resultaba en un falso positivo .

3.2 Zona de captura de imágenes

La zona de captura de imágenes consta de una video cámara estándar con censor CCD, un recinto oscuro con una barrera infrarroja, una iluminación difusa y una cinta transportadora que lleva al objeto a clasificar. La cámara de video es del tipo para seguridad, con control automático de ganancia y una frame rate de 30 fs, dado que el objeto se desplaza hacia ella, capturara una vista del objeto a clasificar cuando este atraviese la barrera infrarroja colocada en forma transversal al recinto oscuro. La barrera infrarroja envía una señal al microcontrolador (PIC), este interrumpe lo que esta ejecutando en ese momento y envía un paquete a trabes de RS232 a la PC. En la PC. se ejecuta un proceso que interrumpe al programa principal, captura una imagen luego llama a las funciones de clasificar y envía un paquete RS232 al PIC para que este active uno de los servomotores según lo indique la clasificación.

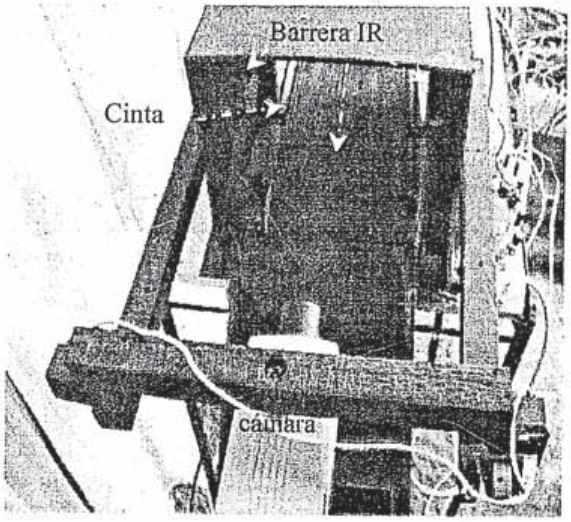


Figura 6. Zona de captura de imágenes.

3.2 Cinta transportadora

La cinta trasportadora fue construida con materiales de fácil acceso. Esta es accionada por un servomotor que es controlado por el PIC. La velocidad de esta se puede modificar por medio del control general y sirve como variable para saber el tiempo de clasificación de los algoritmos.

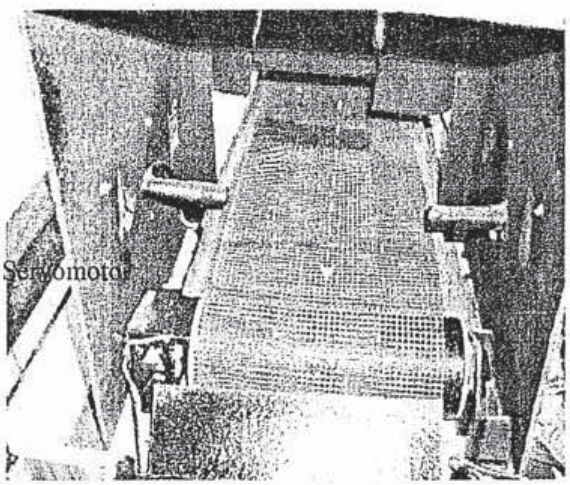


Figura 7. Cinta transportadora.

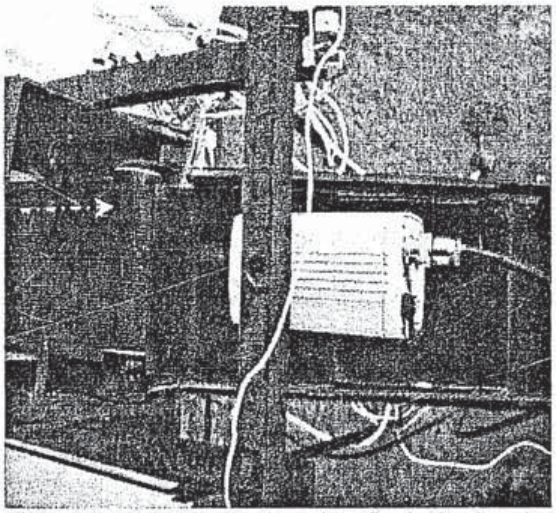


Figura 8. Vista superior del final de la cinta transportadora y la video cámara.

3.3 Actuadores

Los Actuadores son tres clapetas que son accionadas según la clase que se le asigne. La Fig. 9 muestra el funcionamiento de estos. Cuando el PIC tiene la clase a la que pertenece el objeto que se desplaza en la cinta trasportadora, antes de que llegue al final de esta, debe accionar una de la tres clapetas y mantener en su posición las demás, durante el tiempo que tarde en caer sobre la pendiente.

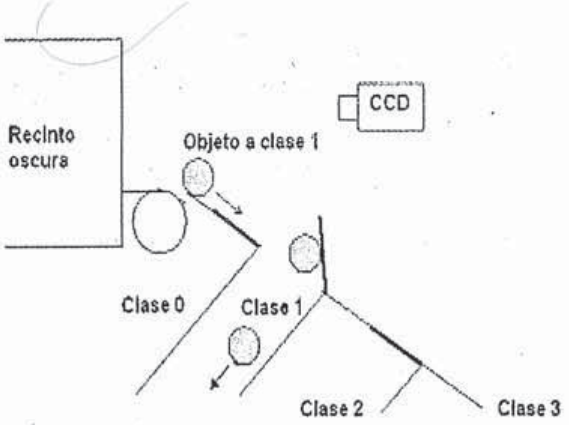


Figura 9. Actuadores con pendiente según el objeto.

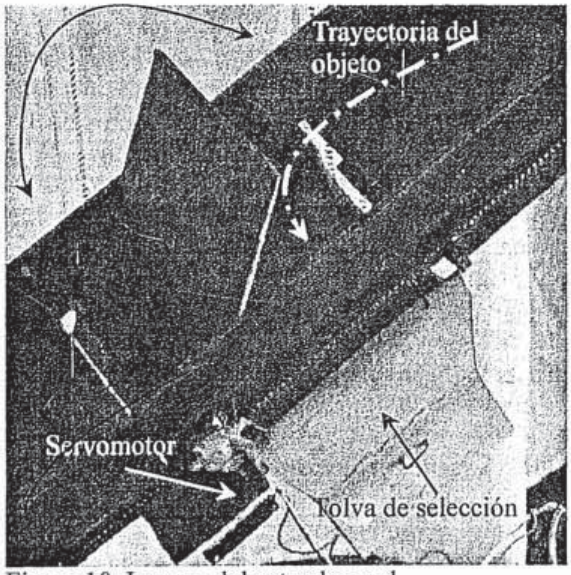


Figura 10. Imagen del actuador real.

3.4 Control local

El control local es llevado a cabo por el PIC. Este tiene la función de accionar la cinta transportadora, enviar unos mensajes a la PC cuando se interrumpa la barrera infrarroja, accionar los actuadores cuando se lo indique el control general en la PC, realizar tareas de prueba y calibración. La Fig. 11 muestra la plaqueta de prueba en donde se implementó el control local con un microcontrolador.

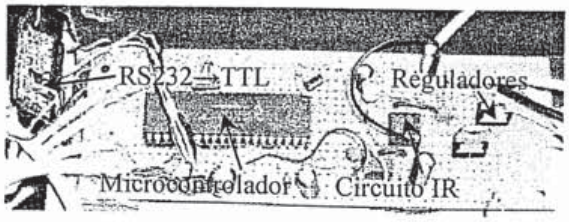


Figura 11. Plaqueta del control local.

3.4.1.1 Control general

El control general es un programa que se ejecuta en la PC, Fig. 6. Está escrito en C++ para Windows, tiene un núcleo en C++ estándar y un entorno visual con librería VCL. Entre estas librerías están la AVICap window class.

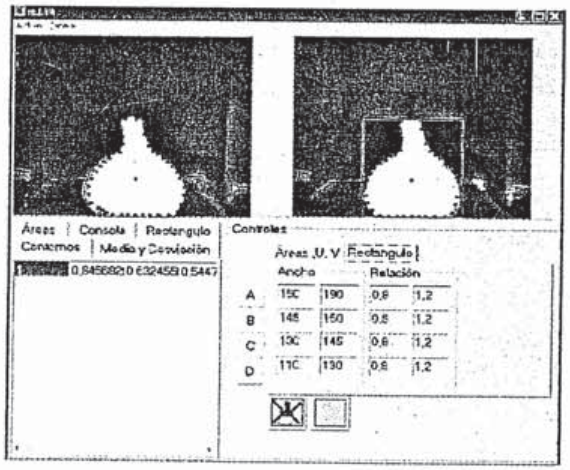


Figura 12. Imagen del programa Control General (HEDVAS).

El control general tiene las siguientes clases Ver. Fig 13.a y Fig. 13. b.

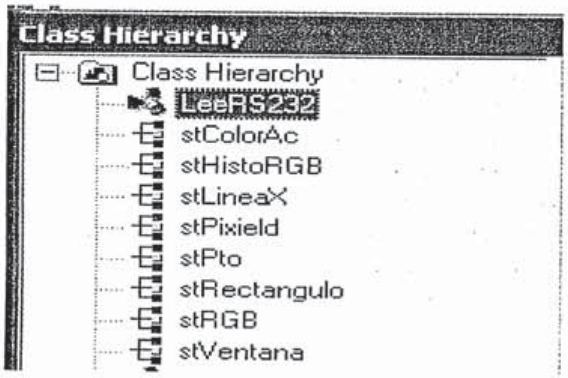


Figura 13.a) Clases y estructuras del programa control general.

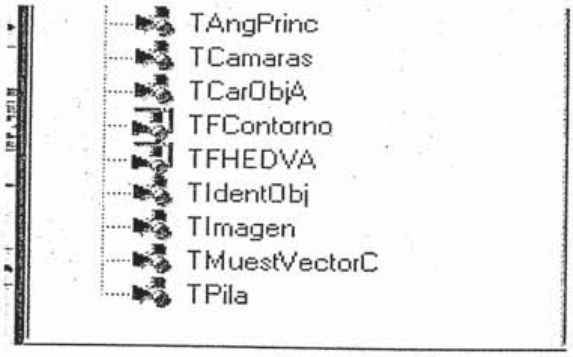


Figura 13.b) Clases del programa control general.

El programa tiene dos ventanas de captura. La primera del lado izquierdo de la Fig. 12 captura imágenes en tiempo real, la segunda (derecha) captura la imagen que se utilizará para clasificar. Esta imagen es capturada cuando el objeto interrumpe la barrera IR.

En la imagen en tiempo real se identifica el objeto, si es que está en la escena, observamos el centro de masa de la región descripta por el objeto y los puntos pertenecientes al contorno. En la imagen que se captura cuando se interrumpe la barrera IR, se muestra además un rectángulo que contiene al objeto. En este momento se extraen las características y se clasifica según la asignación de valores a cada actuador. Los actuadores son las letras A, B, C y D.

Para simplificar la clasificación, se utilizaron los valores del rectángulo que contiene al objeto, con esto se puede clasificar por tamaño y forma al objeto, indicando el ancho del rectángulo y la relación que le corresponde a cada actuador. También es posible la signatura, el área, la media y varianza del contorno, etc.

4 CONCLUSION, PRESENTE Y FUTURO

Está a simple vista que el sistema realiza las funciones básicas de un SVA, pero dado que integra muchos conocimientos de electrónica, sistemas en tiempo real, computación, algoritmos, etc., deja una perspectiva diferente, que la se tenia antes de implantarlo. La forma de selección de clases usada es la más simple, existen diversas formas según la aplicación. Para la industria alimenticia las normas exigen el menor daño en los productos a clasificar, no es así en la industria mecánica o en la fabricación de tuercas y tornillos en donde los golpes y vibraciones no afectan al producto por sus características físicas, pero exigen un control visual para encontrar defectos de

fabricación. Con respecto al número de cámaras utilizadas, en este caso es solo una por razones de simplicidad ya que es necesario en algunos casos hasta cinco videos cámaras para capturar de distintos ángulos el objeto a clasificar. La velocidad de clasificación generalmente fue entre 800 (mS) a 1.5 (S) entre que se detectaba el objeto y se abría el primer actuador, esto se logró con una cámara de vigilancia estándar y un computador personal, ya que si se utilizara una cámara industrial o un sistema embebido se disminuiría los tiempos drásticamente.

Los conocimientos y técnicas utilizados en el SCVA desarrollado son una base sólida para crecer a un sistema certificable para ser utilizado en la industria. Para lograr esto hay que sumar mayor experiencia en el diseño mecatrónico, esto implica utilizar herramientas para la simulación de las partes mecánicas y desarrollar un SCVA mas robusto y confiable.

Los trabajos futuros que se podrían hacer, es lograr un hardware especializado para los SVA. Existen en el mercado internacional, pero se podrían diseñar y fabricar en Argentina.

REFERENCIAS

[1] G. Pajares & J. M. de la Cruz, Visión por computador, Alfaomega/Ra-Ma, 2004

[2] R.C. González & R.E. Woods, Tratamiento Digital de Imágenes, Addison-Wesley/Diaz de Santos, 1996.

[3] G. Sosa. Clasificadora de ajos por características morfológicas mediante visión artificial. Proyecto final: Dto. Electrónica, Univ. Tec. Nal. - Fac. Reg. Mza. 2008.

[4] R. L. Graham, E. Knuth Donald & O. Patashnik, Concrete Mathematics, a Foundation for Computer Science, Addison Wesley Publishing Company, 1992.

[5] F. Xhafa, P. Vázquez, J. Marco, X. Molinero & A. Martín, Programación en C++ para ingenieros, Thomson, 2006.

[6] R. Cesari & M. Cesari. Apuntes Cátedra Metodología de la Investigación Ciclo de licenciatura. Univ. Acong. – Instituto San Pedro Nolazco Mza. 2004-2006.

Diseño y construcción de una etapa conversora de microondas con tecnología de microtiras

R. Dominguez, C.M. Puliafito & J. Aliquo

rodridominguez@gmail.com, carlos.puliafito@um.edu.ar & jeremias.aliquo@um.edu.ar
Instituto de Alta Frecuencia y Microondas. Facultad de Ingeniería. DICYT. Universidad de Mendoza

RESUMEN: este trabajo tiene como objetivo describir en forma teórica y práctica el diseño y construcción de una etapa conversora para frecuencias de microondas, mediante la utilización de elementos activos. Se busca mostrar cuales son las ventajas que se obtienen al utilizar la tecnología de microtiras en la fabricación de la misma. Este tipo de circuito encuentra una de sus principales aplicaciones como componente de equipos receptores, por ejemplo receptores GPS, razón por la cual se ha decidido trabajar sobre la banda L del espectro de frecuencias, más específicamente 1,5 GHz. Para la etapa de diseño del dispositivo se utilizó la ayuda de un software especializado para microondas y así se logró obtener una simulación del funcionamiento del circuito para luego utilizarla como parámetro de comparación. Se fabricó un único circuito y se realizaron las mediciones correspondientes para corroborar el correcto funcionamiento del mismo comparando los resultados con los obtenidos en la simulación.

Palabras clave: microondas – conversora – microtiras

ABSTRACT: this work has as objective the description, theoretical and practical, of the design and construction of a converter stage for microwave frequencies, by means of the use of active elements. It is tried then to show the advantages obtained by the use of microstrips technology in the manufacture of it. This type of circuit finds one of its main applications as component of receivers, for example GPS receivers, reason for which it has been decided to work on the L band of the frequencies spectrum, more specifically 1.5 GHz. For the design stage of the device, the aid of specialized microwaves software was used and thus it was managed to obtain a simulation of the operation of the circuit that then was used like comparison parameter. An only circuit was made and the corresponding measurements were made to corroborate the correct operation of the circuit comparing the results with the obtained ones in the simulation.

Key Words: microwaves – converter – microstrips

1 INTRODUCCIÓN

1.1 *Microondas*

Las microsondas son consideradas generalmente como una parte del amplio espectro de radiofrecuencia. La banda que cubre desde los 300 MHz hasta los 30 GHz es denominada como microondas por el IEEE. Las correspondientes longitudes de onda van desde 1 cm. a 1 m. Por arriba de los 30 GHz el término ondas milimétricas es utilizado.

Las pequeñas longitudes de onda involucradas implican que el tiempo de propagación desde un punto del circuito a otro sea comprable con el período de la onda de corriente del sistema.

Como resultado, las ecuaciones o leyes de Kirchhoff y los conceptos de tensión-corriente no son suficientes para una descripción detallada del fenómeno eléctrico que se presenta. Es necesario en cambio realizar un análisis en términos del campo eléctrico y magnético asociado al dispositivo.

2 TECNOLOGÍA DE MICROTIRAS

2.1 *Líneas microtiras*

La línea de transmisión plana consistente de una tira conductora central espaciado del plano de tierra por una capa de dieléctrico es conocida como microstrip o microtira. La geometría de una microtira se muestra en la Fig. 1.

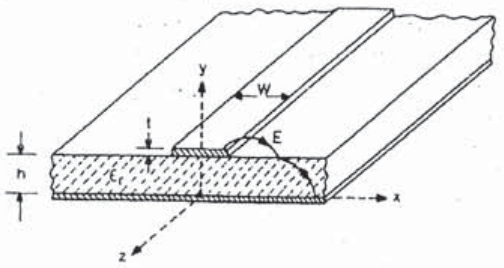


Figura 1. Geometría de una microtira

Un conductor de ancho W se ubica sobre un delgado substrato dieléctrico cuyo espesor es h y su permitividad o constante dieléctrica relativa es Єr, para seguir luego con un plano conductor de tierra.

Las microtiras poseen la mayoría de sus líneas de campo electromagnético en la región del dieléctrico, concentradas ente la tira conductora y el plano de tierra y otra fracción en la región de aire sobre el dieléctrico mostrado en la Fig. 2.

Esto provoca que el frente de onda que se está propagando por la microtira no sea estrictamente plano, es decir que no es un modo transversal electromagnético puro dado que habrán líneas que tendrán velocidades de fase diferentes a las de otras líneas.

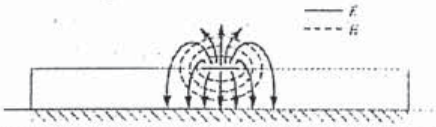


Figura 2. Líneas de campo eléctrico y magnético

De todas formas, como la mayoría de las líneas se cierran por el dieléctrico sólido y no por el aire, podemos suponer que la velocidad de propagación estará más cercana a aquellas líneas que se propagan por el dieléctrico sólido que por el aire, por lo que se puede asegurar que el modo de propagación será 'cuasi' transversal electromagnético (TEM).

Por esta razón es que se puede lograr una muy buena aproximación para las fórmulas de velocidad de fase, constante de propagación, constante dieléctrica efectiva e impedancia característica.

$$v_p = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_e}} \qquad 1 < \varepsilon_e < \varepsilon_r \tag{1}$$

$$\beta = k_0 \cdot \sqrt{\varepsilon_e} \tag{2}$$

$$\varepsilon_e = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + 12 \cdot h/W}} \tag{3}$$

$$Z_c = \frac{60}{\sqrt{\varepsilon_e}} \ln\left(\frac{8 \cdot h}{W} + \frac{W}{4 \cdot h}\right) \text{ para } W/h \leq 1 \tag{4}$$

$$Z_c = \frac{120 \cdot \pi}{\sqrt{\varepsilon_e}\left[W/h + 1{,}393 + 0{,}667 \cdot \ln(W/h + 1{,}444)\right]} \tag{5}$$

para $W/h \geq 1$

3 PARÁMETROS S

La medición de corrientes y tensiones en frecuencias de microondas resulta muy difícil por no decir imposible, debido a que implica magnitud y fase de una onda que viaja en una determinada dirección o una onda estacionaria. Por tal motivo la idea de tensiones y corrientes equivalentes y de matrices de impedancia y admitancia se vuelven una abstracción en tan altas frecuencias. Una representación más acorde, y con las ideas de ondas incidentes,

reflejadas y transmitidas, la dan los parámetros S y la matriz de dispersión.

Así como las matrices de impedancia y admitancia relacionan tensiones y corrientes totales en un determinado puerto, la matriz de dispersión relaciona las tensiones incidentes en los puertos con las tensiones reflejadas en los mismos.

La matriz S está definida en relación a estas tensiones y corrientes incidentes y reflejadas de la siguiente manera:

$$\begin{bmatrix} V_1^- \\ V_2^- \\ \vdots \\ V_3^- \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1N} \\ S_{21} & & & \vdots \\ \vdots & & & \vdots \\ S_{N1} & \cdots & \cdots & S_{NN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1^+ \\ V_2^+ \\ \vdots \\ V_3^+ \end{bmatrix} \qquad (6)$$

$$[V^-] = [S][V^+]$$

Si tomamos una red de dos puertos podemos definir a los elementos de la matriz S como se observa a continuación.

$$S_{11} = \left.\frac{V_1^-}{V_1^+}\right|_{V_2^+ = 0} \qquad (7)$$

$$S_{12} = \left.\frac{V_1^-}{V_2^+}\right|_{V_1^+ = 0} \qquad (8)$$

$$S_{21} = \left.\frac{V_2^-}{V_1^+}\right|_{V_2^+ = 0} \qquad (9)$$

$$S_{22} = \left.\frac{V_2^-}{V_2^+}\right|_{V_1^+ = 0} \qquad (10)$$

En palabras, se dice que Sij se calcula inyectando una tensión incidente en el puerto j, Vj+, y midiendo la amplitud de la onda reflejada en el puerto i, Vi-. Las ondas incidentes en los demás puertos excepto el j deben ser 0, lo que significa que todos los puertos deben adaptarse correctamente para evitar reflexiones. Sii es el coeficiente de reflexión mirando hacia el puerto i mientras los demás puertos se encuentran adaptados y Sij es el coeficiente de transmisión del puerto j al i cuando todos los demás puertos se encuentran adaptados.

4 MEZCLADORES

4.1 *Conceptos Generales*

Los mezcladores son dispositivos que se utilizan para realizar un traslado de frecuencias. Ellos permiten la conversión de señales entre una frecuencia alta (frecuencia de RF) y una frecuencia intermedia menor o banda base (frecuencia FI). En los sistemas de comunicaciones la frecuencia de RF es la frecuencia de transmisión, que es convertida a una frecuencia intermedia FI que permite una mejor selectividad (filtros) y una implementación más sencilla de amplificadores de bajo ruido y alta ganancia.

Un mezclador utiliza la no linealidad de un dispositivo activo tal como un diodo, BJT, FET, etcétera, para generar un espectro de salida consistente de la suma y diferencia de frecuencias de dos señales de entrada.

Existen varios tipos de circuitos mezcladores pero el más sencillo de ellos es el "mezclador simplemente terminado". Este tipo es utilizado como parte de circuitos mezcladores más complejos. En esta clase de mezcladores una señal de RF, $v_{RF}(t) = v_r \cdot \cos(w_r \cdot t)$, es combinada con una señal LO, $v_{LO}(t) = v_o \cdot \cos(w_o \cdot t)$, e inyectada al diodo. A partir de la ecuación:

$$I(v) = I_o + i = I_o + v \cdot G_d + {}^{v^2}\!/_{2} \cdot G_d' + \ldots \qquad (11)$$

se define que la corriente del diodo consistirá de una componente de continua más las señales de RF y LO de frecuencias wr y wo debidas al término lineal v. El término cuadrático v2 dará lugar a la siguiente corriente de salida:

$$i = \frac{G_d'}{2}\left(v_r \cdot \cos(w_r \cdot t) + v_o \cdot \cos(w_o \cdot t)\right) \qquad (12)$$

$$i = \frac{G_d'}{2}\begin{pmatrix} v_r^{\,2} \cdot \cos^2(w_r \cdot t) + 2 \cdot v_r \cdot v_o \cdot \cos(w_r \cdot t) \cdot \\ \cos(w_o \cdot t) + v_o^{\,2} \cdot \cos^2(w_o \cdot t) \end{pmatrix} \qquad (13)$$

$$\begin{aligned} i = \frac{G_d'}{4}\big(& v_r^{\,2} + v_o^{\,2} + v_r^{\,2} \cdot \cos(2 \cdot w_r \cdot t) + \\ & + v_o^{\,2} \cdot \cos(2 \cdot w_o \cdot t) + \\ & + 2 \cdot v_r \cdot v_o \cdot \cos((w_r - w_o) \cdot t) + \\ & + 2 \cdot v_r \cdot v_o \cdot \cos((w_r + w_o) \cdot t) + \end{aligned} \qquad (14)$$

Los términos de continua pueden ser ignorados y los términos 2wr y 2wo serán filtrados.

Los términos más importantes son aquellos de frecuencia $w_r \pm w_o$.

Para un receptor o down-converter, el término $w_r - w_o$ se convertirá en la señal FI. Cabe decir que para una frecuencia determinada del oscilador local, habrá 2 frecuencias de RF que llegarán a la misma IF. Si la frecuencia de RF es $w_r = w_o + w_i$ luego las frecuencia de salida serán $2 \cdot w_o + w_i$ y wi ; si la frecuencia de RF es $w_r = w_o - w_i$ luego las frecuencias de salida serán $2 \cdot w_o - w_i$ y -wi. Esta última salida se denomina respuesta imagen del mezclador y es indistinguible de la salida directa pero puede ser eliminada mediante filtrado a la entrada del mezclador.

4.2 *Diferentes estructuras de mezcladores*

Un único FET o diodo puede ser utilizado para realizar un mezclador. Sin embargo existen circuitos que combinan 2, 4, 6 e inclusive 8 componentes en una estructura balanceada. Estas estructuras balanceadas presentan ciertas ventajas frente a los de un dispositivo.

Una de ellas es el aislamiento natural que existe entre la señales de RF y LO ya que cada una de ellas ingresa a un dispositivo separado. Otra es el aislamiento entre RF e FI debido al cambio de polaridad que se produce en dicho mezclador.

Los transistores de doble compuerta, DGFET, también presentan la ventaja del aislamiento entre RF y LO ya que cada una de ellas ingresa a una compuerta distinta del transistor. Por tal motivo muchas veces resulta práctico el utilizar circuitos de un solo dispositivo DGFET en aplicaciones donde una estructura balanceada sería nccesaria sino.

4.2.1 *Diseño de mezcladores con diodos*

Los mezcladores de frecuencia de microondas más comunes utilizan diodos Schottky. Diodos de silicio económicos son utilizados para aplicaciones ordinarias de mezclado.

Los diodos GaAs (Arseniuro de Galio) son más caros que los de silicio pero pueden brindar mejores niveles de pérdida de conversión y figura de ruido, especialmente a altas frecuencias.

El diseño de este tipo de mezcladores está basado principalmente en un proceso de adaptación del diodo a la entrada de RF y la salida de FI, terminando al diodo en forma correcta a las frecuencias indeseadas y los armónicos de LO, y logrando un correcto aislamiento entre los puertos de entrada, LO y salida.

El análisis de esta clase de mezcladores vale la pena por varias razones: este tipo de mezcladores es utilizado en un gran número de aplicaciones comunes; son el prototipo de los mezcladores balanceados, que consisten en dos o más mezcladores de este tipo unidos mediante acopladores híbridos; el proceso de diseño de estos es prácticamente el que se utiliza para realizar cualquier otra clase de mezcladores.

La Fig. 3 muestra el circuito de un mezclador con diodo genérico. Consiste de un diodo y tres circuitos filtro-adaptadores que adaptan las terminaciones de RF, LO y FI al diodo. Es necesario en cualquier mezclador que estos circuitos no interactúen entre sí, es decir, que ninguno afecte la calibración de los otros.

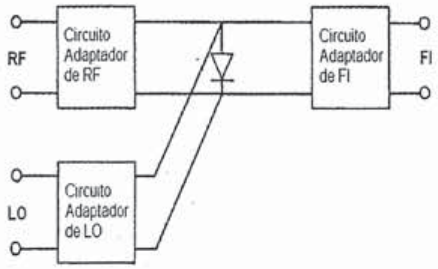


Figura 3. Esquema de un Mezclador con Diodo

4.2.2 *Diseño de mezcladores con FET*

En el diseño de mezcladores con diodos, se busca generalmente minimizar las pérdidas de conversión. En cambio, en mezcladores de microondas con FET donde una ganancia alta es fácil de obtener, lo que se busca es una figura de ruido pequeña con una ganancia modesta.

En la Fig. 4 se puede observar un diagrama de un mezclador con FET.

Consta de un FET y tres circuitos filtro-adaptadores de impedancia que terminan la compuerta y el drenaje del transistor a frecuencias indeseadas, similar al caso del diodo.

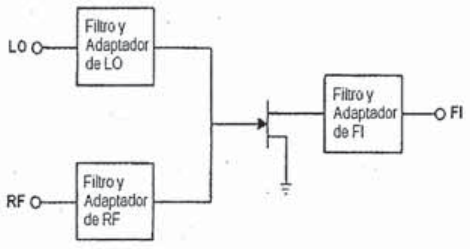


Figura 4. Esquema de un Mezclador con FET

A pesar de que otro tipo de mezcladores han sido propuestos, la mayoría de los mezcladores FET tienen las señales de RF y LO aplicadas a la compuerta y la FI es filtrada del drenaje. La transconductancia variable en el tiempo del transistor de efecto de campo es quien contribuye en mayor medida al mezclado. Por tal motivo se busca maximizar el rango de variación de la transconductancia del transistor.

Para maximizar la componente fundamental de frecuencia de la transconductancia, el FET debe ser polarizado cerca de la tensión de umbral, Vt, y debe permanecer en su región de saturación de corriente durante el ciclo de LO. La saturación total puede ser lograda asegurando que la tensión de drenaje Vd(t) se mantenga en su valor de Vdd. Esta condición se obtiene cortocircuitando el drenaje para la frecuencia fundamental de LO y todos sus armónicos. Si esto se logra, la tensión de LO a través de la capacidad compuerta-drenaje es mínima, por lo tanto la realimentación es mínima y el mezclador es estable.

Cuando al transistor FET se le inyecta la señal de LO, su onda de transconductancia será aproximadamente una sinusoide rectificada. Esta onda tiene una componente de continua promedio que permite al FET amplificar como también mezclar. La amplificación debe minimizarse para lograr una buena estabilización y prevenir efectos espurios.

4.2.3 *Diseño de mezcladores con BJT*

Los requerimientos para el diseño de mezcladores bipolares ya sea BJT o HBTs son esencialmente los mismo que para FETs. Proveer un cortocircuito a la frecuencia de LO en el drenaje es el principal requisito.

En estos mezcladores, la transconductancia pico es generalmente mayor que la de los FETs. Esto permite una ganancia de conversión mayor a bajas frecuencias, que no es deseable ya que trae aparejado problemas de estabilidad.

La aplicación más común de los mismos es la llamada "Gilbert Cell", un tipo de estructura doblemente balanceada.

4.2.4 Diseño de mezcladores con DGFET

La Fig. 5 muestra un circuito simplificado de un mezclador realizado con transistor de doble compuerta DGFET. El transistor es modelado como dos dispositivos de compuerta simple conectados en serie. La señal de LO se aplica a la compuerta 2, es decir, la compuerta del FET2 (el que se encuentra conectado al terminal de drenaje externo) y varía Vgs2. La señal de RF se aplica a la compuerta 1, la compuerta del FET1. Las señales de RF y LO ingresan a través de circuitos adaptadores, representados por las impedancias Zs,RF(w) y Zs,LO(w) respectivamente. Tal como en los mezcladores de compuerta simple, la impedancia de salida ZL(w) se encuentra cortocircuitada para todas las frecuencias de mezclado y armónicos de LO salvo FI. Esta terminación garantiza que la potencia de LO no se disipe en la carga de FI y que la tensión de drenaje Vds se mantenga constante sobre el ciclo de LO.

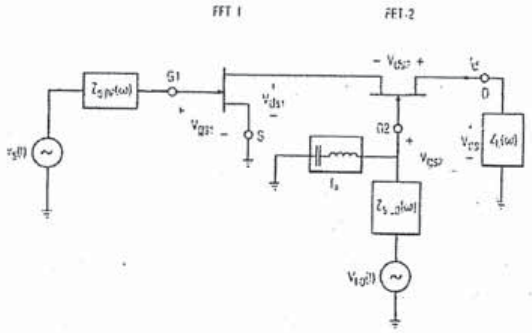


Figura 5. Esquema de Mezclador con DGFET

Un mezclador de doble compuerta es un mezclador de transconductancia, por lo que el mezclado debe ocurrir por la variación de la transconductancia entre Vgs1 e Id. Dicha variación debe provenir de modificar la tensión de drenaje del FET1.

Cuando dos FETs son conectados en serie, es imposible obtener un punto de trabajo estable si los dos dispositivos trabajan en saturación, ya que en este caso los canales de los FETs son equivalentes a dos fuentes de corriente en serie. Inevitablemente uno de los transistores debe trabajar en saturación y el otro en su región lineal, cayendo la mayor parte de Vds sobre el FET saturado.

Si el FET2 trabaja como lineal y el FET1 saturado, variar Vgs2 con el voltaje de LO mientras Vgs1 se mantiene constante no haría que varíe la transconductancia entre Vgs1 y la corriente de drenaje Id por lo que no existiría mezclado.

Una variación significativa de la transconductancia ocurre sólo cuando el punto de trabajo se encuentra en la región en la que el FET2 está saturado y el FET1 trabaja en la zona lineal. En este caso, la variación de la transconductancia Vgs1-Id ocurre principalmente porque la tensión de drenaje del FET1 varía desde un nivel próximo al cero (valor

que fuerza al FET a trabajar en la zona lineal y que su canal presente baja resistencia) hasta casi el punto de saturación.
En un mezclador de doble compuerta, la mezcla se produce en el FET1; su transconductancia y su resistencia drenaje/fuente varían con el tiempo mientras el dispositivo trabaja en su zona lineal. En este modo de operación la transconductancia pico del FET1 es relativamente baja y la resistencia drenaje/fuente también, reduciendo la ganancia de conversión. En cambio, un dispositivo de simple compuerta trabaja en saturación por lo que su transconductancia es mayor y la resistencia es alta. Por este motivo el dispositivo de una compuerta es más eficiente que el de doble compuerta con respecto a la ganancia.
En el DGFET, el FET2 trabaja en saturación durante el ciclo de LO y su transconductancia varía moderadamente. Su principal función es amplificar la salida FI del FET1.
El procedimiento para el diseño del mezclador DGFET es prácticamente el mismo que el que se sigue para los de simple compuerta. Requiere de filtros de RF y LO diseñados cuidadosamente. La impedancia de salida del DGFET es relativamente alta, por lo tanto se puede lograr una buena ganancia, a pesar de ciertas limitaciones del dispositivo, utilizando una resistencia de carga de FI elevada. La red conectada a la compuerta 2 tiene una gran importancia respecto de la estabilidad del mezclador y la eficiencia del LO. Si su reactancia a la frecuencia LO es muy baja la adaptación será pobre. Por otro lado la combinación de la reactancia de la red adaptadora y la impedancia Zs,LO(w) puede causar que el mezclador oscile a algunas frecuencias.
Al igual que en los otros tipos de mezcladores, las impedancias de fuente y de carga, Zs,RF(w) y ZL(w), deben estas cortocircuitadas a las frecuencias de mezclado indeseadas. Una de las principales ventajas que presenta el mezclador con DGFET es la de poder ingresar las señales de RF y LO por separado a cada una de las compuertas, evitando la necesidad de un circuitos combinador para dichas señales y logrando de esta manera un circuito final de menor tamaño, como así también una mejor aislación entre los puertos de RF y LO del mezclador, siendo éste un requerimiento de gran importancia en la etapa de diseño.

5 DISEÑO DEL CIRCUITO

5.1 *Introducción*

Lo primero que se define para comenzar con el diseño del circuito fue cuál sería la frecuencia de trabajo. Luego de analizar las distintas opciones se decidió optar por una frecuencia de RF de 1,5 GHz, es decir, la banda L del espectro de radiofrecuencia, banda utilizada por los receptores GPS. La frecuencia de salida sería de 100 MHz por lo que se dedujo que la frecuencia de LO sería 1,4 GHz.
Se decidió realizar el circuito mezclador utilizando un transistor DGFET ya que se logra una buena aislación entre los puertos RF y LO; el circuito es de menor tamaño ya que se evita la necesidad del circuito combinador; se puede obtener cierta ganancia del mismo

5.2 *Simulación*

Para realizar la simulación se utiliza el transistor NE25339 de NEC. La elección de este DGFET se debió a que fue el único que presentaba en su hoja de datos un circuito esquemático del mismo, lo que nos permitió ingresar los datos al programa informático de microondas con el que se trabaja.
Los parámetros S del transistor pueden ser utilizados como punto de partida para el diseño de las redes filtro/adaptadoras. Los mismos se obtuvieron de la hoja de datos del transistor seleccionado.

Tabla 1.Parámetros S del NE25339

	FI	*LO*	*RF*
S_{11}	1,00 <-6	0,66 <-76	0,63 < -81
S_{21}	4,23 < 174	3.05 < 89	3,01 < 84
S_{12}	0,001< 98	0,024< 76	0,026 < 74
S_{22}	0,95 <-2	0,87 <-30	0,86 <-32

Una vez obtenidos los parámetros S se calculan los coeficientes de reflexión utilizando las fórmulas (15) y (16) que figuran a continuación, donde Γi es el coeficiente de reflexión de entrada, ΓL es el coeficiente de reflexión de la carga, Γo es el coeficiente de reflexión salida y ΓS es el coeficiente de reflexión de la fuente.

$$\Gamma_o = S_{22} + (S_{12} \cdot S_{21} \cdot \Gamma_S)/(1 - S_{11} \cdot \Gamma_S) \quad (15)$$

$$\Gamma_i = S_{11} + (S_{12} \cdot S_{21} \cdot \Gamma_L)/(1 - S_{22} \cdot \Gamma_L) \quad (16)$$

Como el drenaje se encuentra cortocircuitado a la frecuencias de RF y LO, se dice que ΓL=-1, y como las compuertas están cortocircuitadas para la frecuencia FI, ΓS=-1 para el cálculo de los

coeficientes de reflexión. Reemplazando los valores de los parámetros S del transistor de doble compuerta se obtiene:

$$\Gamma_{RF} = 0{,}644 < -1{,}348 \quad (17)$$

$$\Gamma_{LO} = 0{,}672 < -1{,}268 \quad (18)$$

$$\Gamma_{IF} = 0{,}949 < -0{,}032 \quad (19)$$

La fórmula utilizada para el cálculo de las impedancias en los puertos, una vez conocidos los coeficientes de reflexión, es la siguiente:

$$Z = Z_o \cdot [(1+\Gamma)/(1-\Gamma)] \quad (20)$$

donde tomando Z0= 50Ω y reemplazando los coeficientes de reflexión se obtienen los siguientes valores de impedancias para los distintos puertos:

$$Z_{RF} = 25{,}912 - j55{,}539\Omega \quad (21)$$

$$Z_{LO} = 26{,}116 - j61{,}016\Omega \quad (22)$$

$$Z_{IF} = 1383{,}714 - j876{,}799\Omega \quad (23)$$

Donde Z_{RF} es la impedancia vista hacia la compuerta 2 a la frecuencia RF, Z_{LO} es la impedancia vista hacia la compuerta 1 a la frecuencia LO y Z_{FI} es la impedancia vista hacia el drenaje a la frecuencia FI.
El paso a seguir es la utilización del software de microondas para realizar el diseño de las redes adaptadores de impedancia de los distintos puertos. Dichos circuitos deben adaptar las impedancias vistas en los distintos puertos del transistor DGFET, calculadas anteriormente, a una impedancia de 50Ω.
En la Fig. 6 se puede observar el circuito de simulación completo con los circuitos de polarización del transistor para el punto de trabajo seleccionado.

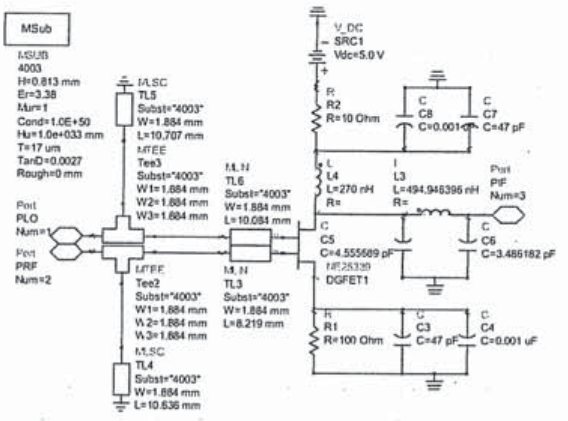


Figura 6. Circuito de simulación

Para adaptar los puertos de RF y LO se diseñaron circuitos stub simples. Estos fueron realizados mediante la utilización de microtiras y cabe destacar la pequeña longitud de los mismos que no supera los 11mm. La lámina utilizada fue la "4003" de ROGERS.
Para el caso del puerto FI no se implementó la tecnología de microtiras debido a que la frecuencia FI es de 100 MHz, con lo que las dimensiones del circuito serían demasiado elevadas para realizarlo en dichas láminas. En su lugar se realizó un red π adaptadora.
Dicho circuito fue simulado mediante la ayuda del software de microondas. En la Fig. 7 se observan las señales de RF y LO que están 50dBm aproximadamente por debajo de la señal de salida FI (100 MHz).

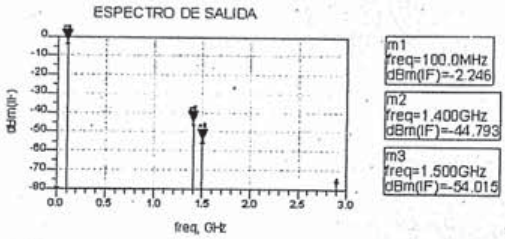


Figura 7. Espectro de salida de simulación

5.3 Implementación práctica del circuito

Para la construcción del circuito no se pudo utilizar el transistor de doble compuerta NE25339 de NEC ya que el mismo se encontraba obsoleto. Se logró encontrar el transistor 3SK299 de NEC. Se calcularon nuevamente los valores de los coeficientes de reflexión a través de los parámetros S del nuevo transistor, para luego obtener las impedancias de cada puerto del mismo. A continuación se pueden observar los valores obtenidos.

Tabla 2. Parámetros S del 3SK299

	FI	*LO*	*RF*
S_{11}	0,99 < -4	0,84 < -56	0,82 < -61
S_{21}	1,96 < 174	1.89 < 104	1,88 < 99
S_{12}	0,001 < 87	0,005 < 78	0,006 < 78
S_{22}	0,96 < -1	0,94 < -6	0,94 < -6

$$\Gamma_{RF} = 0{,}823 < -1{,}058 \quad (24)$$

$$\Gamma_{LO} = 0{,}842 < -0{,}972 \quad (25)$$

$$\Gamma_{IF} = 0{,}960 < -0{,}016 \quad (26)$$

$$Z_{RF} = 18{,}551 - j82{,}404\Omega \quad (27)$$

$$Z_{LO} = 19{,}093 - j91{,}522\Omega \quad (28)$$

$$Z_{IF} = 2112{,}439 - j852{,}321\Omega \quad (29)$$

Se rediseñaron los circuitos filtro/adaptadores de impedancia y se realizó a continuación el diseño del circuito impreso. Luego se procedió al armado del circuito, debiendo soldar los componentes SMD a utilizar para la polarización del transistor y el filtro/adaptador de impedancia de salida, las puestas a tierra y los conectores.

En la Fig. 8 se observa el circuito construido. Se lo comparó con una moneda de 50 centavos para que se logre apreciar el reducido tamaño del mismo.

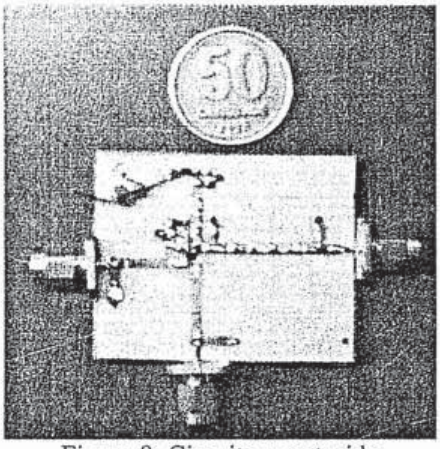


Figura 8. Circuito construido

6 MEDICIONES

La Fig. 9 muestra los resultados obtenidos al realizar las mediciones de laboratorio. Se puede observar como a la salida de la etapa conversora se obtiene una señal de 100 MHz que se encuentra muy por encima de las señales de entrada atenuadas en 25 dBm respecto a la primera.

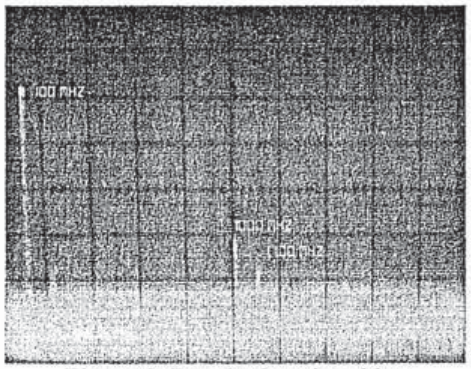


Figura 9. Resultados obtenidos

7 CONCLUSIONES

Se decidió utilizar la tecnología de microtiras ya que se pueden lograr circuitos de menor tamaño, peso, costo y anchos de banda más amplios, características de gran importancia para el diseño de circuitos en la actualidad, donde la miniaturización juega un rol fundamental.

Para la implementación práctica del circuito mezclador para frecuencias de microondas se utilizó una configuración con transistor de doble compuerta DGFET ya que de esta manera se logra un mejor aislamiento entre los distintos puertos de la etapa conversora, y también un circuito de menor tamaño ya que no es necesario realizar un circuito combinador para las señales de RF y LO.

Mediante la utilización del software de microondas para la simulación del circuito se logró predecir cual sería el funcionamiento del circuito en una etapa anterior a la fabricación del mismo, logrando así una mayor precisión en la etapa de construcción.

Los resultados finales fueron muy satisfactorios ya que se logró obtener en el puerto de salida del circuito una señal de FI de 100 MHz y una atenuación de las señales de entrada en 25 dBm.

REFERENCIAS

[1] D. Pozar, Microwave Engineering, John Wiley & Sons Inc., 1998.

[2] S. Puliafito, Propagación y Radiación de Ondas Electromagnéticas. Parte II: Guías de Ondas 2° Edición, Editorial Idearium, 1985.

[3] S. Maas, Nonlinear Microwave And RF Circuits. Artech House. 2003.

[4] S. Maas, The RF and Microwave Circuit Design Cookbook. Artech House. 1998.

[5] Software Simulador Agilent Advanced Design System (ADS)

Gestión de la tecnología médica, propuesta de sistemas de regulación in-situ y on-line bajo Norma RCM

A. Alvarez Abril, J. Balacco, A. F. González & A. Terrón
irb@frm.utn.edu.ar
Instituto Regional de Bioingeniería (IRB) – Departamento de Electrónica - Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza.

RESUMEN: La tecnología médica, ha tenido un crecimiento exponencial en los últimos diez años y esto ha traído un incremento de los factores de riesgo asociados. Esta situación es mucho crítica cuando analizamos factores múltiples que concurren en el incremento del riesgo. Este documento, presenta un modelo de sistema de regulación y control que está fijado en la Provincia de Mendoza, Argentina desde el 2003 y su última actualización es del 2007. La próxima revisión, se puede implementar fuera de la institución Gobierno con la participación un organismo independiente, como es la Universidad. El presente trabajo, propone varios criterios para Normalizar el sistema de mantenimiento, tomando como núcleo central al RCM (Reliability Centered Maintenance).

Palabras clave: tecnología biomédica – equipamiento – regulación – control

ABSTRACT: The medical technology, has been an exponential growth in the last ten years old and this has brought an increase of the associate factors of risk. This situation is much critical when we analyzed multiple factors that concur in the increase of the risk. This document, presents/displays a model of regulation system and control that is determined to the Province of Mendoza, Argentina from the 2003 and its last update is of the 2007. The next revision, can be implemented outside the institution Government with the participation an independent organism, as it is the University. The present work, proposes several criteria To standardize the maintenance system, taking like central nucleus to RCM (Reliability Centered Maintenance)...

Key Words: biomedical technology - equipment - regulation - control

1 INTRODUCCIÓN

Con el crecimiento exponencial de los últimos diez años de la tecnología médica, un paciente, que hasta hace poco tiempo era conectado a tres o cuatro equipos electromédicos en terapia intensiva o en situaciones de cirugía, en la actualidad puede llegar a estar conectado a más de diez equipos simultáneamente con el consiguiente riesgo que esto implica desde el punto de vista del microshock eléctrico, las retroalimentaciones cruzadas y la criticidad funcional del sistema en conjunto.

Por otra parte, este crecimiento de la tecnología médica, a incrementado la complejidad de las instalaciones hospitalarias y éstas instituciones han pasado rápidamente de una primera o segunda generación de tecnología a hospitales de cuarta y quinta generación de máxima complejidad, con requerimientos de gestión tecnológica, que van más allá de las respuestas clásicas dadas por los sistemas de gestión y mantenimiento tradicionales.

Este documento presenta el trabajo desarrollado en el IRB (Instituto Regional de Bioingeniería) de la Facultad Regional Mendoza de la UTN, en relación con el desarrollo de encuadres normativos, herramientas de gestión tecnológica y criterios de categorización que ayuden a resolver el grave problema de vulnerabilidad tecnológica a la que se encuentran expuestas la mayor parte de las instituciones de salud, tanto públicas como privadas, cuando sobrepasan el nivel de mediana a alta complejidad.

En este sentido, el trabajo del IRB, ha sido pionero a nivel provincial y además ha trascendido a nivel nacional e internacional en el contexto de América Latina, en el que se ha tomado con sumo interés las propuestas aquí planteadas.

En este documento se pretende dar respuesta a tres aspectos claves relacionados con la tecnología médica, que hasta la fecha, no han tenido solución clara y definida en el país como en gran parte de la Región:

1.- ¿Cuál es "el marco normativo que debiera regir el control y la gestión de la tecnología médica" en instituciones de salud de mediana y alta complejidad?

2.- ¿Cuáles son "los componentes estructurales claves de un sistema de gestión tecnológica de alta confiabilidad" para instituciones de salud de nivel de máxima complejidad?

3.- ¿De qué manera se puede "dar operatividad con fluidez y control efectivo" a este tipo de sistema?

2 DESARROLLO

2.1 Marco Normativo y jurídico

Un primer aspecto que hasta la fecha no ha sido resuelto en la mayor parte de los países de habla hispana, es el encuadre jurídico legal sobre el que se sustenta la regulación y control de la tecnología médica en los servicios críticos de las instituciones de salud. Ref. [1]

La existencia de marcos jurídico-legales es fundamental para la implementación de sistemas de regulación y control de la tecnología biomédica y sus instalaciones asociadas, aún cuando estos sean una ordenanza local, regional o provincial.

En el caso particular, la ordenanza 5532/90 de la provincia de Mendoza sufrió un proceso de evolución que llevó a la formulación del decreto reglamentario 306/92 que luego evolucionó en el decreto gubernamental 3005/07 que permitió que por primera vez en la provincia de Mendoza y en la República Argentina se controlará sistemáticamente el equipamiento de riesgo al que se conectan los pacientes en los servicios críticos: terapia intensiva, quirófano, unidades de cuidados intensivos neonatales (UCIN), unidades de cuidados cardíacos, servicios de ambulancias, etc.

Como parte de este proceso de trabajo se comprobó que más del 60% del equipamiento biomédico en uso, se encontraba fuera de norma y de este total el 47 % tenía serias deficiencias técnicas en su funcionamiento que podrían derivar en daños a pacientes y/o personal de salud.

Un corolario muy importante de este trabajo ha sido la ley 8303 sancionada en la Provincia de La Rioja y proyectos de ley análogos que ya cuentan con media sanción de varias cámaras legislativas del país como Buenos Aires y San Juan. El formato de base general de dichos proyectos, fue realizado como parte del trabajo desarrollado en el IRB. Ref. [2]

2.2 *Criterios de diseño en sistemas de regulación y control de la tecnología biomédica.*

Todo sistema de regulación y control, debe definir de manera clara criterios de aplicación mínimos, a fin de lograr una articulación y compatibilidad funcional adecuada con el sistema de salud al que tiene que servir.

Estos criterios, deberán estar sujeto a evaluación y revisión periódica, a fin de incrementar de manera paulatina y gradual el nivel de pertinencia y

exigencia en el sistema. Además, es un buen criterio, tratar a estos documentos, como un proceso para la mejora continua (ISO 9000).

En el diseño-base que se presenta en este trabajo, se adoptaron criterios generales para instalaciones de mediana y alta complejidad y criterios específicos para la comprobación de equipamiento de alta disponibilidad y riesgo de vida. Ref. [3] y [4].

Algunos de estos criterios son:

a.- En todos los servicios categorizados como "críticos" se exigirá el cumplimiento de la normativa vigente por la Asociación Electrotécnica Argentina para el tipo de instalación eléctrica correspondiente. (Instalaciones IT en quirófanos, UTI, UCIN, etc.). Ref. [5]

b.- En la verificación de equipamiento de riesgo de vida, se exigirá la verificación de los parámetros críticos, cuyo corrimiento pueda generar daños en la salud de los pacientes, personal sanitario y/o medio ambiente. Las normativas específicas y las recomendaciones de sociedades y/o centros de investigación relacionados, serán tenidos en cuenta en la definición de estos indicadores que tendrán carácter dinámico y actualizable.

c.- Las instalaciones asociadas serán categorizadas de acuerdo a su impacto sobre pacientes, personal de salud y ambiente.

En función de esta categorización se aplicarán los criterios de alta disponibilidad y criticidad en forma análoga a lo realizado para equipamiento biomédico.

d.- En ningún caso, se aprobará la habilitación de un prestador sanitario, si previamente no se ha cumplido con las medidas correctivas y *preventivas*, que surjan de las verificaciones correspondientes.

e.- El no cumplimiento de las medidas correctivas sugeridas para equipos e instalaciones clínico/hospitalarias podrá llevar a la aplicación de multas y/o sanciones que estarán establecidas en la normativa legal vigente. La exigencia de una propuesta preventiva, es para evitar la recurrencia de errores que requieran repetir medidas correctivas.

f.- Todos los ensayos y verificaciones realizados tendrán un costo, que deberá ser estipulado mediante acuerdo y/o disposiciones reglamentarias. Pero la realización de esta actividad, implica una erogación económica que deberá ser tenida en cuenta.

g.- La gestión del mantenimiento y de la tecnología crítica presente en instituciones de salud de alta complejidad, deberá ser realizada bajo una norma que pueda ser auditada y en la que se garantice la confiabilidad del sistema, así como el nivel de competencias técnicas, de quienes realizan las actividades de mantenimiento y gestión del mismo.

El trabajo conjunto, entre la Universidad y los organismos regulatorios respectivos, permitió que gran parte de los puntos señalados anteriormente se incorporaran al Decreto Reglamentario 3005/07 con lo cual existe una base legal fundante, para la regulación y control externo de equipamiento e instalaciones biomédicas que podrá ser mejorada per se, ya constituye un soporte importante.

Sin embargo, y a pesar de la implementación del control técnico de instalaciones, queda aún sin resolver el problema de la gestión de la tecnología médica en instituciones de alta complejidad, que en la mayor parte de los casos se realiza bajo criterios no normalizados y sobre todo con un gran nivel de improvisación, sin planificación sistemática y en respuestas compulsivas a las demandas urgentes del día a día.

En este sentido, el IRB, ha trabajado en el desarrollo de un sistema de gestión de alta confiabilidad, que toma como núcleo operativo el RCM (Reliability Centered Maintenance) que reúne tres condiciones que lo hacen particularmente eficiente en relación con el mantenimiento y la gestión de la tecnología clínica hospitalaria:

1. Sale del esquema clásico correctivo-predictivo, que ha demostrado su ineficiencia en instalaciones que desarrollan su plataforma tecnológica en abanicos, que van desde baja hacia alta complejidad y con elevado número de equipos.
2. Recomienda procedimientos, que ponen el énfasis en los aspectos funcionales del sistema basando sus estrategias operativas en la confiabilidad de estas características y no se enfoca exclusivamente sobre la rotura o reemplazo de elementos o equipos.
3. Plantea un esquema "cuasi-normativo" estructural de implementación que es claro y definido por los "Criterios de Evaluación para los Procesos Centrados en la Confiabilidad" – (RCM SAEJ JA 1011). Esto último permite lograr el diseño de un sistema de evaluación preciso, para saber en qué nivel y en qué estado se encuentran las variables funcionales críticas de una determinada institución clínico-hospitalaria de mediana y/o alta complejidad.

En este sentido, la experiencia que se ha desarrollado durante varios años en Hospitales de máxima complejidad en Capital Federal, Buenos Aires y Mendoza permite asegurar que el marco normativo que debiera regir el control y la gestión de la tecnología biomédica debe estar también respaldado por "clusters" de leyes y ordenanzas de alcance nacional, provincial y aún municipal.

Con la verificación técnica de equipamiento e instalaciones biomédicas, como medida única de contralor, no se garantiza la confiabilidad funcional de la plataforma tecnológica que debe brindar un servicio adecuado en las instituciones de salud de alta complejidad. Ref. [6]

Desde una visión sistémica, este marco normativo, no sólo debe asegurar el funcionamiento adecuado de un determinado equipo (control técnico) sino que además debe garantizar que la institución trabaje sobre un modelo de gestión tecnológica y de mantenimiento, que asegure que la tecnología va a funcionar adecuadamente cuando se la necesite.

Para esto, las instituciones de salud de mediana y alta complejidad debieran reportar como mínimo un sistema de gestión y control de instalaciones y equipamiento biomédico de riesgo basado en los "Criterios de Evaluación para los Procesos Centrados en la Confiabilidad" – (RCM SAEJ JA 1011).

Desde el punto de vista propuesto, la articulación y el control de los dos niveles normativos (legales y operativos) constituye una base sólida de gestión de la tecnología biomédica que garantiza un elevado nivel de confiabilidad en instituciones de alto riesgo.

3.- Niveles estructurales básicos de un sistema de gestión de tecnología biomédica de alto nivel de criticidad:

Los trabajos de Stanley Nowlan y Howard Heap en la década del `70, demostraron claramente que el 89% de los componentes de los sistemas tecnológicos de alta criticidad nunca manifestó problemas derivados de su envejecimiento. Así, la creencia general de que nueve de cada diez componentes que constituyen el sistema tienen comportamiento "bathtub", o tiempo dependiente, demostró ser totalmente falsa.

Además también probaron que en ciertas ocasiones, la aplicación de modelos de mantenimiento preventivo puede ser más perjudicial que beneficiosa y llevar al sistema a niveles de baja confiabilidad y altos costos de tecnología sin justificación alguna.

En este sentido, el encuadre de la gestión de la tecnología biomédica crítica y de su mantenimiento a fin de asegurar confiabilidad, debiera incorporar una serie de pautas que están dadas por la RCM SAEJ JA 1011-1012 y que constituyen el núcleo procedimental, sobre el que debiera diagramarse cualquier programa de gestión y mantenimiento de tecnología biomédica de alto nivel de criticidad.

En el trabajo realizado de campo e investigaciones en hospitales de alta complejidad de varias provincias de Argentina, se ha comprobado claramente, la conformación de las aseveraciones de Nowlan y Heap, los que fueron planteados en un esquema de gestión y mantenimiento hospitalario, derivado de la normativa RCM que se estructura sobre los siguientes núcleos funcionales, Fig1:

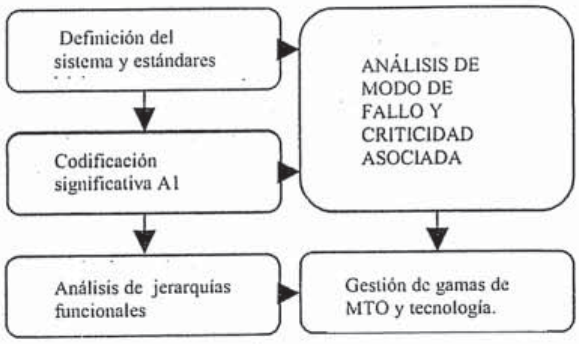


Fig. 1. Núcleo funcionales de modelo de gestión

La definición de las condiciones contextuales del sistema, sus estándares básicos de identificación estructural y el análisis de las jerarquías funcionales constituyen las etapas de "implementación primaria o basal" del sistema. Ref. [6] y [7].

En esta etapa, se definen con claridad los límites del sistema tecnológico cuya gestión y mantenimiento se está normalizando. Se definen los subsistemas, equipos y componentes que lo constituyen y se realiza la codificación significativa de cada uno de sus elementos, que permitirá luego un trabajo relacional, muy importante entre los distintos niveles del sistema a fin de definir homologaciones, familias, homologaciones de comportamiento, etc.

El análisis de jerarquías funcionales, es un núcleo fundante del sistema ya que en este modelo de gestión, el sistema tecnológico no se describe a partir de los equipos o elementos "hardware" que lo constituyen, sino que el énfasis está puesto esencialmente en la "identificación, descripción y jerarquización de las funciones del mismo".

La gestión de la plataforma tecnológica bajo este método de trabajo, garantiza el cumplimiento de la matriz funcional del sistema más allá de los componentes, equipos o "hardware" que la sustentan.

Una vez definidas las funciones del sistema, éstas se categorizan en A, B o C de acuerdo a su nivel de impacto en el conjunto global y al daño que su carencia o fallo puede generar en las personas, el medio ambiente y el soporte económico.

La lógica y la estrategia de gestión del modelo, se

basa en lograr que todas las funciones críticas del sistema categorizadas como "A" o "B" tengan un respaldo funcional adecuado a través de subsistemas de relevo, clusters multioperativos, funcionalidades distribuidas, etc.

El análisis de modo de fallos y la criticidad asociadas a ellos, es uno de los componentes nucleares de este modelo de gestión. El estudio y la descripción detallada del modo de fallo permite el desarrollo de estrategias de prevención basadas en modelos de mantenimientos precisos y adecuados, que prescinden de los tradicionales esquemas "preventivo-correctivo" que han demostrado ser obsoletos para sistemas tecnológicos complejos de alto nivel de criticidad.

El último bloque funcional del sistema, se dedica esencialmente a la organización de las "gamas de mantenimiento" que constituyen un avance importante respecto de los esquemas funcionales clásicos que centraban su operatividad en las "rutas de mantenimiento" o tareas de prevención fijas.

En síntesis, la operatividad del modelo de gestión planteado en la Fig. 1, junto con los marcos legales señalados precedentemente, constituyen la piedra fundante de un sistema de regulación y control adecuado de la tecnología biomédica de carácter crítico.

Sin la sinergia entre ambos sistemas, se hace imposible asegurar una disminución importante del riesgo asociado. Ref. [8]

Además de incrementar sustancialmente la confiabilidad del sistema, el modelo propuesto tiene sobre todo la ventaja de la normatización que permite el desarrollo de análisis comparativos de eficiencia de gestión y el control estricto de las acciones desarrolladas en un determinado sistema.

Desde este punto de vista, se puede extender el control regulatorio de la verificación estrictamente técnica de instalaciones y equipamiento al control regulatorio de la verificación gestional que se llevan a cabo en las instituciones de salud, de alto nivel de complejidad tecnológica.

Como dato adicional, la experiencia también demuestra que con este tipo de sistematización se logra un incremento notable de la eficiencia y de la eficacia del sistema llegando a verificarse ahorros sustanciales de más del 35 % en gastos relacionados con la tecnología biomédica, en relación con su adquisición y mantenimiento.

2. 3 *Operativización funcional del sistema*

La respuesta a la tercer pregunta tiene que ver con la operativización del sistema de gestión que se describió en el punto anterior.

Para realizar esto, desde el IRB, se desarrolló una plataforma informática on-line que permite implementar cada bloque funcional descripto anteriormente de manera sencilla y en un formato de trabajo que se puede contextualizar a "cada institución en particular".

Originalmente el sistema se desarrolló sobre un motor de base de datos relacionales basado en MySQL con lenguaje PHP y ha estado trabajando operativamente a través de www.irbutn.org . En la actualidad esta aplicación se está migrando a lenguaje Java a fin de mejorar su performance de trabajo en Internet y sobre todo mejorar aspectos relacionados con tiempos de respuesta y seguridad.

El sistema permite desarrollar acciones relacionadas con:

-Definición de Ingeniería Básica del Sistema.
-Definición de aspectos claves de Ingeniería de Detalle en instalaciones y equipamiento biomédico crítico.
-Codificación significativa de los elementos y componentes de instalaciones y equipos del sistema.
- Análisis de funcionalidad.
- Análisis de criticidad.
-Análisis de modos de fallos, categorizados por nivel de criticidad.
-Gestión de hojas de ruta de gamas de mantenimiento asociado.
-Gestión de recursos humanos.
-Evaluación de estándares de calidad. Ref. [9]
-Gestión de tareas en día a día.
-Reportes de criticidad de tareas.
-Reportes de incidencias semanales.
-Acceso selectivo por niveles de consulta.
-Tableros de control por nivel de consulta, etc. Ref. [10].

En definitiva, el sistema informático descripto, es una herramienta operativa que no sólo permite realizar el procesamiento de la gestión tecnológica de instituciones de alta complejidad, sino que además es una fuente de información en tiempo real que permite a los distintos niveles de administración del sistema generar tomas de decisiones y diseño de estrategias, basadas en indicadores reales del comportamiento de la plataforma de tecnología biomédica, que da soporte a las instituciones de salud.

Los tableros de control "customizables" (hechos a medida), permiten que de acuerdo a nivel jerárquico de la consulta aparezcan indicadores diferenciados

de manera tal, que el gerente de regulación y control del Ministerio de Salud, tenga datos acordes a su función y distintos a los que pueda acceder el director de una institución específica o el jefe de mantenimiento de la misma.
En síntesis, se cree que el software desarrollado es una poderosa herramienta de gestión, que cumple con la premisa de integrar aspectos regulatorios generales con una gestión tecnológica basada en aspectos normativos específicos como la norma RCM. Ref. [11]. Esto le da al sistema un nivel de particularidad e innovación sumamente importante, ya que no existe al menos en Argentina un producto similar al señalado en el presente trabajo.

3. CONCLUSIONES

Los resultados que surgen del análisis de equipos electromédicos realizados en estos años, sugieren que la tecnología biomédica y sus instalaciones asociadas requieren de medidas firmes de regulación y control para que ellas mismas no se transforme en el origen de daños irreversibles, que muchas veces se pueden evitar fácilmente.
Sin embargo y hasta la fecha, en la mayor parte de del país y de América Latina, existen marcos legales y regulatorios muy pobres, por lo que se hace necesario enfatizar la importancia de generar este tipo de normativas, a fin de proteger la salud y el bienestar de la población. Ref. [12].
Si bien en Mendoza y en otras provincias del país, se ha comenzado a trabajar en la verificación técnica de equipos e instalaciones en instituciones de nivel de complejidad medio y alto, se hace necesario normalizar la gestión de la tecnología biomédica y el mantenimiento de la misma, a través de elementos clave como los señalados en la norma RCM SAEJ JA 1011 y/o similares.
En este sentido, el trabajo realizado por el IRB ha instalado una referencia muy importante a nivel local, nacional e internacional por lo que hoy varias provincias y países latinoamericanos han tomado los lineamientos generales del trabajo aquí desarrollado para impulsar proyectos de ley y crear organismos de regulación y control similares a los generados localmente. Lo que demuestra una vez más, la importancia de la vinculación entre el medio universitario y los distintos sectores de la vida social.

REFERENCIAS

[1] A. Alvarez Abril (IRB). S. Ponce (Secretaria de proyecto especiales UTN), D. Rubio (LEDIB, Facultad Regional San Nicolás UTN), Acreditación de Laboratorios de Ensayos de Equipamiento Electromédico – Presentación oral en el XVI Congreso Argentino de Bioingeniería. San Juan, Argentina. 16 y 27 de Setiembre de 2007.

[2] A. Alvarez Abril & A. Terrón & C Boschi & M. Gómez, Review of noise in neonatal intensive care units – regional analysis. Journal of Physics – Conference Series. Vol. 90, 2007.

[3] A. Alvarez Abril & J. Balacco & A. Gonzalez, A. Terrón. Criterios de diseño de sistemas de regulación y control de la tecnología médica. IRB - Congreso Peruano de Ingeniería Biomédica. ANDESCON – IEEE, 2008.

[4] A. Alvarez Abril (IRB). S. Ponce (Secretaria de proyectos especiales UTN). Diseño y acreditación de Laboratorios de Ensayos de Equipamiento Electromédico – Congreso Internacional de Ingeniería Biomédica. Caracas – Venezuela. OMS. Oct. 2007.

[5] Electrical power in clinical laboratory. M.V. Muhm. Electric Power Research Institute. U.S.A. 2002.

[6] María Eugenia Agüero & otros. Ensayos de Seguridad Eléctrica sobre Aparatos Electromédicos. Laboratorio de Investigación Aplicada y Desarrollo. Facultad de Ciencias Exactas. Universidad de Córdoba, 2002.

[7] Mariano Camacho. Hospital General Santiago de Cuba. Cumplimiento de Normas en Equipos Médicos. V Congreso de la Sociedad Cubana de Bioingeniería, 2003.

[8] A. Alvarez Abril & J. Balacco, & E. Noya, A. Terrón. Tecnología Biomédica: Evaluación de Riesgos Asociados. Congreso de Ingeniería Biomédica. Universidad de Valparaíso. Chile, 2007.

[9] M.P. Robison & col. University of York Healthcare Engineering and Electromagnetic Compatibility, 2003.

[10] EMC, Regulations, Standard & Management-ECRI. 2000 –U.S.A., 2005.

[11] Manual de Ensayos de Seguridad Eléctrica en Equipos Médicos – 601 PRO Biotek – Fluke, 2002.

[12] Decretos reglamentarios y normativos del ANMAT, Bs. As. Argentina, período 1990 – 2005.

Detección, análisis y resolución de averías del detector de superficie del Observatorio Pierre Auger

J. Maya[1], B. García[1,2], M. Videla[1,3], J.P. Góngora[1], L. Gonzalez[1]& V. Llanos[1]
jmaya@auger.org.ar & bgarcia@frm.utn.edu.ar & mvidela@frm.utn.edu.ar & jpgongora@auger.org.ar & luisgonzalez@auger.org.ar & valeria_sr@auger.org.ar
[1] *UTN Facultad Regional Mendoza, Observatorio Pierre Auger de Malargüe*
[2] *CONICET*
[3] *Becaria Doctoral Comisión Nacional de Energía Atómica*

RESUMEN: El kit de electrónica de los detectores de Superficie del Observatorio Pierre Auger fue diseñado para un funcionamiento continuo de 20 años con el mínimo mantenimiento. Cuando se produce una falla en el kit de electrónica es registrada y se ingresa a una base de datos. A partir de estos datos sc genera una estadística que indica las fallas frecuentes y si son repetitivas a un mismo detector o kit de electrónica. En este trabajo se explicará los tipos de fallas que se producen frecuentemente en las electrónicas, como fueron detectadas, el análisis realizado y la solución implementada.

Palabras clave: avería – detección – análisis – reparación – seguimiento

ABSTRACT: The electronics kit of the surface detectors of the Pierre Auger Observatory, was designed for a constant functioning of 20 years with minimal maintenance. When there is a flaw in the electronic kit it is recorded and is entered in a database. Statistics that indicate frequent failures are generated from these data and whether the detector or electronics kit has repeated failures. This document will explain the types of failures that occur frequently in the electronic kit, how they were detected, its analysis and the solutions.

Key Words: failures – detection – analysis – repair – follow up

1 INTRODUCCION

El observatorio Pierre Auger tiene un arreglo de 1600 detectores de partículas, denominados detectores Cherenkov. Cada uno de estos detectores posee una electrónica especialmente diseñada para la adquisición de señales y control de variables de funcionamiento. Ver Fig. 1. Estas electrónicas tienen asociada una radio para la transmisión de datos y una placa para el control de potencia del detector. A todos estos elementos se los llama kit de electrónica. Si un kit de electrónica esta funcionando mal o no esta funcionando, un detector deja de tomar datos. Esto implica pérdida de información vital para el proyecto del observatorio. Los kit de electrónica tienen que permanecer funcionado las 24 horas del día durante 20 años con un mínimo de mantenimiento. Ver Fig. 2.

El kit de electrónica es un equipo único, las placas que lo conforman fueron diseñadas especialmente para el detector de superficie de Auger. No existen precedentes en cuanto al desarrollo de técnicas para mejorar su desempeño así como tampoco datos que describan su comportamiento a largo plazo.

2 OBJETIVOS

Debido a que los kits de electrónica deben permanecer funcionando durante 20 años, es muy importante el estudio de las averías de las mismas y la creación de técnicas para su resolución, ya que un kit de electrónica mal reparado volvería a fallar. Esto implica que el detector quede fuera de funcionamiento sin tomar datos nuevamente. El mantenimiento tiene que ser eficaz y eficiente para que no suceda lo antes mencionado. El laboratorio SDECO ("Surface Detector Electronics and Communications") tiene técnicos especializados en la reparación de las averías de los kit de electrónica. Todas las averías detectadas se ingresan a una base de datos, así como también las acciones que se tomaron para solucionar tales fallas. Este registro de averías se utilizó como fuente de información para estudiar las fallas comunes y descubrir los orígenes de las mismas; para luego crear técnicas de reparación que posteriormente sean implementadas por los técnicos que se encargan del mantenimiento de los kit de electrónica.

Las fallas repetitivas producen un gasto de recurso mayor por cada detector. El Observatorio Pierre Auger tiene más de 1600 detectores de superficie. Por este motivo el objetivo de este estudio es minimizar los gastos que se producen debido a este tipo de fallas.

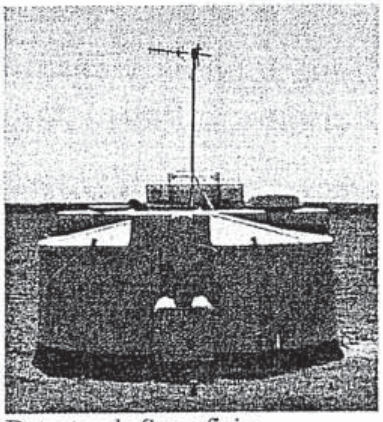


Figura 1. Detector de Superficie.

3 METODOLOGÍA EMPLEADA

3.1 *Creación de un historial*

Cuando el kit de electrónica sufre una avería se registra en una base de datos donde se almacenan las variables que definen su mal funcionamiento. Esta base de datos se denomina PMS (Parts Management System). A partir de los datos almacenados se genera una estadística sobre las fallas. Cuando el kit de electrónica es reemplazado del detector para su mantenimiento se lo lleva al laboratorio SDECo. Este laboratorio tiene su propia base de datos que tiene registros de la electrónica desde el momento de su producción hasta su liberación para ser instalada en algún detector. Estas bases de datos se conectaron pudiendo de esta manera compartir información, creando una importante herramienta de consulta al momento de realizar el mantenimiento del kit de electrónica.

Una vez que el kit de electrónica se encuentra en el laboratorio se ingresa nuevamente a la base de datos, automáticamente se imprime una planilla de falla. En esta planilla de fallas están completados algunos datos, estos son; fecha, número de kit de electrónica, nombre del detector en donde estuvo, descripción de la avería por la cual fue removido del detector y se devuelve para ser reparado. Con esta información se armó un historial de cada kit de electrónica. Este historial de cada kit de electrónica permite relacionar

los resultados de las pruebas realizadas en su producción, su funcionamiento en el detector, todas las reparaciones y modificaciones que se hicieron en el detector, la descripción detallada de su mal funcionamiento realizada por el físico encargado del monitoreo de los detectores de superficie, la descripción de los técnicos que removieron el equipo del detector y finalmente los resultados de las inspecciones y pruebas realizadas en el laboratorio SDECo.

4 RESULTADOS OBTENIDOS

Tomando los datos estadísticos podemos decir que las fallas frecuentes mas importantes son las siguientes:

1) Falla en fusible
2) Falla de software
3) Falla en conexión con CDAS (centro de adquisición de datos)
4) Falla en la calibración de PMT (foto Multiplicadores)

Las falla menos frecuente mas importantes son las siguientes:

1) No envía T2 (Disparo de segundo Nivel)
2) Envía dos paquetes por segundo.
3) Funcionamiento intermitente.

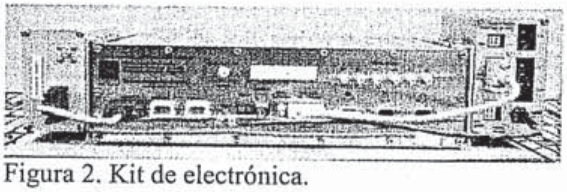


Figura 2. Kit de electrónica.

4.1 *Fallas frecuentes, detección y resolución*

4.1.1 Falla en fusible

Una de las fallas frecuentes en el kit de electrónica es la de fusible. El fusible en cualquier aparato electrónico tiene la función de proteger a la electrónica de incrementos de corriente fuera de lo normal. Cuando esto ocurre el fusible se quema y deja abierto el circuito de alimentación de la electrónica. El fusible que tienen los kit de electrónicas son fusible rápido o acción rápida. Cuando se produce el incremento de corriente el fusible tarda en quemarse 0.2 segundos como tiempo máximo cuando la corriente es el doble del valor que soporta mismo. Los incrementos de corriente fuera de lo normal se producen por fallas de algún componente interno del kit de electrónica que hace incrementar la corriente de consumo del mismo, o por falla de elementos externos a la electrónica.

4.1.2 Detección y resolución de falla de fusible

Se pueden dividir las fallas en causas externas al kit y causas internas.

a) Causas externas:

En el laboratorio se realizaron pruebas verificando el correcto funcionamiento de todas las placas internas, de esta manera descartamos que el fusible se quemó por fallas internas del kit de electrónica. Se estudiaron los datos de monitoreo de los detectores donde estaban estos kit de electrónica para tratar de reproducir en el laboratorio las fallas de fusible. Con estas pruebas se llega a la conclusión que una de las causas de falla de fusible se produce por que este estaba sometido a elevados picos de corriente frecuentes en el tiempo. Estos picos de corriente produjeron el envejecimiento prematuro del fusible disminuyendo su vida útil. Se detectó que los picos de corriente ingresaban por el cable de alimentación del kit y eran generados por el regulador de carga de las baterías. El regulador es el encargado de limitar la tensión y corriente que proviene del panel solar. El regulador carga las baterías por modulación de ancho de pulso (PWM). Cuando el regulador funciona mal genera pulsos de corriente de elevado valor, que producen la falla en el fusible.

Otra de las conclusiones obtenidas al reproducir la falla de fusible fue que estos se quemaban cuando algunos de los fotomultiplicadores (PMT) del detector fallaban colocándose en corto circuito. El kit de electrónica es el encargado de alimentar el modulo de alto voltaje de los PMTs, cuando este modulo se quema o se pone en corto circuito genera que la corriente se incremente rápidamente produciendo la ruptura del fusible.

También se detectó que el fusible se quema producto de descargas eléctricas causadas por tormentas. Aunque los detectores tienen puestas a tierra, las descargas eléctricas también producen la ruptura del fusible. Y no solo produce falla en el fusible de la electrónica si no de las placas de control de potencia y de las baterías.

b) Causas internas:

Para identificar la causa de las fallas de fusibles ocasionadas por averías internas de la electrónica se

estudiaron los datos de monitoreo de los detectores donde estaban estos kit de electrónica; para tratar de reproducirlas en el laboratorio. De estos ensayos de laboratorio se detecto que el mal funcionamiento de las placas internas del kit produce un aumento de la corriente de alimentación generando la quema del fusible. También se identificaron las placas FE y GPS son las que mas frecuentemente producen este tipo de falla. El FE es la placa de adquisición del kit, cuando se produce un desperfecto en el circuito de alimentación de la misma genera que se incremente la corriente a niveles de ruptura del fusible. Lo mismo ocurre con la placa GPS. Ver Fig. 3.

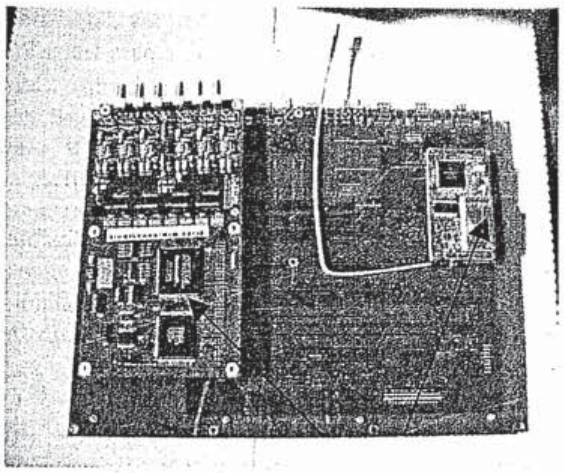


Figura 3. Placa UB con placa FE y GPS

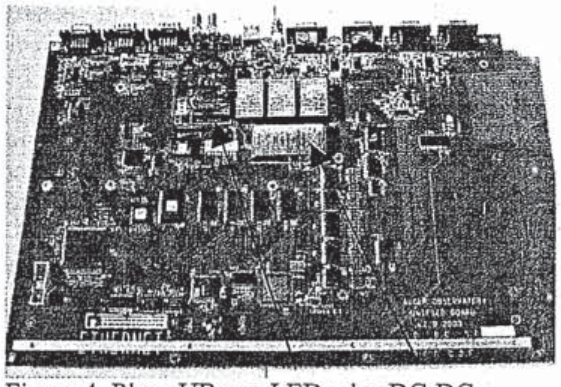


Figura 4. Placa UB con LED y los DC-DC

De los ensayos de laboratorio se identificó que el mal funcionamiento de los conversores de tensión continua-continua (DC-DC) de la placa UB también produce fallas de fusible. Este conjunto de reguladores switching que proveen de las tensiones de: 3.3 V,-3.3 V, 5 V, 12 V que se utilizan para alimentar los diversos circuitos en la UB. Ver Fig. 4.

4.1.3 Falla de software

Como comentamos anteriormente el kit de electrónica esta compuesto de varias placas. La placa mas importante que integra a las demás es llamada UB. La UB es la placa madre de la electrónica de superficie, sus siglas indican "Unified Board". En esta placa encontramos un procesador con un sistema operativo IBM. Tiene 32 MB memoria RAM EDO, 8 MB memoria Flash y 128 KB de memoria PROM para booteo de rescate.
En la memoria flash se graba el sistema operativo y el software dedicado a la adquisición de datos. Estos están divididos en 7 roms:

/rom1 : Home made utilities
/rom2 : OS9 standart utilities
/rom3 : Network utilities
/rom4 : Acquisition programs
/rom5 : Acquisition configuration
/rom6 : General services
/rom7 : UB test programs

Este tipo de fallas es frecuente de encontrar y las causas son diversas. La estadística sobre las fallas nos indica que la memoria flash que contiene los rom4 y el rom7 son los que mas fallan. Y en menor medida la que contiene los rom 1 y rom 2.

4.1.4 Detección y resolución de falla de software

Se analizo este tipo de falla por medio de ensayos de laboratorio. Se constato que cuando el fusible se quema produce un transitorio. Al producirse este pico de corriente o transitorio produce en la memoria flash un borrado parcial de la misma. Que es una característica de este tipo de memoria. Por este motivo al borrarse solo una parte de la memoria afecta solo a algunos roms. Si solo afecta a los roms de donde están los programas de adquisición no es de mucha gravedad. Pero si el borrado de la memoria se produce donde estaba almacenado el sistema operativo tenemos una falla grave de software.
Estos picos de corriente también generan en pocos casos la ruptura de la memoria flash de la UB. Este ultimo caso se produce muy rara vez.

4.1.5 Falla en conexión con CDAS

El centro de adquisición de datos (CDAS) es el encargado de monitorear y recolectar la información los detectores de superficie. Esta sección esta ubicada en el edificio central del Observatorio Pierre Auger en la ciudad de Malargue. El kit de electrónica por medio de la radio envía información de los eventos y variables de funcionamiento del detector al CDAS. Y este último es el encargado de decidir si la información que envía el detector esta dentro de parámetros aceptable para el proyecto. También es el encargado de verificar el normal funcionamiento del detector. Las radios transmiten a una frecuencia de 915 MHz, la potencia de transmisión es de 25 dBm (50 ohms).

4.1.6 Detección y resolución de falla en conexión con CDAS

Para verificar este desperfecto se realizan una serie de pruebas al kit de electrónica. Se verifica por medio de software el correcto funcionamiento de la radio. Lo que se observa por medio de este software es que la radio tenga buena potencia de transmisión y recepción. También se verifica que el software interno de la radio funcione correctamente. Cuando se verifica que las pruebas a la radio no generan errores de funcionamiento el problema es interno del kit de electrónica.
La electrónica posee un receptor de GPS que es el encargado de sincronizar a todos los detectores a un mismo tiempo de reloj. La radio toma del GPS un pulso de sincronización, el cual tiene una frecuencia de un pulso por segundo. Sin este pulso la radio no puede sincronizarse y no envía datos. Por lo que si el GPS no esta funcionado correctamente la radio no va a conectarse. Este problema se detectó por medio de software. El software nos muestra el status del GPS que nos indica si el GPS esta conectado por lo menos a tres satélites o no. Si el GPS después de 15 minutos de espera no se conecta, no funciona correctamente. La falla de GPS son pocos comunes pero suceden. De las pruebas realizadas por este tipo de fallas nos indican que las desconexiones de comunicación por falla de radio son mas frecuentes que la de GPS.

4.1.7 Falla en calibración de PMT

El detector de superficie del observatorio Pierre Auger está diseñado detectar la radiación o luz Cerenkov que es generada por un muon. El muon es una partícula secundaria producida del choque con la atmósfera del rayo cósmico. La región ultravioleta de la radiación Cerenkov es detectada y amplificada por los fotomultiplicadores, quienes envían la señal a la electrónica de adquisición; dicha señal es procesada y transmitida a través del sistema de comunicación a la estación central de datos, CDAS. La placa de Front End (FE.), procesa las señales analógicas de los foto multiplicadores (PMT) del detector. Cuando un detector se pone en marcha lo primero que se hace es calibrar los PMTs a un valor de tensión donde la ganancia sea la mayor posible. Principalmente la placa FE es la encargada de la calibración de los fotomultiplicadores.

4.1.8 Detección y resolución falla en calibración de PMT

La falla en calibración de PMT es muy sencilla de detectar. El sistema de monitoreo del detector automáticamente no indica cuando esto sucede. La principal causa de esta falla es un mal funcionamiento de la placa FE. Esta placa procesa las señales analógicas que envían los fotomultiplicadores. Estas señales pasan por un ampliador operacional, luego son digitalizadas (ADC) y analizadas. Cuando los ampliadores operacionales no funcionan correctamente producen una distorsión en la señal de ingreso. Lo que produce que el FE no pueda calibrar correctamente los PMTs. Si los operacionales directamente no funcionan no dejan ingresar la señal de los PMT por lo tanto no se podrán calibrar. Esta falla en los operacionales generalmente se producen por desgaste del componente o de los componente anexos a el. Lo mismo sucede cuando la falla se produce en los conversores analógicos-digital del FE.
También tenemos falla de calibración cuando el GPS no funciona en forma correcta. La señal de GPS en la electrónica tiene la función de sincronizar los osciladores internos de la placa UB. Estos osciladores uno de 100 MHz y otro de 40 MHz se utilizan en el proceso de calibración del PMT. Si el GPS no se conecta a los satélites no se sincronizan los osciladores y no se podrá hacer la calibración. Pero como se menciono anteriormente la falla en el GPS en poco frecuente.

4.2 *Fallas no frecuentes, detección y resolución*

4.2.1 No envía T2

El T2 es el disparo o trigger de que realiza la placa UB. El primer trigger lo genera el FE. Estos

circuitos de trigger generan un primer nivel de disparo (T1) basado en un análisis mediante hardware de las formas de ondas de las señales de ánodo de los fotomultiplicadores. Cuando la UB detecta que el FE envía el primer disparo trasfiere a memoria los datos desde el front end. Estos datos son analizados por un software que discrimina nuevamente los datos y si detecta que son los producidos por un evento la UB genera el segundo trigger. El kit de electrónica genera 100 T1 por segundo y 20 T2 por segundo.

4.2.2 Detección y resolución falla no envía T2

Los T2 son evaluados por el CDAS. Cuando el kit de electrónica no envía los T2 se genera una alarma por el sistema de monitoreo avisando el desperfecto. Esta falla se produce principalmente cuando el FE no esta funcionado adecuadamente. Si el front end esta desechando todas las señales que envían los PMTs nunca va a enviar T1, y si no hay T1 tampoco se enviaran T2. Esto se produce por que el PLD del FE que es el encargado de analizar las señales de lo fotomultiplicadores no esta funcionando, por este motivo no genera los T1.

4.2.3 Envía dos paquetes por segundo

Cada uno de los detectores del observatorio Pierre Auger envía al CDAS información de su status cada un segundo. Envía un paquete de datos donde están la información de monitoreo y funcionamiento del detector.

4.2.4 Detección y resolución falla envía dos paquetes por segundo

Esta falla es importante ya que el detector que envía dos paquetes por segundo puede llegar a saturar la BCU que es la encargada de recolectar los datos de 20 detectores. Lo que produciría que estos 20 detectores quedaran fuera de línea y los datos que estos envían se perderán. Esta falla en particular fue muy difícil de evaluar ya que no había indicios de donde podría estar el desperfecto. Después de analizarla los datos de los detectores, las electrónicas afectadas y haciendo pruebas para lograr reproducir la falla en el laboratorio se logro encontrar la causa del desperfecto. La razón de que el detector envía dos paquetes por segundo es por el mal funcionamiento de chip de time tagging en la UB. El time tagging es el encargado de sincronizar los osciladores y la radio con el pulso por segundo que envía el GPS. Si este chip que realiza esta tarea en la UB se descalibra genera que la radio en vez de enviar un pulso por segundo envíe dos pulsos por segundo. Transmitiendo dos paquetes de información por segundo, es decir envía dos veces más información que un detector funcionando correctamente

Este tipo de falla es tan poco común que solo se han registrado tres de un total de 1600 kit de electrónica funcionando en 5 años.

4.2.5 Funcionamiento intermitente

Cuando nos referimos a funcionamiento intermitente, hacemos referencia que el detector funciona correctamente un tiempo, se apaga otro tiempo y vuelve a funcionar otro tiempo. Por este motivo se lo puso funcionamiento intermitente.

4.2.6 Detección y resolución falla funcionamiento intermitente

Este funcionamiento errático del detector se detecta cuando el sistema de monitoreo genera la alarma de desconexión. Pero esta alarma se apaga cuando el detector se conecta nuevamente. Y vuelve a encenderse cuando se desconecta y sigue así hasta el momento que se va hacer mantenimiento. Esta falla es causada principalmente por falla del switch de la placa UB. Unas pocas UB tienen el problema, debido a que el switch (llaves) se que poseen no se encuentra bien soldado. Ver Fig. 6.

Por medio de este switch se coloca el software para que funcione en forma normal o en modo de rescate habilitando el puerto ethernet. Cuando la UB esta en modo de rescate no corre el software de adquisición lo único que hace es esperar la comunicación por el puerto de ethernet. Dejando de lado la comunicación y demás tareas normales del detector.

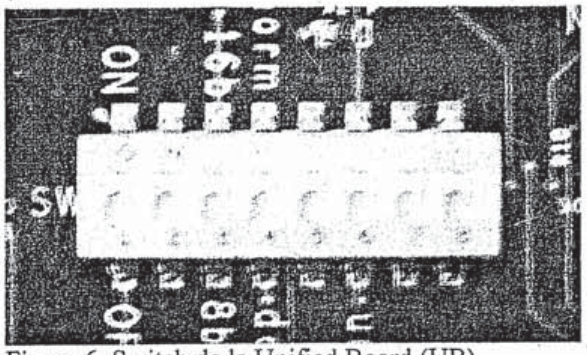


Figura 6. Switch de la Unified Board (UB).

Cuando al producirse una expansión o contracción de la placa UB por temperatura el switch deja de hacer contacto con los pad, lo que genera que la UB se coloque a modo de rescate. Luego al contraerse o expandirse nuevamente la UB hace contacto nuevamente el switch con los pad y la UB se coloca en modo normal.
Esta falla se originó en la producción de la placa UB. Que fue detectada y corregida. Estas placas que no tiene bien soldado el switch no supera el 0.8 % del total producción.
Esta falla se soluciona re soldando el switch de la UB.

5 SEGUIMIENTO DE REPARACIONES

Cuando se realizan las pruebas para la reparación del kit de electrónica todo cambio de placas, de radio, TPCB o acción tomada para la reparación se registra automáticamente en la base de datos. Cada kit tiene un historial de todas las pruebas que se le realizaron y cambios de elementos del mismo. Esto agiliza y facilita el mantenimiento. De forma automática la base de datos del laboratorio SDECO se comunica con la base de datos PMS y transmite los cambios de datos de los kit y cualquier dato nuevo ingresado.
Con este sistema de seguimiento de fallas podemos detectar si una falla fue solucionada definitivamente o si solo fue una solución temporal.

6 CONCLUSIONES

Mediante la incorporación de un seguimiento de fallas se pudo comprobar que las técnicas de reparación creadas a partir de este estudio, disminuyen el tiempo durante el cual se encuentra un kit en mantenimiento. Esto aumenta el rendimiento del kit y del Observatorio en cuanto a la toma de datos.
Comprender el origen de las fallas permitió mejorar el funcionamiento del detector, ya que conocer y entender las causas externas que afectan el kit de electrónica posibilitó descubrir fallas en los reguladores de tensión de los paneles solares y baterías, así como también fallas producidas por cortos en fotomultiplicadores.
Realizando este tipo de estudios se pudo predecir fallas, tal es el caso de las averías debidas a desperfectos en diseños como los switches de UBs. Estos kits de electrónica son reparados antes de producirse la falla. Lo mismo sucede con los kits de electrónica cuyo fusible, presenta signos de envejecimiento. Mediante datos de monitoreo se puede obtener el valor de la resistencia del fusible, cuando esta se incrementa se evidencia el envejecimiento. Actualmente se está probando esta técnica para reemplazar estos fusibles antes que se produzca la falla en el detector [4].

AGRADECIMIENTOS

En el corto periodo de vida del Observatorio Pierre Auger se han tenido que sortear grandes desafios. Teniendo en cuenta que es el único de esta envergadura en el Mundo. Se han tenido que resolver una gran variedad de problemas que se fueron planteando en la puesta en marcha del mismo. Gracias a la gran dedicación del personal del Observatorio, de la colaboracion internacional y del gran aporte de los técnicos e ingenieros de la UTN, se ha logrado desarrollar esta técnica que facilita y mejora la forma de hacer el mantenimiento. Formando un equipo especializado en el mantenimiento de la electrónica de detectores de partículas.

REFERENCIAS

[1] Pierre Auger Project Technical Design Report Draft. Marzo 2004.
[2] Colonges S, The Unified board quick guide. Enero 2006.
[3] Colonges S, The Unified borrad fuses failures. Febrero 2005.
[4] Sato R, Comunicación privada, SOC del Observatorio Pierre Auger sitio Sur 2008.

Control e interfaz de transmisión de datos para contador de muones A.M.I.G.A.

M Videla[1, 2] & B. García [1,3]

mvidela@frm.utn.edu.ar & beatrizgarciautn@gmail.com
[1]*Laboratorio Pierre Auger, Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional*
[2] *Becaria Doctoral Comisión Nacional de Energía Atómica*
[3] *CONICET*

M. Platino

mplatino@gmail.com
Comisión Nacional de Energía Atómica. Centro Atómico Constituyentes

RESUMEN: El Observatorio Pierre Auger planea incorporar, para el estudio de rayos cósmicos de energías de 0.1 EeV, contadores de muones ubicados a 3 m bajo tierra en conjunto con detectores de superficie Auger. La geometría del contador y su ubicación bajo tierra determina la utilización de electrónica distribuida. Como parte de la electrónica del contador estará dispuesta bajo tierra y el sistema de comunicación se ubicará en la superficie, es necesario transmitir los datos así como implementar un sistema de control y monitoreo de la electrónica que estará enterrada sin acceso desde el exterior. En este trabajo se presenta el diseño de una red de control distribuida que posibilitará el control, monitoreo y transmisión de datos del contador.

Palabras clave: contador de muones – control distribuido – electrónica subterránea – control remoto

ABSTRACT: The Pierre Auger Observatory is planning to build a new type of detector to study low energy cosmic rays down to 0.1 EeV. These detectors are muon counters buried at 3 m from surface. Geometry of muon counter and its location allow implement a distributed control electronic scheme. Because of the moun counter electronic is underground and the communication system is in the surface it is needed to transmit data to develop a control and monitoring system to achieve an autonomous system

Key Words: muon counter – distributed control – underground electronic-remote control

1 INTRODUCCIÓN

1.1 *Auger Moun Infill for Ground Array (A.M.I.G.A.)*

El Observatorio Pierre Auger se encuentra actualmente en su segunda etapa de desarrollo. En esta etapa se pretende aprovechar el arreglo ya emplazado para poder ampliar el espectro de energía de los rayos cósmicos. Existen varios proyectos para llevar a cabo este objetivo, algunos de ellos son H.E.A.T., RADIO y A.M.I.G.A. (Auger Mouns and Infill for Ground Array).
AMIGA consiste en la incorporación de pares de detectores de superficie Auger y contadores de muones subterráneos al arreglo ya instalado de detectores de superficie Auger. De esta manera una zona de 23.5 km^2 que cubren los tanques de superficie Auger tendrá 85 tanques espaciados a 433 m y 750 m. En la Fig. 1 se muestran con puntos negros los detectores de superficie ya instalados de Auger, estos se encuentran actualmente funcionando, con puntos grises se muestran los tanques ubicados a 750 m de distancia. Finalmente los puntos grises más cercanos a los puntos negros son los tanques a distancias de 433 m La zona delimitada por los tanques ubicados a distancias de 433 m es de 5.9 km^2, estos tanques todavía no están instalados.

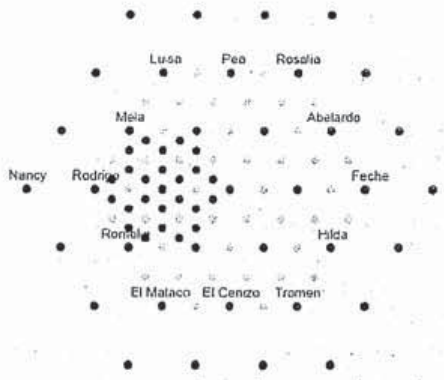


Figura 1 Esquema de la distribución de detectores

2 ANTECEDENTES

2.1 *Contador de muones*

Para lograr los objetivos, se construirán 85 contadores de muones que acompañarán a los 85 tanques de superficie Auger. Los contadores consisten en láminas de centelladores cada una con una fibra óptica que permite colectar la luz que produzcan los muones al atravesar el centellador. Estas fibras ópticas tienen uno de sus extremos acoplado a un fotomultiplicador multi-ánodo de 64 pixeles (Ver Fig. 2).

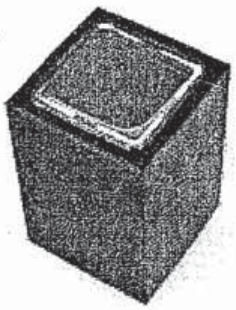


Figura 2. Fotomultiplicador H7546B-200

Se armarán 4 módulos que contendrán 64 láminas de 4 m por 4.1 cm de ancho y 1 cm de espesor de poliestireno estrudado dopado con fluor y co estrudado con una protección de TiO2 reflectiva [1] Cada lámina tendrá una canaleta donde se coloca la fibra óptica (Fig 3).

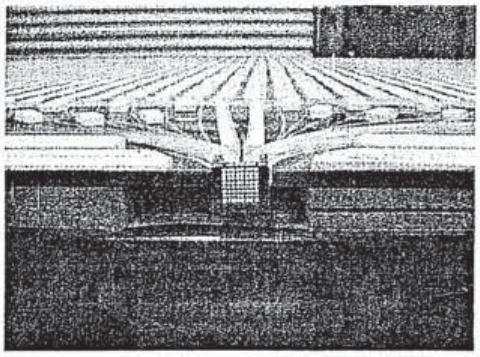


Figura 3 Foto de línea de ensamble de un contador de muones en el Argonne National Laboratory de la Universidad de Chicago.

Los fotomultiplicadores multi-ánodo que se utilizarán son los H7546B-200 de la línea de Hamamatsu. En la Fig. 3 se muestra una foto de la línea de ensamblado en Argonne National Laboratory donde se observa en primer plano un conector óptico de 64 pixeles.

2.2 *Electrónica del contador de muones*

Las 64 salidas del fotomultiplicador ingresan a las denominadas placas analógicas. Las placas analógicas se encargan de transformar la corriente entregada por el fotomultiplicador en tensión, con la posterior digitalización de los pulsos. Estos pulsos digitalizados ingresan a la placa digital. La placa digital tiene la función de adquirir cada 25 ns los pulsos digitalizados de cada una de las salidas del fotomultiplicador. La placa digital se encuentra sincronizada con el detector Auger a 40 MHz mediante una línea independiente. Durante el período de prueba, en el arreglo de ingeniería llamado *celda unitaria*, el muestreo se realizará cada 12,5 ns, es decir, a 80 MHz. Sobre esta línea, además del disparo, también se envía la marca de sincronización de los eventos. Esta marca de sincronización permite almacenar la información de cada pulso con la referencia temporal utilizada por el observatorio. Esta información se almacena en una memoria circular. Todo esto se implementa en un FPGA, dada la velocidad de procesamiento que se necesita. La información almacenada en la memoria circular debe ser transmitida cada vez que se produzca un evento de alta energía (T3) al sistema de comunicaciones que se encuentra ubicado en el mástil de la antena de radio del detector Auger.
Las placas analógicas fueron diseñadas y fabricadas en su fase de prototipo en el Centro Atómico Constituyentes de la CNEA en colaboración con la Universidad de Siegen (Alemania)
La placa digital que incorpora el FPGA (modelo, densidad y cantidad de pines), en su fase prototipo ha sido diseñada también en el Centro Atómico Constituyentes de la CNEA y será fabricada en colaboración con la Universidad de Siegen.

3 OBJETIVOS GENERALES Y PARTICULARES

3.1 *Interfaz de transmisión de datos*

3.1.1 Sincronización con eventos

La sincronización con los eventos T3 del observatorio debe permitir obtener la información del contador de muones cada vez que se produzca un T3. El evento T3 de Auger requiere la coincidencia de 3 detectores de superficie que hayan pasado las condiciones de ToT y que el detector más cercano y el segundo más cercano hayan sido disparados [2].
Cuando se detecta un T3 la estación central ubicada en la ciudad de Malargüe, pide la información a todos los detectores en el instante que se produjo el T3. La marca de sincronización de un T3 se envía mediante broadcast a todos los detectores. Esta marca también debe ser transmitida al FPGA del contador para poder obtener los datos que corresponden a ese evento. Esta marca será transmitida por la estación la estación central a los contadores de muones mediante wi-fi (sistema de comunicaciones de AMIGA).
La frecuencia de T3 se ha medido en la celda unitaria compuesta por 7 tanques siendo esta 1 evento cada 10 minutos por tanque [3].
El tamaño del paquete de datos del contador de muones se estima aproximadamente en 48 KBytes. Las velocidades de transmisión con esta cantidad de datos y frecuencia de T3 son muy bajas, aproximadamente 558 kbps.
La marca de sincronización debe ser transmitida desde el sistema de comunicaciones hacia los 4 FPGAs ubicados a 3 m de profundidad. La transmisión debe ser segura, la línea de transmisión debe poder cubrir hasta 16 m de longitud y no requiere exigencias en cuanto a velocidad.
Una vez que el FPGA recibe la marca de tiempo selecciona el evento dentro de la memoria circular y transmite los datos del evento.

3.1.2 Monitoreo y control

Los fotomultiplicadores que se utilizan en el contador de muones utilizan fuentes de alta tensión para su polarización. Esta fuente de alta tensión provee desde 0 a 1250 V y se controla con tensiones de 0 a 5 V. Debido a un envejecimiento del fotomultiplicador será necesario incrementar el valor de tensión de polarización de los fotomultiplicadores. Por este motivo se necesita variar la tensión de control de las fuentes de alta tensión.
También es necesario conocer los valores de alimentación de los módulos de alta tensión y los valores de salida de alta tensión. Las placas analógicas poseen un circuito que permite sensar los valores de alta tensión y también posee una entrada

para el control de alta tensión. Los valores de monitoreo de alta tensión y alimentación de módulos de alta tensión, deben ser transmitidos al sistema de comunicaciones y los valores de control de alta tensión deben ser controlados desde el sistema de comunicaciones permitiendo un control remoto. Además de estas variables, se monitorean las tensiones de salida de las fuentes digitales y analógicas que alimentan al FPGA, la temperatura y humedad dentro de la caja que contiene la electrónica y el consumo de corriente de cada uno de los cuatro módulos.
Los valores de corriente se monitorean en las entradas de las placas de distribución de alimentación o Power Distributor Boards, estas placas diseñadas en Alemania en la Universidad de Siegen contienen las fuentes de alimentación para las placas analógicas y las placas digitales. Además proveen la aislación para la línea de transmisión de sincronización con el detector Auger. Estas placas se ubicarán cercanas al sistema de baterías y panel solar del detector. También aíslan toda la electrónica que se encuentra subterránea con la tierra del tanque. Tal como se plantea la ubicación de cada una de las variables a monitorear y a contralar se puede observar la necesidad dc implementar un sistema de control distribuido.

3.2 *Microcontrolador y FPGA*

El microcontrolador (MCU) debe proveer no sólo al FPGA una interfaz para comunicarse con el sistema de comunicaciones, sino la posibilidad de contar con configuración y programación remota del mismo. El MCU se comunica con el FPGA a través de un puerto de 16 bits, este puerto sirve tanto para la transmisión de datos, como para la configuración del mismo. El FPGA posee también una entrada serie específica de programación, el MCU debe poder programar al FPGA a través de esta interfaz serie.

3.3 *Configuración de FPGA*

Para posibilitar cierta flexibilidad en la operación del FPGA, el mismo incorpora ciertos parámetros que pueden ser modificados exteriormente, estos valores permiten diferentes configuraciones. Además es posible leer estos parámetros de configuración periódicamente para que sean almacenados junto con los datos de T3. Esto implica mantener una comunicación periódica independiente de si se produce o no un T3 Es necesario leer y escribir esos datos del FPGA y poder enviarlos hacia el sistema de comunicaciones junto con los valores de control y monitoreo. También como se mencionó en el tema de sincronización es necesario escribir en el FPGA el valor de la marca de sincronización para poder ubicar los datos del T3 a ser transmitidos.

3.4 *Programación del FPGA*

En caso que se necesitara ajustar o cambiar la programación del FPGA, se puede implementar un circuito de programación que consta de una memoria que puede ser escrita remotamente. De esta forma se podrá cambiar el funcionamiento del FPGA solamente escribiendo sobre esta memoria y habilitando al circuito de programación en forma remota.

3.5 *Bajo consumo*

Una de las condiciones más exigentes de este diseño es el consumo. El contador de muones debe funcionar en una zona inhóspita a 3 m de profundidad con un sistema de energía panel solar-baterías. La utilización mínima de cableado para evitar fallas también se desea. Todos los componentes que se utilizan para el diseños deben ser seleccionados teniendo en cuenta su consumo, tendiendo a minimizar el mismo.

4 DESARROLLO DEL TRABAJO

4.1 *Control Area Network (CAN)*

4.1.1 BUS CAN

Para implementar lo anteriormente descripto, se desarrolló una red CAN, donde cada módulo del contador es un nodo, y donde el sistema de comunicaciones es el nodo servidor. En el esquema de la Fig. 4 se muestra la topología de la red.
Cada nodo incorpora un microcontrolador (MCU) que posee un controlador CAN incluido en la misma pastilla. Para mantener la aislación entre fuentes analógicas y digitales se implementan los transceptores CAN, en la Power Distributor Board.
El bus CAN es un bus diferencial normalizado según la norma ISO11898; en esta norma se especifica la capa física de la red CAN.

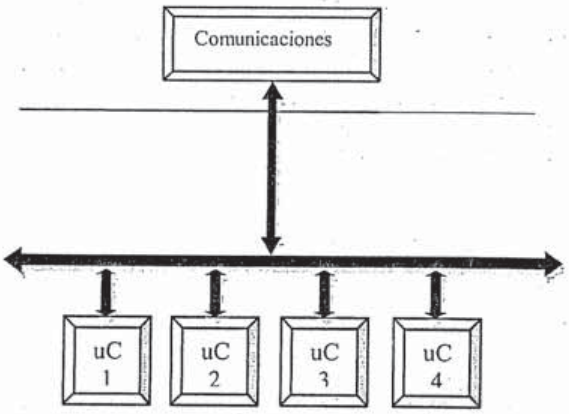


Figura 4 Topología de la red CAN

Los transceptores CAN que se utilizan son los SN65HV233 de Texas Instruments ®, actualmente es la única empresa que dispone en el mercado transceptores que funcionan en 3.3V[4]
La decisión de utilizar CAN en 3.3V y no en 5 V, como se hace comúnmente en ambientes industriales y en el sector automotriz, se debe a la especificación que impone el diseño de optimizar el consumo. La red CAN funciona a 1 Mbps, más que suficiente para las exigencias de velocidad del proyecto. El sistema de comunicaciones es una single board computer (SBC) fabricada por Technologic System ® basada en un procesador ARM9 ® a 200 MHz [5]. La SBC es el modelo TS-7260 y posee un bus de expansión PC104 [5] en donde se incorpora un controlador CAN fabricado por la misma empresa (TS-CAN1). El prototipo se construyó con un módulo TS-CAN1 que funciona en 5 V [6], pero en un futuro se pretende reemplazar este controlador por un diseño propio funcionando en 3.3V La TS-7260 trabaja con sistema operativo LINUX. Los drivers para el controlador CAN son GNU y pueden ser adaptados o modificados según la aplicación.

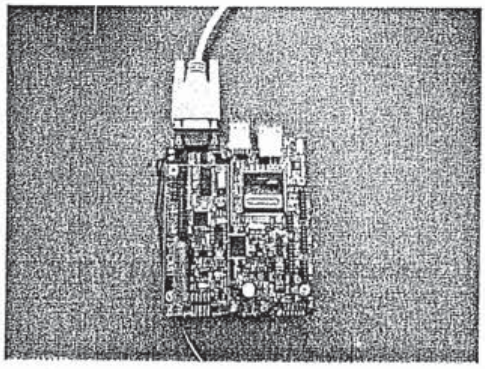


Figura 5. Single Board Computer (SBC)

El bus CAN permite minimizar el cableado y la transferencia de información desde el sistema de comunicaciones a los nodos de manera segura.

4.1.2 Módulos y nodos CAN

Cada módulo representa en la topología un nodo cliente. Cada nodo posee un MCU, un DAC de salida dual, para las tensiones de control de alto voltaje, un ADC con 7 entradas para monitoreo, un controlador CAN y un puerto de 16 bits para conectarse con el FPGA. En la Fig. 6 se muestra una foto de un prototipo.

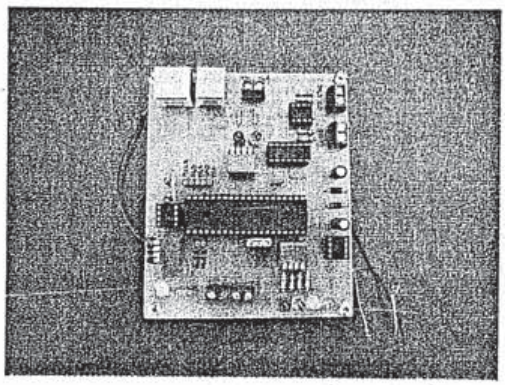


Figura 6. Prototipo de Nodo

Los prototipos incluyen transceptores CAN en el circuito pero en el diseño final los mismos integrarán en la placa de distribución de alimentación. Los transceptores se incluyeron en la placa para facilitar la prueba y puesta a punto de las comunicaciones con la SBC.

Cada uno de estos módulos debe conectarse a cada uno de los 4 FPGAs y a las placas analógicas. En el prototipo se utilizaron MCU de 8 bits de la línea 18F de Microchip ® En el desarrollo final se utilizará un MCU con mayor cantidad de I/O.
En la Fig. 7 se muestra una foto del microcontrolador que se utilizará para la versión del prototipo final. El prototipo tendrá 3 conectores para la placa digital en donde se encuentra el FPGA. Un conector de 40 pines y un conector de 20 pines para el puerto de 16 bits con el FPGA. Un conector de 10 pines para sensado de tensiones en la placa digital. Un conector de 8 pines para la placa analógica. Un conector de 2 pines para la placa de distribución de

energía y finalmente un conector RJ45 para la transmisión digital de CAN, que también se conecta a la placa de distribución de alimentación.

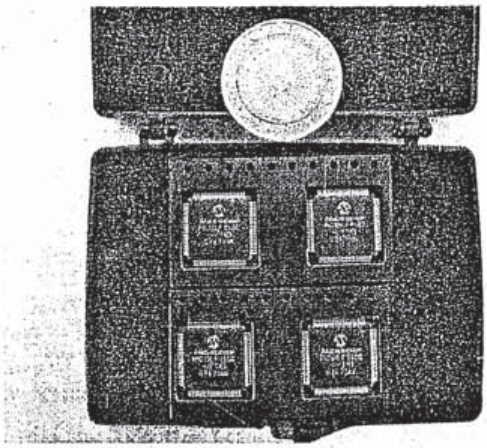


Figura 7 Microcontrolador 18LF8680

En el diseño final MCU y FPGA se encontrarán integrados en una misma placa. La fabricación del prototipo final será destinada para experimentar en la celda unitaria compuesta por 7 contadores en Malargüe.

5 ADQUISICIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

5.1 *Implementación de la red CAN en el laboratorio*

El protocolo CAN se vale de identificadores de mensajes cada mensaje tienen asignada una prioridad. Los identificadores de menor valor corresponden a la más alta prioridad. Cada mensaje CAN consta de 8 bytes de datos, mas un identificador de 11 bits (modo estándar).
Para experimentar con la red de control distribuido se construyeron 3 nodos. Cada nodo se programó con un conjunto de mensajes característicos. Se dividió los mensajes en 3 grupos; mensajes de monitoreo cuya prioridad es la menor; mensajes de control y mensajes de datos cuya prioridad es la mayor.
Los mensajes de monitoreo son recibidos por el nodo y estos activan las entradas ADC, se leen los valores de tensiones, se desactivan las entradas y se transmiten las lecturas, cada entrada del ADC es codificada con un identificador propio permitiéndole a la SBC reconocer que nodo mandó el mensaje y que entrada se está monitoreando solamente con el identificador del mensaje. El dato se transmite en el campo dato utilizando 2 bytes.
Los mensajes de control son recibidos por el nodo y automáticamente reconocidos mediante su identificador, el primer y segundo byte de datos se decodifica para reconocer que salida del DAC debe ser configurada y que valor de tensión se desea.
El nodo responde a la SBC mandando un mensaje en donde incluye automáticamente la salida del DAC seleccionada mediante una lectura del ADC ya que dos entradas del ADC se encuentra conectadas a las dos salidas del DAC.
Los mensajes de datos son recibidos por el nodo y son retransmitidos a la SBC, este último se programó para pruebas de transmisión.
Para armar la red se utilizó un hub pasivo, que es un simple bus con 4 conectores RJ45, este hub pasivo se colocará en la mismo gabinete que contendrá la SBC. Esto posibilitará la conexión o desconexión por separado de cada uno de los nodos. Si alguno fallara y ocasionara tráfico en la red puede ser desconectado desde el exterior.
También es posible conectar en el mismo hub un nodo de monitoreo exclusivo del tráfico de la red par diagnósticos y puesta a punto en el campo.

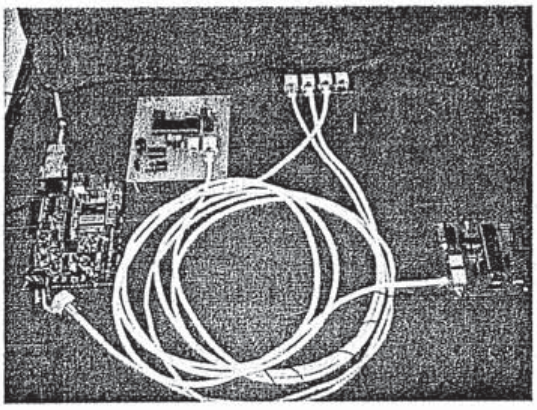


Figura 8. Foto de 2 nodos conectados a la SBC mediante hub pasivo.

5.2 *Medición de consumo*

El MCU seleccionado para construir el prototipo fué el 18LF8680. Este MCU es de 8 bits con arquitectura Harvard, consta de 64KB de memoria de programa, 3828 bytes de SRAM y 1KB de EEPROM, posee módulos SPI, CAN y ADC

incorporados. Las curvas de consumo con una alimentación de 3.5 V trabajando a 20 MHz indican un consumo máximo de 14 mA [7]. Las versiones de encapsulado de este MCU no incluyen PDIP, de la misma familia y con las mismas prestaciones pero con menos pines de I/O y memoria se encuentra disponible el MCU 18LF4680 con 64KB de memoria de programa. Las curvas de consumo en función de frecuencia no se encuentran publicadas para el MCU 18LF4680. Se tomó como referencia para realizar una comparación, el parámetro IDD (Supply Current) con 5 V de alimentación trabajando a una frecuencia de 40 MHz a una temperatura de 85 ^{0}C Para el 18LF4680 el valor máximo de IDD es de 44 mA. Para el 18LF8680 es de 34 mA. Todos estos valores no incluían el consumo de ninguno de sus módulos. No hay curvas ni datos del consumo del módulo CAN en ninguno de los dos manuales consultados.

Para la construcción del prototipo se utilizó el MCU 18LF4680, por contar con encapsulado PDIP facilitando su montaje.

Las mediciones de consumo de cada nodo transmitiendo a 1 Mbps en forma continua fué de 125 mW. El consumo de la placa en modo standby es de 45 mW. Todas las mediciones se realizaron a temperatura ambiente con una frecuencia de oscilador de 20 MHz.

Estas mediciones se usaron para calcular el consumo del módulo CAN, el mismo fue de 16 mA.

6 CONCLUSIONES

Se probó una red CAN conformada por 3 prototipos conectados al hub pasivo con cables UTP clase 5 de 16 m de longitud cada uno. La SBC se conectó mediante el mismo tipo de cable pero con una longitud de 3 m. La velocidad de transmisión se fijó en 1 Mbps. Con esta configuración no se pudieron detectar pérdidas de paquetes. Las longitudes probadas permitieron verificar que es posible implementar la red en distancias incluso superiores a las que físicamente se encontrarán los módulos enterrados en el campo. La implementación de los nodos permite una ubicación estratégica y dinámica de los módulos.

El consumo máximo total de cada nodo fue de 125 mW. Las mediciones y los cálculos de consumo realizadas con los prototipos permitieron aproximar el consumo del módulo CAN en 16 mA. Estas mediciones no solo posibilitaron obtener el valor del consumo total sino el consumo del módulo CAN ya que el mismo no se publica en las hojas características del MCU. Los valores de consumo obtenidos estuvieron acorde a las necesidades de bajo consumo especificadas para este diseño.

La caracterización del DAC, permitió detectar un error en la transmisión del bit 8 de la palabra de configuración. La misma se producía al usarse el flanco de bajada del clock como sincronismo entre bytes, esto producía un acortamiento de tiempo en el bit 8. Se salvó el inconveniente utilizando para este sincronismo una salida dedicada del MCU.

La implementación de la red CAN con tres nodos permitió demostrar que este protocolo simplifica la programación del MCU, realizando una primera decodificación solo con el identificador de mensajes. El uso de la SBC como servidor y los nodos como clientes aseguró una transmisión segura. La programación de cada nodo con distintos identificadores de mensajes permitió a la SBC almacenar la información de cada nodo y diferenciar entre un mensaje de monitoreo enviado por los ADCs y cualquier otro mensaje. De esta forma cuando se implementen los mensajes de datos del FPGA los mismos tendrán máxima prioridad y pueden ser almacenados en ubicaciones de memoria diferentes. Las aplicaciones en LINUX para CAN son GNU, esto permitió realizar modificaciones en el driver facilitado por el fabricante y en un futuro permitirá utilizar las aplicaciones como base para la programación formal de la SBC.

En una segunda fase del proyecto se probará la conexión del MCU con el FPGA, la misma no se pudo implementar debido a que las placas digitales no pudieron fabricarse en Argentina dada su complejidad. Al momento de redactar este artículo las placas estaban en camino a la CNEA desde Siegen.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a las personas que ayudaron para la concreción de este proyecto, sus aportes hicieron posible la construcción y diseño de los diferentes prototipos. A Javier Maya por construir el primer programador y debbuger, y colaborar con el montaje del primer prototipo; a Diana Yelós por diseñar el layout y construir cada uno de los prototipos siguientes en tiempo record; a Gonzalo de la Vega por sus aportes en el tema de drivers LINUX , transmisiones SPI y CAN.

Este trabajo fue financiado por la CNEA y la Provincia de Mendoza

REFERENCIAS

[1] Etchegoyen A, AMIGA Auger Muons Infill for the Ground Array, ICRC, 2006.

[2] Allard D, Armengaud I & Alekotte I et al, The trigger system of the Pierre Auger Surface Detector: operation, efficiency and stability, ICRC, 2005.

[3] Bertou, X, Comunicación privada, 2008

[4]Texas Instrument, 3.3-V CAN TRANSCEIVER, November 2002.

[5] Technologic System, (2006) TS-7260 Hardware Manual, Jul 2006.

[6] Technologic Systems GETTING STARTED WITH TS-CAN1 PC/104 CAN BUS PERIPHERAL BOARD, Dec 2006.

[7] Microchip, PIC18F8680 Data Sheet, Enhanced Flash Microcontrollers with ECAN™ Technology, 10-Bit A/D and nanoWatt Technology, Preliminary, Microchip, 2006.

Estudio de la zonificación de viñedos con imágenes multiespectrales asociado a la variación interanual del índice de vegetación y peso de poda

H. Vila & M.R. García

hervila@mendoza.inta.gov.ar & miguelrgarcia@gmail.com
Laboratorio de Viticultura, EEA INTA Mendoza - Grupo Génesis, Laboratorio de Electrónica, Universidad Tecnológica Mendoza

J. Pérez Peña

patagua@mendoza.inta.gov.ar
Laboratorio de Suelo, EEA INTA Mendoza

RESUMEN: El objetivo fue determinar la asociación entre variables medidas en el terreno e índices de vegetación (Iv); probar si los Iv permiten zonificar los viñedos en áreas homogéneas y determinar las posibles causas de las variaciones. Se mapearon el índice de vegetación normalizado (NDVI) y el índice directo (SR), que se relacionaron con peso de poda (pp). Se utilizaron imágenes satelitales (QB) y aéreas (Aer) para estimar biomasa en viñedos de parral y espaldero. Se observó una asociación significativa entre los Iv y la variable pp de la planta del mismo año en las dos parcelas, sin embargo las asociaciones de los Iv con pp fueron menores. NDVI y SR se asociaron en forma positiva y significativa con el pp del año anterior. Se propone realizar estudios multitemporales basados en el promedio de los Iv y una clasificación de distribución de frecuencias.

Palabras clave: índice de vegetación - vitis vinifera - viticultura de precisión

ABSTRACT: The objective was to determine the association between variables measured in land and vegetation indexes (Iv); to try if the Iv allow to divide into zone the vineyards in homogenous areas and to determine the possible causes of the variations. Iv maps were obtained and compared with grapevines pruning weights. A significant association between the Iv was observed and the variable weight of pruning of the plant of the same year in the two parcels, nevertheless the associations of the Iv with weight of pruning were smaller. NDVI and SR they were associated in positive and significant form with the weight of pruning of the previous year. One sets out to realise multi-temporal studies based on the average of the Iv and to realise a classification of the frequency allocation.

Key Words: vegetation index - vitis vinifera - precision grape growing

1 INTRODUCCIÓN

La variabilidad espacial de la canopia es un fenómeno conocido y distintivo de los viñedos. Ref. [1]. Puede ser por causas ambientales o de la dotación de riego o también bióticas, como el ataque de insectos y se manifiestan con diferencias en la expresión vegetativa, la producción de uva y en su calidad. Los manejos de cultivo tradicionales no tienen en cuenta esta heterogeneidad, ni implícitamente los factores que la provocan, y por ende tienden a agravarla. Poder determinar zonas homogéneas en los viñedos y conocer los factores que influyen sobre su variabilidad permite realizar manejos sitio específico, como riego y fertilización, así cada sector podría alcanzar su máximo potencial productivo y de calidad de uva. Aplicar esta tecnología permite al productor aumentar los beneficios y minimizar los costos, pero realizando una fuerte inversión inicial. Ref [2].

El uso de sensores remotos e imágenes multiespectrales se ha mostrado como una herramienta potente para la agricultura de precisión en varios cultivos incluyendo la vid. Se ha observado que los índices de vegetación (Iv) generados a partir de imágenes multiespectrales permiten estimar la biomasa producida por los cultivos y en menor medida otros aspectos asociados como producción o calidad de frutos. Se sabe también que la distribución espacial de los Iv varía con el transcurso de los años. El objetivo del manejo sitio específico es establecer zonas homogéneas, por esto es preciso conocer qué parte de la variación temporal es atribuible a las plantas, ya que también puede haber causas diversas (e.g., posición de la cámara, condiciones climáticas).

El objetivo del trabajo fue determinar la asociación entre variables agronómicas medidas en el terreno e Iv; probar si los Iv permiten zonificar los viñedos en áreas homogéneas con abstracción del sistema de conducción y determinar las posibles causas de la variación espacial y temporal de estos índices.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 *Experimental*

El estudio se realizó en dos parcelas contiguas de vid cv Cabernet Sauvignon de 1 ha cada una. Las parcelas estaban ubicadas en el campo experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo en Mendoza (33° lat. Sur, 68° long. Oeste, 800 m snm, 180 mm de precipitación anual, zona III de Winkler. Ref [3]). Los viñedos eran contiguos y poseían 10 años de edad y diferían tanto en sistema de conducción como en densidad de plantación. Uno se conducía en parral con un marco de plantación de 2,5 m x 2,5 m (canopia horizontal, 1 100 plantas ha-1) y el otro en espaldero con 2,5 m entre hileras y 1,5 m entre plantas (canopia vertical, 3 300 plantas ha-1). Los interfilares se mantuvieron libres de malezas mediante labranzas.

En los veranos de 2006, 2007 y 2008 se adquirieron imágenes aéreas multiespectrales (Me) con el sensor MK II del Instituto de Agua y Clima del INTA de Cautelar, que consta con un arreglo de 4 cámaras electrónicas con lentes de 24 mm calibrados en las bandas del infrarrojo cercano (NIR), rojo (R), Verde (V) y azul (B) y se midieron variables vegetativas y reproductivas en el campo. En 2006 además se obtuvo una imagen del satélite QuickBird (Digital Globe®) con las mismas bandas que el sensor aéreo y además con una banda pancromática (Pan) con corrección radiométrica y referenciada en el sistema de proyección UTM WGS 84. En la tabla 1 se indican las características técnicas de ambos sensores.

Tabla 1. Características técnicas de los sensores aéreos y satelital utilizadas en el estudio.

	Satelital Quick Bird	Aéreo DMSC MK II
Resolución Radiométrica	11 bits	12 bits
Resolución Espacial (m píxel^{-1})	2,44 (Me) 0,6 (Pan)	1 a 0,5
Banda 1 Azul (B)	485±35 nm	450±25 nm
Banda 2 Verde (G)	560±40 nm	550±25 nm
Banda 3 Roja (R)	660±30 nm	650±25 nm
Banda 4 Infrarroja cercana (NIR)	830±60 nm	750±25 nm
Banda 5 Pancromática (Pan)	350 a 700 nm	
Costo imagen US$/ha	0,32 US$/ha (6.500 ha)	1,80 US$/ha (300 ha)

Las variables de campo se midieron en una grilla de muestreo con un punto cada hilera por medio y cada planta por medio a lo largo de la hilera, en el parral (n = 342); y con un punto cada hilera por medio y cada 7 m a lo largo de la hilera, en el espaldero (n = 234). Cada punto de muestreo consistió en una planta.

2.2 *Variables medidas*

Mediante las imágenes aéreas y satelitales se pudieron censar los valores de reflectancia en las bandas del espectro electromagnético NIR, R, G y B. Ver como ejemplo la Tabla 1.

Se calculó SR (Ref. [4]) y NDVI ([Ref. [5]):

- Directo (SR=NIR+R)
- Normalizado (NDVI=(NIR+R)/(NIR-R)).

En los puntos de muestreo se midieron, en el invierno de 2006, diámetros de tronco y pesos de poda. En el invierno 2008 se midió el peso de la poda invernal.

2.3 *Procesamiento de las imágenes y análisis de los datos*

Para el procesamiento de imágenes se utilizó el programa Erdas 8.7 (Leica Geosystem GIS & Mapping LLC.). Se generaron imágenes en falso color utilizando las bandas NIR, Pan y B de la imagen satelital, que resaltan en rojo las zonas con más vegetación. Se georeferenciaron las imágenes que contenían las parcelas en estudio, para luego obtener los mapas de los Iv, luego se analizaron los diagramas de frecuencia utilizando dos criterios de zonificación. Para realizar el análisis multitemporal de los Iv se tomó como criterio a los cuartiles de la distribución de frecuencias como límite entre zonas, generando cuatro zonas, cada una comprendiendo un cuarto de la superficie de la parcela en cuestión. Para generar zonas de manejo se tomo primero el límite entre poblaciones, cuando la distribución era bimodal, y luego se tomó la moda de la población mayoritaria como el siguiente límite entre zonas.

Las variables edáficas y el peso de poda fueron kriggeadas (método de interpolación con el que se obtiene un mapa de los datos) mediante el modelo esférico y luego mapeadas con el programa de computación Surfer 6.01 (Golden Software Inc ©).

Las variables de teledetección y de campo fueron sometidas al análisis de correlación múltiple y al análisis de la varianza y la prueba de comparación múltiple de medias LSD, mediante el programa estadístico Statgraphics Plus for Windows 4.0 (Statistical Graphics Corp ©).

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 *Asociación entre Iv y variables de campo*

Tanto el espaldero como el parral tuvieron una marcada heterogeneidad en su expresión vegetativa. Esto se evidenció en las distintas intensidades de gris que mostró la imagen satelital en falso color (NIR, Pan, B). Ver Fig. 1. En la imagen también se pudo apreciar una mayor expresión vegetativa en el parral con respecto al espaldero. Esto pudo haberse debido al mayor vigor del parral comparado con el espaldero y a la disposición horizontal de su follaje.

La zonas de mayor vigor se manifestaron con nitidez cuando se mapearon los Iv, y correspondieron a los pies de las unidades de riego (laterales norte), tanto en el espaldero como en el parral y al trazo de una antigua acequia de riego que había sido borrada cuando se implantó el viñedo en el caso del espaldero. Ver Fig. 2.

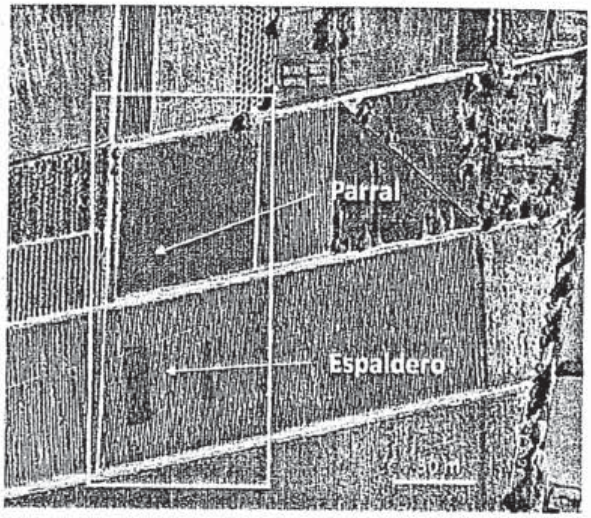


Figura 1. Imagen del satélite QuickBird 2006 en falso color (NIR, Pan, B) de las parcelas de parral y espaldero de vid, Cabernet Sauvignon. El color negro más intenso indica zonas con más vegetación. Los dos polígonos oscuros en el espaldero son mallas antigranizo negras.

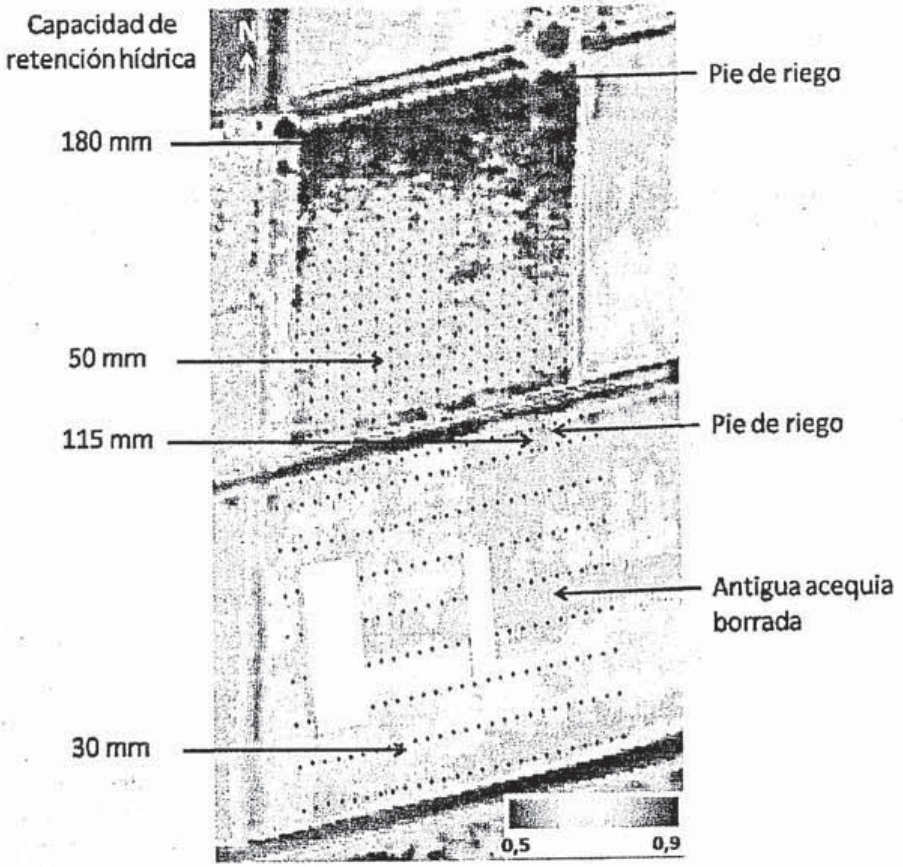


Figura 2. Mapa de NDVI 2006 de las parcelas parral y espaldero de vid, Cabernet Sauvignon a partir de imagen aérea. Los puntos son locaciones de mediciones de campo.

Se observó una asociación significativa entre los Iv y la variable pp de la planta del mismo año, utilizada para estimar la biomasa producida por el viñedo. Ver como ejemplo la Tabla 2. Esta asociación estuvo influenciada por el sistema de conducción. Ver Fig. 3 A. Esta influencia puedo eliminarse cuando el pp se expresó en valores relativos a la superficie cubierta (pp = kg poda kg^{-1} terreno). Ver Fig. 3 B. Esta similaridad podría deberse a que, en la vid, la superficie foliar está estrechamente asociada al pp (r = 0,9, Ref. [6]); y a que la cantidad de clorofila puede estar asociada a la superficie foliar (*i.e.*, ambas variables son sensibles al déficit hídrico).

Tabla 2. Variables agronómicas de vigor alto (AV), medio (MV) y bajo (BV). La prueba es Kruskall Wallis para el pp.

Zona	AV	MV	BV
NDVI	0,79	0,75 – 0,79	0,75
Peso de poda (kg pl^{-1})	3,5	2,4	1,7

La saturación del NDVI podría establecer una limitación al uso del NDVI para estimar la biomasa ya que a valores altos pierde poder de discriminación. No obstante esto la función $NDVI_{(PP)}$ puede linealizarse mediante la transformación del peso de poda por su raíz cuadrada. Ver Fig. 3 C. Realizando esta transformación se obtuvo un mayor nivel de asociación de pp tanto con NDVI como con SR (r 0,73 y 0,72 respectivamente). De todas maneras estas asociaciones si bien fueron significativas son bastante bajas ya que llevadas a un modelo lineal significan par el caso del $NDVI_{(PP)}$ un r^2 de solo el 53% (i.e., el error al predecir biomasa a partir del NDVI sería del 47%). Ver Fig. 3 C.

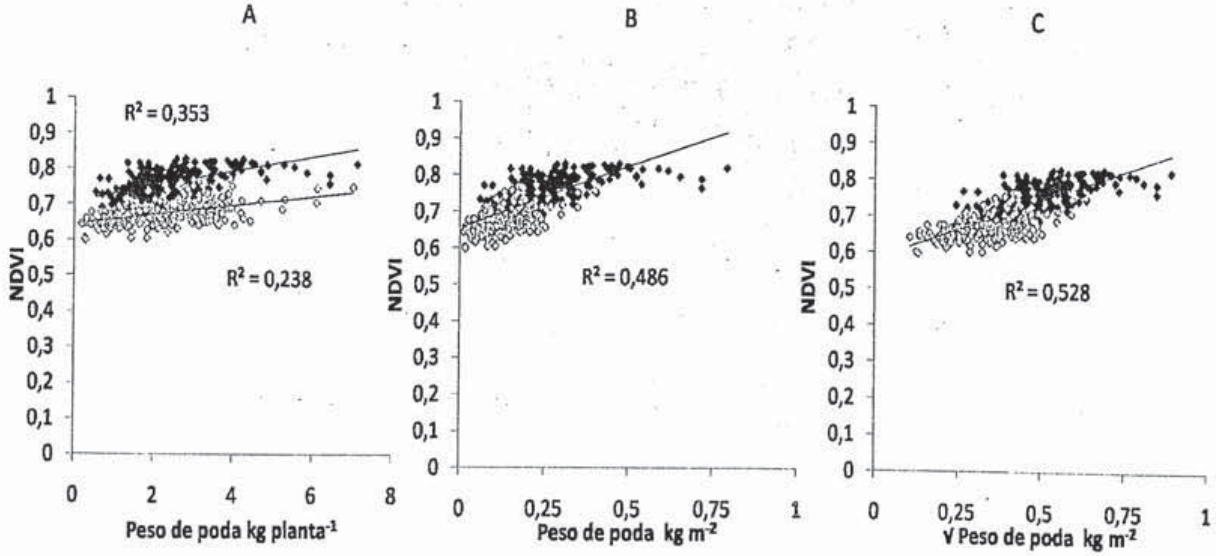


Figura 3. Relación entre NDVI de parral (puntos negros) y espaldero (puntos blancos) de vid, Cabernet Sauvignon y peso de poda en 2007 (n = 487).

Las asociaciones de los Iv con otras variables agronómicas fueron aún menores que con pp del año en curso. De todas maneras NDVI y SR se asociaron positivamente y significativamente con el peso de poda del año anterior.

3.2 *Variación interanual de los Iv*

Comparando los NDVI de 2006, 2007 y 2008 pudo observarse una variación interanual en sus magnitudes. Ver Fig. 4. En 2007 los valores de NDVI fueron un 43 % más altos que en 2006, considerando los valores medianos del cuadro de vid, y en 2008 un 4% más bajos que en 2007. No obstante estas variaciones la distribución territorial del NDVI cambió menos, de modo que los sectores que aparecían con menor y con mayor vigor se repitieron con escasas variaciones, a lo largo de los años. Ver Fig. 4. Si bien el pp también mostró una variación interanual, la misma no fue en el mismo sentido que la del NDVI, ya que el sector más vigoroso (pp 2,5 g) disminuyó su superficie en 2007 un 41% con respecto a 2006. Ver Fig. 5. Sin embargo al igual que ocurrió con el NDVI, el patrón de distribución espacial de pp no varió mucho en los dos años considerados. Las causas de la variación interanual de los valores medianos del NDVI que se observaron en este trabajo podrían encontrarse por lo tanto más, en variaciones atmosféricas o de calidad de luz, que en variaciones del cultivo mismo. En un trabajo anterior se observó una menor calidad en imágenes aéreas, como las usadas en este estudio, que en imágenes satelitales de alta definición, debido posiblemente a variaciones en las condiciones meteorológicas del día y a la hora de vuelo (Ref. [7]).

Por otro lado, más allá de lo pueda atribuirse a los sensores, las variaciones interanuales en las variables agronómicas son un hecho frecuente y bien documentado (Ref. [2]), lo que establecería una limitación al uso de la teledetección para establecer zonas de manejo duraderas. Una solución a este problema sería usar la clasificación de zonas homogéneas mediante el NDVI promedio de varios años. Ver Fig. 4.

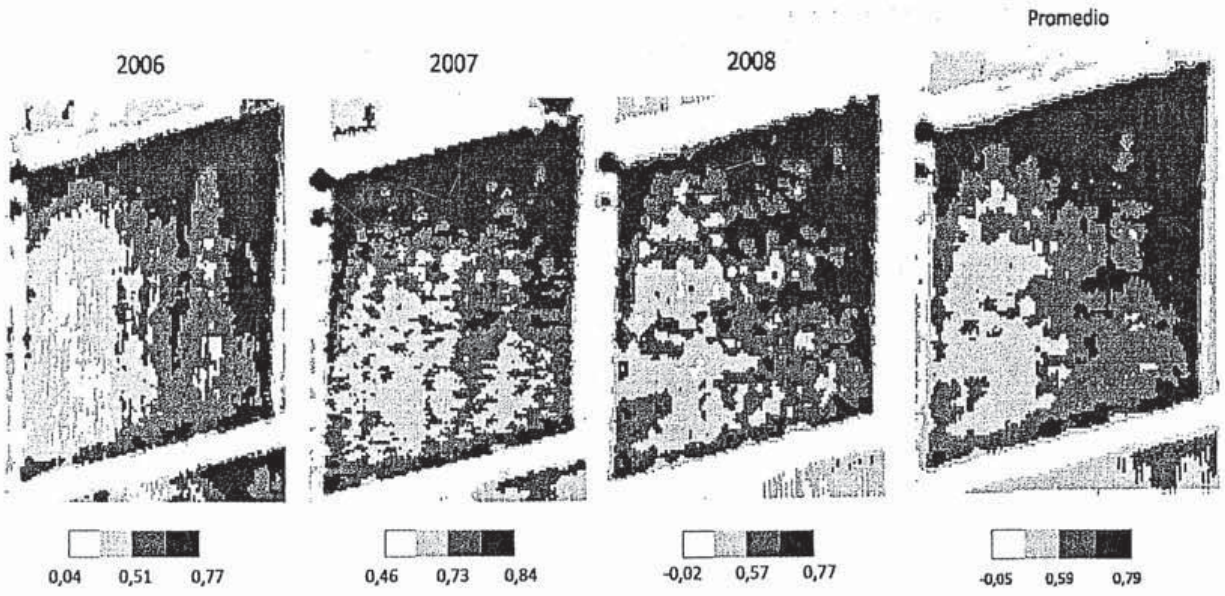


Figura 4. Variación interanual en la distribución espacial del NDVI obtenido con imágenes aéreas, en parral de vid Cabernet Sauvignon.

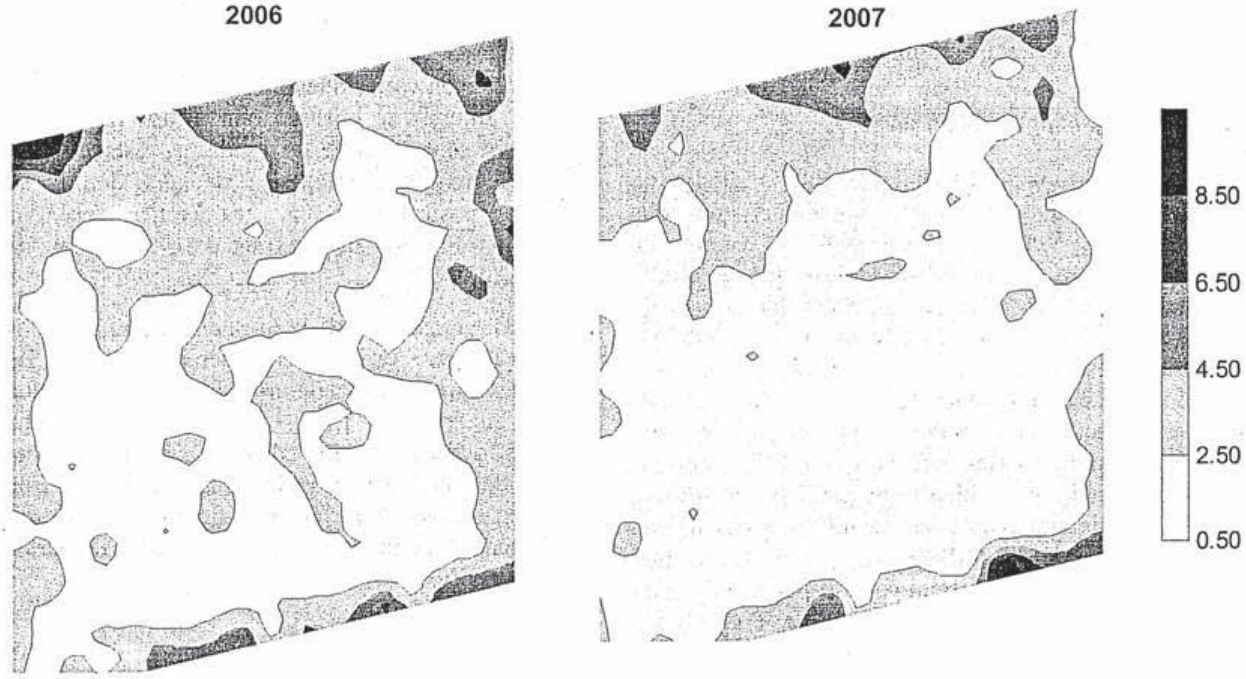


Figura 5. Variación interanual en la distribución espacial del pp (kg pl^{-1}) invernal en parral de vid Cabernet Sauvignon.

3.3 *Clasificación de zonas homogéneas mediante Iv*

A fin de probar las limitaciones del NDVI en cuanto a su poca estabilidad temporal y su baja relación con variables de campo se propuso establecer zonas homogéneas basándose en el análisis de su diagrama de distribución de frecuencias. Se eligieron como criterios, la eliminación de los valores que no correspondían a vegetación, la separación de poblaciones cuando la distribución era bimodal y la subdivisión de la población principal en una zona de menor vigor y otra de mayor vigor teniendo como límite la moda, Ver Fig. 6 y 7. Con estos criterios pudieron separarse a partir de las imágenes de 2006, tres zonas en el parral que se denominaron de vigor bajo (BV), medio (MV) y alto (AV); y dos en el espaldero, que dadas las condiciones de este último, se denominaron BV y MV. Luego se sometieron a las variables agronómicas medidas en los puntos de muestreo y clasificadas según la zona que le fue asignada al análisis de la varianza. Ver Fig. 2. De esta manera, se pudo observar que este sistema de

zonificación fue suficientemente confiable como para separar áreas con distinta expresión vegetativa.

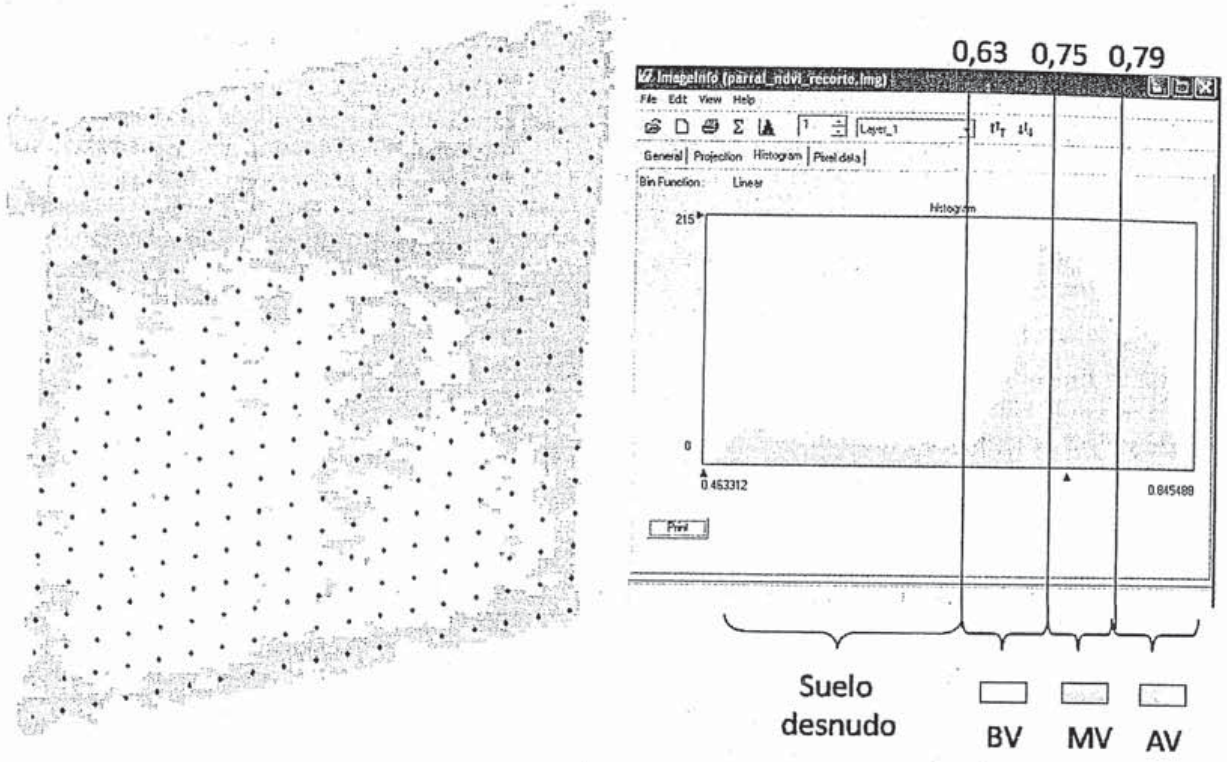


Figura 6. Delimitación de zonas de bajo vigor (BV), vigor medio (MV) y alto vigor (AV) en el parral de vid Cabernet Sauvignon a partir del análisis del diagrama de frecuencias del NDVI 2006.

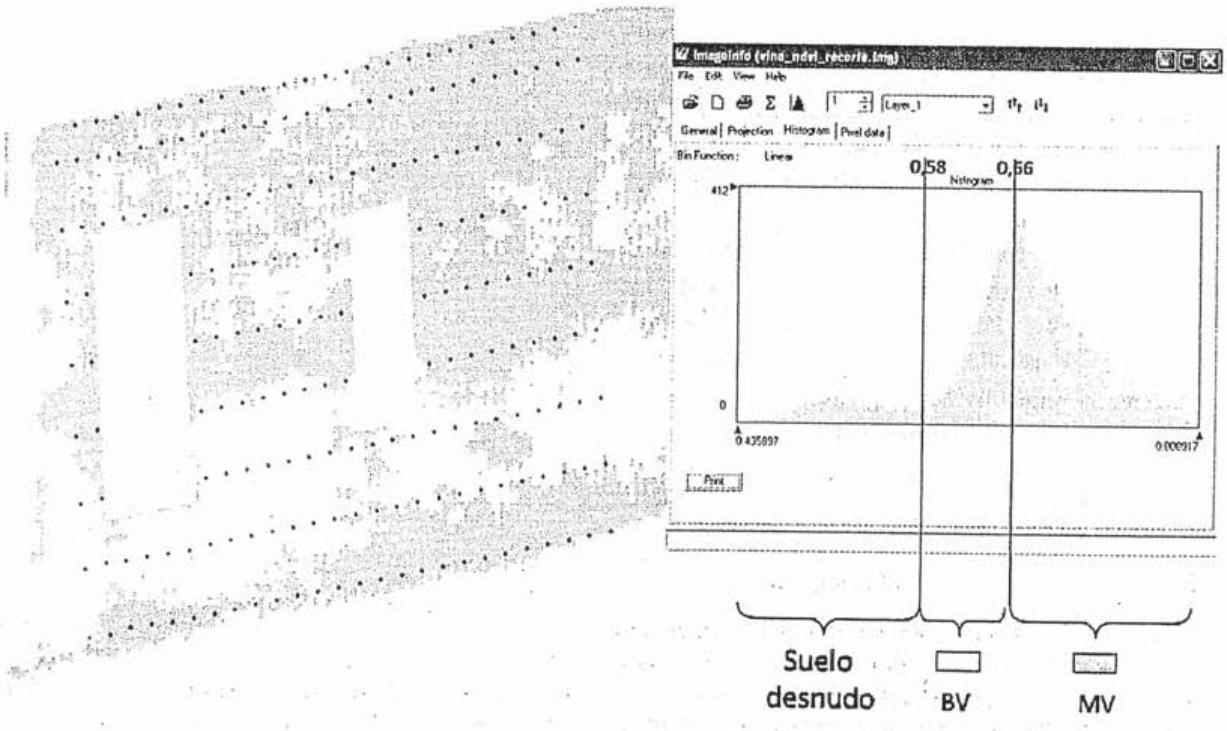


Figura 7. Delimitación de zonas de bajo vigor (BV) y vigor medio (MV) en el espaldero de vid Cabernet Sauvignon a partir del análisis del diagrama de frecuencias del NDVI de 2006.

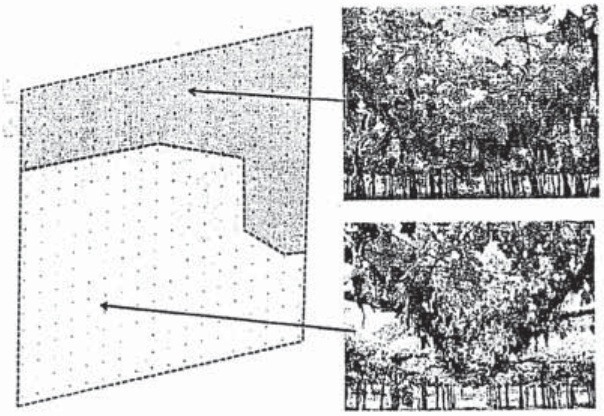


Figura 8. Propuesta de zonas para manejo específico en el parral de vid Cabernet Sauvignon sobre NDVI 2006 y vigor de las plantas en 2007.

Tabla 3. Variables agronómicas en 2007 en dos zonas de manejo propuestas (I: alto vigor; II: bajo vigor) para parral de vid Cabernet Sauvignon.

Zona	AV	MV	BV
NDVI	0,79	0,73	0,000
Peso de poda (kg pl^{-1})	3,0	1,94	0,000

4 CONCLUSIONES

Las imágenes multiespectrales aéreas y satelitales de alta resolución resultan ser apropiadas para discriminar zonas de viñedos con distinta producción de biomasa en sistemas de conducción distintos. Las limitaciones indicadas pueden ser subsanadas utilizando mapas de Iv promedios de varios años y clasificando las zonas mediante el análisis de la distribución de frecuencias de los valores de Iv. Por último debemos decir que mediante el uso de imágenes multitemporales se aumenta la productividad y se reducen los costos, a pesar de la fuerte inversión inicial.

5 AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue financiado por el Instituto Nacional Agropecuaria de Argentina (INTA). Se agradece al Dr. César Rebella y al Lic. Tomás Hartmann del Instituto de Clima y Agua del INTA Castelar por facilitar el sensor aéreo, a Claudia Lucero e Inés Hugalde del INTA Mendoza por haber colaborado con las mediciones de campo; y a Carlos Salcedo y Luís Rodríguez Plaza por haber facilitado las instalaciones del campo experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo. Por últimos se agradece al Dr. Saturnino Leguizamón por su asesoramiento en el área de procesamiento de imágenes.

6 REFERENCIAS

[1] R.G.V. Bramley, & A.P.B Proffitt. Managing variability in viticultural production. The Australian Grapegrower and Winemaker, vol. 427, July, pp. 11-16.1999.

[2] R.G.V. Bramley, & D.W. Lamb. Making sense of vineyard variability in Australia. In: International Symposium on Precision Viticulture. Capuc, Santiago de Chile, 2003. P.35-54. 2003.

[3] A. J. Winkler & J. A. Cook & W. M Kliewer. General Viticulture. University of California Press.1974.

[4] Jordan, C. F. Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor, Ecology, vol. 50 663-666. 1969.

[5] J. W. Rouse & R. H. Haas & J. A. Schell & D. W. Deering, Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Proc. Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symp., Goddard Space Flight Center, NASA SP-351, Science and Technical Information Office, NASA, Washington, D. C.1974.

[6] W. M. Kliewer & N. K. Dokoozlian. Leaf area/crop weight ratios of grapevines: Influence on fruit composition and wine quality. Am. J. Enol. Vitic. 56: 170-181. 2005.

[7] H. Vila. Teledetección hacia un mejor entendimiento de la dinámica global y regional. Editor Martín, páginas 50-58. 2007.

Prototipo de sistema de comunicaciones IEEE802.11b para el proyecto AMIGA

G. de la Vega[1,2] & B. García[1,3]
gadelavega@gmail.com & beatrizgarciautn@gmail.com
[1]*Laboratorio Pierre Auger, Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional*
[2]*Becario Doctoral CONICET*
[3]*CONICET*

M. Platino
mplatino@gmail.com
Comisión Nacional de Energía Atómica, Centro Atómico Constituyentes

RESUMEN: el proyecto AMIGA, una extensión del Observatorio Pierre Auger (PAO), requiere un nuevo sistema de comunicaciones para recolectar datos, ya que el sistema original del observatorio, actualmente en uso, no es escalable. Un prototipo de tres estaciones está ya funcionando en Malargüe, recolectando datos y nos permite evaluar las condiciones de operación y la capacidad del nuevo diseño. Con los datos y modelos obtenidos estamos en condiciones de proponer un sistema escalable, flexible y de alta velocidad, basado en una computadora ARM9 y radios estándar 802.11b.

Palabras clave: comunicaciones – 802.11

ABSTRACT: the AMIGA project, an extension to the Pierre Auger Observatory (PAO), requires a new communication system, as the existing one can not be further scaled. A prototype network consisting of an access point and three stations is already working at Malargüe (Argentina), collecting data, and allowing us to evaluate the operation conditions and assess the system capacities. With the obtained data and models, we propose a new scalable, flexible and high speed system based on a ARM9 computer and standard IEEE802.11 compatible radios.

Key Words: communication – 802.11

1 INTRODUCCIÓN

El proyecto AMIGA [1] es una extensión del Observatorio Pierre Auger (PAO) concebida para extender el rango de observación a energías menores que las originalmente previstas para el observatorio. AMIGA consiste en un sub-arreglo de alta densidad de detectores de superficie (SD), cada uno acompañado de un contador de muones subterráneo (MC). Tanto la mayor densidad de detectores como el contador de muones resultan en una mayor tasa de eventos que en el caso de PAO llevando a la necesidad de un sistema de comunicaciones más rápido. Asimismo, las dificultades para sustituir los equipos originales averiados, impulsaron la decisión de usar tecnología estándar.

Otra tarea que estará a cargo del sistema de comunicaciones es la integración de los datos generados por los SD y los MC. Debido a que los SD están alimentados con paneles solares, el bajo consumo de energía es también un requisito fundamental.

2 SISTEMA PROPUESTO

En base a las premisas expuestas, se decidió usar la tecnología IEEE 802.11b [2] que goza de gran difusión y permite velocidades suficientemente altas. Además de la tecnología de radio, se basó el sistema en una plataforma ARM9 capaz de correr un sistema operativo Linux y con un gran número de interfaces estándar (Fig. 1). Se escogió la computadora integrada (SBC) TS7260 [3], que gracias a su procesador ARM9 logra consumos de 300mW a 42MHz y hasta 750mW a 200MHz. De esta forma es posible desplegar un abanico de protocolos y aplicaciones que aumentan la funcionalidad del equipo, al mismo tiempo que posibilitan un cambio de tecnología de radio con muy poco esfuerzo, ya que los datos se transportan con el protocolo IP.

Debido a la falta de equipos de comunicación en PAO se ha propuesto utilizar este mismo sistema como reemplazo, en cuyo caso se usarían radios IEEE 802.15.4 de menor velocidad y consumo que las 802.11b.

Este sistema modular con interfaces estándar permite el cambio de cada uno de sus componentes con un mínimo de inconvenientes, ya que el hardware es abstraído por el sistema operativo. Es posible, además, agregar instrumentos adicionales, como es el caso del contador de muones.

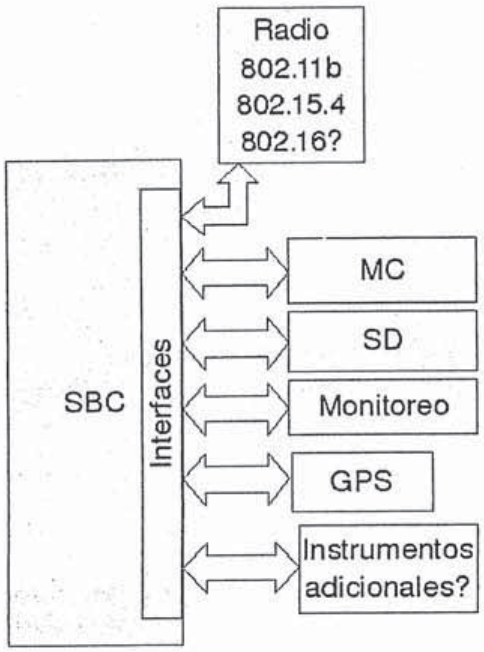


Figura 1. Diagrama de bloques mostrando los componentes del sistema.

Con el fin de minimizar la probabilidad de colisiones, proponemos un método de sincronización parcial de las estaciones. El método consiste en dividir el tiempo disponible para la comunicación en ventanas, de manera similar al multiplexado por división en tiempo. La diferencia radica en que la sincronización no es precisa y existe un riesgo de colisión. Así, cada estación dispone de su ventana de tiempo durante la que transmitirá los datos que tenga disponibles con una mínima probabilidad de error. Al mismo tiempo, es posible establecer una conexión hacia la estación, ya que cada uno de los otros nodos detectará la transmisión desde el punto de acceso inalámbrico evitando el problema del nodo oculto [4].

3 DESEMPEÑO DEL ENLACE DE RADIO

Las pruebas del enlace de radio son críticas para validar el sistema. Por esto se han realizado numerosas mediciones para establecer los modelos adecuados y sus parámetros, con el fin de poder evaluar las posibles soluciones.

3.1 *Condiciones de prueba*

Se realizó un experimento usando una estación fija con una antena omnidireccional de 8dBi, y una estación móvil con una antena Yagi de 12dBi. La estación móvil se ubicó a diferentes distancias de la estación fija para obtener así una potencia de señal variable según la distancia.
Estas mediciones se hicieron dentro del área de PAO de manera de obtener el mayor realismo posible en términos de relieve y composición del suelo, siendo esta última de suma importancia por afectar la reflexión de la onda electromagnética y la interferencia provocada por la señal reflejada en el suelo.

3.1.1 *Tasa de error y velocidad de transferencia*

Una de las características más importantes de un enlace de comunicaciones digital es su tasa de error. Para medirlo se modificó el controlador zd1211 para Linux 2.4 de modo de reflejar las estadísticas de comunicaciones en el archivo /proc/net/zd1211. Luego se probó una conexión punto a punto transfiriendo un archivo de 5Mbytes aleatorios con protocolo FTP y tomando el tiempo necesario para la transferencia.
Es posible suponer la velocidad de comunicaciones admisible en un momento dado en función de la tasa de error de paquetes MAC (FER), y ésta en función de la potencia recibida.
Se planteó un modelo simple y se ajustó a los datos (Fig.2) para obtener sus parámetros y así calcular la tasa de transmisión:

$$R_b = R_0 \frac{1-p}{1+ap} - R_{OH} \qquad (1)$$

Donde

R_0 es la velocidad de transmisión teórica.

R_{OH} tasa de transmisión "consumida" por los protocolos (protocol overhead) ajustada empíricamente.

p tasa de error de transmisión.

a Es una constante que tiene en cuenta errores relacionados con los protocolos.

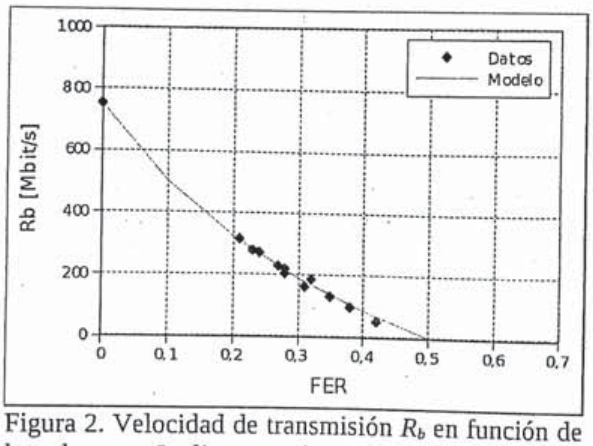


Figura 2. Velocidad de transmisión R_b en función de lasa de error. La linea contínua representa el modelo y los rombos los datos.

Este modelo simplemente considera una probabilidad p de que un paquete falle al ser transmitido y supone que en una gran cantidad de paquetes el número de ellos retransmitidos será:

$$p_r = p + p^2 + p^3 + \ldots + p^n \qquad (2)$$

para un límite de n reintentos. Si se considera que cada paquete debe transmitirse al menos una vez, en promedio un paquete tomará en realidad el tiempo necesario para transmitir $1+p_r$. Además por cada paquete de datos se debe transmitir una cantidad de paquetes de protocolo (TCP y MAC), esto lleva a que se deban transmitir:

$$1 + k\,p_r = 1 + k(p + p^2 + p^3 + \ldots) \qquad (3)$$

Si se hace $k = 1 + a$ y se considera que los términos con exponentes mayores que n son despreciables, se puede aproximar la serie geométrica:

$$1 + p + p^2 + p^3 + \ldots = \frac{1}{1-p} \qquad (4)$$

Basta restar la sobrecarga que producen los protocolos MAC 802.11 y TCP/IP para obtener la ecuación (1).
Puntualmente, se transmite un paquete de datos DATA, la capa MAC del receptor responde con MAC_ACK para confirmar la recepción e inmediatamente después la capa TCP responde con TCP_ACK (nótese que esta doble respuesta no ocurre con el protocolo UDP). En este experimento, la cola del origen de los datos se mantiene llena, con lo que el MAC_ACK que responde al TCP_ACK

está implícito en el próximo paquete DATA. De esta forma, por cada paquete DATA, que en caso de falla incrementa el contador RETRY en la radio, hay en realidad 3 paquetes involucrados. Esto implica que:

$$k=3 \Rightarrow a=2$$

Mediante una transferencia FTP a poca distancia, se logra $p=0$, y se obtuvo:

$$R_{OH}=0.25\text{Mbit}/s$$

con

$$R_0=1\text{Mbit}/s$$

El modelo se ajusta bien a los datos, y más aún predice que si $p \simeq 0.5$ la tasa de transmisión es nula. En una prueba posterior que se realizó en presencia de interferencia, al momento inadvertida, se comprobó que con tasas de error mayores que 0,5 era imposible establecer una comunicación.

Es importante tener en cuenta en este análisis que se considera que el canal falla por ráfagas (Burst Error Model, BEM), y la falla de los paquetes no se considera en función de la probabilidad de fallas de bits, sino del tiempo en que el canal permite una transmisión correcta o no. Esto hace que los paquetes de control MAC y TCP tengan probabilidades de falla similares a los paquetes de datos a pesar de la diferencia de longitud.

3.1.2 *Variabilidad del canal*

La tasa de errores FER depende en gran medida de la relación señal ruido (SNR) y por lo tanto de la potencia de la señal recibida y de la interferencia.

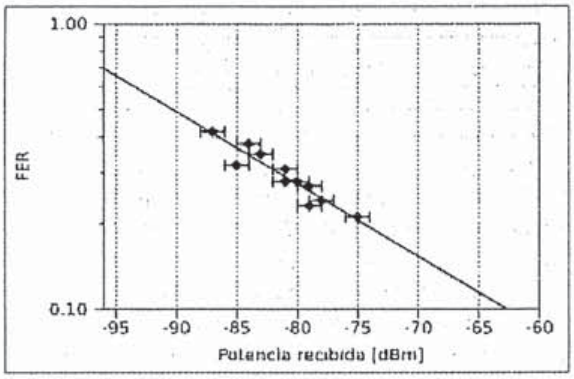


Figura 3. Relación entre la potencia de la señal recibida y la tasa de error de transmisión.

Para evaluar el efecto de la variación del canal sobre la tasa de error, se registró la intensidad de la señal recibida durante las pruebas de FER.

El resultado, que se muestra en la Fig. 3, muestra una relación aproximadamente lineal entre la potencia recibida en dBm y la tasa de error FER. Debido al uso de una antena omnidireccional, el efecto de la interferencia fue considerable en esta medición, lo que se refleja en valores de FER muy altos para la potencia recibida.

3.2 *Red de prueba*

Se instalaron tres prototipos en el sitio, uno con una radio IOGEAR GWU-523 con chipset ZD1211 y dos D-Link DWL-G122 con chipset RT73. Esta red de prueba ha estado operando por dos meses (desde el 10 de Junio de 2008) de manera ininterrumpida permitiendo la obtención de datos en condiciones de operación que se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Estadísticas de los prototipos.

Estación	$\mu_{P_{Rx}}$	$\sigma^2_{P_{Rx}}$	*FER*
1 (zd1211)	-73,0	1,0	6,4%
2 (RT73)	-79,1	1,0	3,7%
3 (RT73)	-86,2	0,9	4,3%

Esta red de prueba consiste en un punto de acceso inalámbrico (AP) Linksys WAP54G, instalado en una caja estanca en la terraza del edificio de fluorescencia de Coihueco, a 5500m de distancia y 130m sobre el nivel del terreno, lo que asegura la línea de visión. Una de las dos antenas del AP se reemplazó con una tipo Short Backfire de 16dBi de, conectada con un cable coaxial RG213U de 3m. El dispositivo está programado para usar sólo esa antena.

Los SD se equiparon con una computadora TS-7260 con adaptadores USB a IEEE802.11b comerciales, modificados para permitir el uso de una antena externa del mismo tipo y conectadas de igual manera que la del AP, que está fija unos 80cm por encima de la base de mástil del SD. Las computadoras están protegidas dentro de una caja estanca plástica, que a su vez se encuentra dentro del domo de SD. La conexión al SD se realizó mediante dos cables RS232.

Cada una de las estaciones transmite 10 paquetes de datos por segundo, de 125Bytes de tamaño promedio, lo que significa una velocidad de

transmisión de unos 1,2kByte/s. Esto se ha hecho para poner a prueba el sistema, ya que en realidad sólo es necesario enviar un paquete por segundo.
El controlador RT73 no provee por separado la cantidad de reintentos pero sí el número p de transmisiones exitosas sin ellos, por lo que se podría aproximar:

$$FER = \frac{1}{1-p} - 1 \qquad (5)$$

Sin embargo, los datos indican que $FER \simeq p$ lo que refuerza la hipótesis del modelo de falla por ráfagas.
Debido a que los equipos de radio usados para estas pruebas no se comercializan con conexión para antena externa, debieron ser modificados. La radio IOGEAR GWU-523 (Zydas 1211) resulta más fácil de modificar que las D-Link DWL-G122 (RT73), lo que se ve reflejado en el mejor acoplamiento y consiguiente mejor señal. El indicador RSSI de la radio zd1211 se corresponde con lo predicho por el modelo de propagación en espacio libre, según el cual la atenuación será:

$$\alpha_{FS}[dB] = -34{,}2 - 20\log_{10}(f\,L) \qquad (6)$$

Donde f es la frecuencia en MHz y L es la distancia en km. Considerando una potencia de transmisión de 16,5dBm [5], dos antenas de 16dBi, pérdidas promedio, medidas en cable y conectores de 3dB (considerando ambos extremos), la potencia calculada es de -71.3 dBm, sólo 1,9dB por encima de la medida por la radio zd1211.
Por otro lado, el controlador RT73 permite establecer manualmente la velocidad de transmisión, mientras que el controlador zd1211 no, usando un algoritmo de reducción automática de la velocidad en caso de falla (automatic fallback). Debido a esto, la radio zd1211 siempre comienza a transmitir a 11Mbit/s lo que resulta en una mayor tasa de error.
Es claro que con la selección de un canal más limpio, y el uso de antenas direccionales, la relación entre la potencia de la señal recibida y la tasa de error es mucho más favorable que lo que mostraba el primer experimento. Más aún, es posible ver que aún con una señal de -86dBm, la tasa de error es razonablemente baja (4,3% como se muestra en la Tabla 1), y debe considerarse que, a esa distancia, un equipo fabricado originalmente para usar una antena externa, recibirá unos -73dBm, similar al zd1211. Debe considerarse que la potencia recibida varía muy poco con respecto a la media, lo que permite un diseño con menor margen de desvanecimiento.

3.3 *Análisis de sincronización*

Con el objetivo de evaluar las limitaciones de sincronización de los equipos, se realizó un experimento, midiendo el tiempo de ejecución de la aplicación *ping* enviando un paquete ICMP con 120 bytes de relleno. El tiempo fue medido lanzando la aplicación mediante el programa *time* y se repitió 5000 veces. La prueba se realizó con el procesador corriendo a 200MHz y a 41.5MHz.
La distribución estadística resultante (Fig. 4) del experimento a 200MHz resultó con un retardo medio de 130ms y una desviación estándar de 30ms.

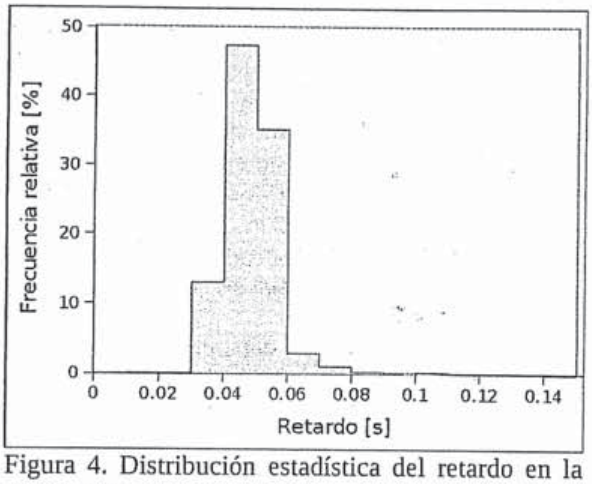


Figura 4. Distribución estadística del retardo en la ejecución del programa *ping*.

4 CONCLUSIONES

Las pruebas del sistema prototipo nos permiten afirmar, usando el modelo de propagación en espacio libre, que es posible ubicar una estación remota a una distancia de hasta 25km con una potencia recibida de -84,4dBm usando antenas de 16dBi. Es necesario entender que a distancias tan grandes puede ser necesario considerar factores que aquí no han sido tenidos en cuenta, como la atenuación atmosférica y retardos de propagación por encima de los manejables por el protocolo MAC. Llama la atención la notablemente baja tasa de errores (menor que 7%), especialmente si se considera el problema del nodo oculto, que aparece cuando uno de las estaciones de la red no tiene capacidad de recibir las transmisiones de otra, y por ello es posible que se produzcan transmisiones superpuestas. Con la topología física de la red, y debido al uso de antenas direccionales, los nodos son incapaces de "verse" entre sí, y considerando la

pequeña longitud de los paquetes de datos, el uso del procedimiento RTS/CTS no tiene sentido. Todo esto hace que la probabilidad de colisión equivalga a la probabilidad de que dos paquetes se superpongan en el momento de la transmisión, sin mecanismos que lo eviten.

Para este análisis, es importante mencionar que el AP usado no soporta PCF (función de coordinación de nodos) para evitar colisiones y además los nodos están ocultos unos a otros, con los que la eficiencia del sistema de prevención de colisiones es muy baja, y por estas razones es que se debe suponer que algún otro mecanismo ayuda a reducir este inconveniente.

Los mecanismos para reducir la probabilidad de colisiones establecidos en la capa MAC de la norma IEEE802.11 consisten en romper la coordinación entre estaciones usando intervalos de tiempo aleatorios que aumentan cada vez que falla una transmisión. Es por eso que si estos mecanismos entran en acción, la situación se ve reflejada en la tasa de error en la transmisión. Esto nos lleva a concluir que la probabilidad de colisión se ve reducida por otros factores, entre algunos posibles se encuentra la falta de sincronización de los SD no estén sincronizados entre sí.

La distribución estadística del retardo obtenida en las pruebas de sincronización, sugiere que usando el procesador a 200MHz la transmisión se realiza dentro de los 40ms el 99% de las veces, dejando una muy baja superposición entre las curvas de distribución de dos estaciones transmitiendo sucesivamente. De esta manera, es posible operar simultáneamente hasta 25 estaciones, que resulta de importancia para la siguiente etapa del proyecto. Con el procesador corriendo a 41.5MHz, la dispersión es mayor de lo admisible. Si fuese necesario operar más nodos, es posible cambiar la granularidad del reloj de conmutación de tareas de Linux, con el costo de procesamiento que esto conlleva.

El trabajo realizado hasta ahora nos permite pasar a la siguiente etapa, que incluye 24 estaciones.

REFERENCIAS

[1] Etchegoyen A, (2007) AMIGA Auger Muons Infill for the Ground Array, ICRC 2007, Mexico.

[2] V. Hayes, ANSI/IEEE Standard 802.11, IEEE, 1999

[3] Technologic Systems, TS-7260 Hardware Manual, 2006

[4] N. Gupta & P. R. Kumar, A Performance Analysis of the 802.11 Wireless LAN Medium Access Control, Communications in Informations and Systems, No. 4, Vol. 3, 2004.

[5] Linksys, WAP54G Product Datasheet, 2005

Hardware del Voto Electrónico para Honorable Legislatura de Mendoza, con tecnología inalámbrica (Wi-Fi)

S. Molina, P. Rosaz, A. F. Gonzalez, J. Balacco, R. Capuj & M. Sabio
rbmolina@uolsinectis.com.ar
Departamento de Electrónica, Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional

M. Godoy Lemos & R.Vargas
marianogodoylemos@legislaturamendoza.gov.ar
Secretaría y Prosecretaría Legislativa del H. Senado de Mendoza

RESUMEN: El voto electrónico es un sistema interdisciplinario, de electrónica-informática y telecomunicaciones. El mismo se pudo dividir en dos subsistemas, con dos equipos humano de trabajo. Lo común a ambos, fue la interfase (Host), que dialoga en tiempo real con las bancas y con la PC. El presente trabajo describe el Hardware con microcomputadores dedicados en cada banca (total 53) y el Host, todos comunicados en forma inalámbrica, con sus correspondientes transceptores de tecnología Wi-Fi, para uso de la Honorable Legislatura de Mendoza, mediante Convenio celebrado con la UTN, Facultad Regional Mendoza, Departamento de Electrónica, junio de 2007.

Palabras claves: voto electrónico – tecnología Wi-Fi – Microcontroladores programables

ABSTRACT: The electronic vote is an interdisciplinary system, of electronics-computer science and telecommunications. The same could be divided in two subsystems, with two equipment human of work. The common thing to both, was the interphase (Host), that has a discussion in real time with the banks and the PC. The present work describes to Hardware with microcomputers dedicated in each bank (total 53) and the Host, all official notices in wireless form, with its corresponding transceivers of Wi-Fi technology, for use of the Honorable Legislature of Mendoza, by means of Agreement signed with the UTN, Regional Faculty Mendoza, Department of Electronics, June of 2007.

Key Words: electronic vote - Wi-Fi technology - programmable Microcontrollers

1. INTRODUCCIÓN

El sistema está constituido por diferentes dispositivos y tecnologías, que hacen al proyecto innovador como herramienta de votación. El mismo se compone de dos tipos de equipos: los ubicados en las bancas y el equipo de control central (denominado Host), encargado del control y procesamiento de la información proporcionada por los primeros.
Todo el hardware desarrollado, se ajusta a las normativas de la H. Legislatura de Mendoza. Ref. [1]. Los equipos instalados en las bancas son los que realizan la interfase (comunicación) entre el legislador y el sistema central a través del Host a la PC.
Ellos son los encargados de: detectar presencia en la banca, identificar al legislador que se encuentra en la misma, (sin importar en que banca se siente), informarle de la habilitación o no para votar, tomar el voto como válido. Todas estas instancias son comunicadas al Host, a requerimiento de éste.
El Host, transfiere los datos a la PC y tiene un diálogo con ella de ida y vuelta. En la PC, es donde reside el software de gestión legislativa, desarrollado totalmente por docentes y alumnos de la UTN-FRM.
La comunicación entre los equipos ubicados en cada banca (53) y el Host, se realiza por medio de tecnología inalámbrica (Wi-Fi), que permite dar al sistema, confiabilidad y flexibilidad inmejorable. Además, evita el tendido de cables en todo el recinto, que es de mayor costo y requiere de un mantenimiento preventivo en sus contactos eléctricos.
Los dispositivos utilizados para la comunicación son transceptores (transmisores/receptores) que trabajan en la banda de 2,4 GHz. (rango de frecuencias en las microondas). La tecnología utilizada TRW, posibilita la utilización de dos canales simultáneamente, con lo cual garantizan la transferencia de información sin colisiones y a una velocidad de exploración de las bancas apreciable, acorde con los requerimientos legislativos de votación. Ref. [2].
Cabe destacar que en lo que a comunicaciones se refiere el recinto legislativo es un ambiente hostil ya que en él coexisten varias redes inalámbricas: Internet inalámbrico (Wi-Fi), transceptores Tetra de la policía, uso de celulares, y otras señales erráticas que podrían interferir con el sistema.
El Host, es una de las piezas fundamentales del sistema. Se encarga de interrogar o explorar cada una de las bancas, comunicando todos los datos recolectados de las mismas a la PC, para darle luego el adecuado procesamiento y su posterior visualización en las pantallas previstas para tal fin. En la Fig. 1, se observa a una de las pantallas planas, en la parte central por encima del revestimiento de madera de la pared que da al fondo de las bancas.

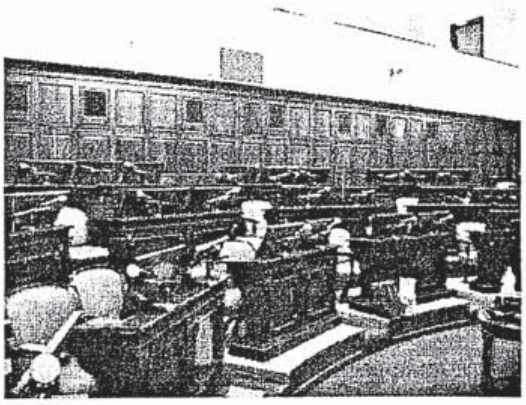


Figura 1: vista de las bancas

2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

2.1 HARDWARE de los equipos en las Bancas

En cada banca, se ubica una placa controladora, instalada en un único gabinete, Fig. 7, con los siguientes componentes:

- Microcontrolador Industrial Programable (PIC), cumpliendo las funciones de un microcomputador con software específico. Ref. [4]
- Transceptor Wi-Fi, Fig. 5.
- Zócalo para inserción de la Tarjeta
- Chip. Fig. 3.
- Detector de presencia. Fig. 6.
- Pulsadores de votación (SI, NO, ABSTENCIÓN). Fig. 7.
- LED indicador de presencia. Fig. 6.
- LED indicador del estado de la votación. Fig. 7.

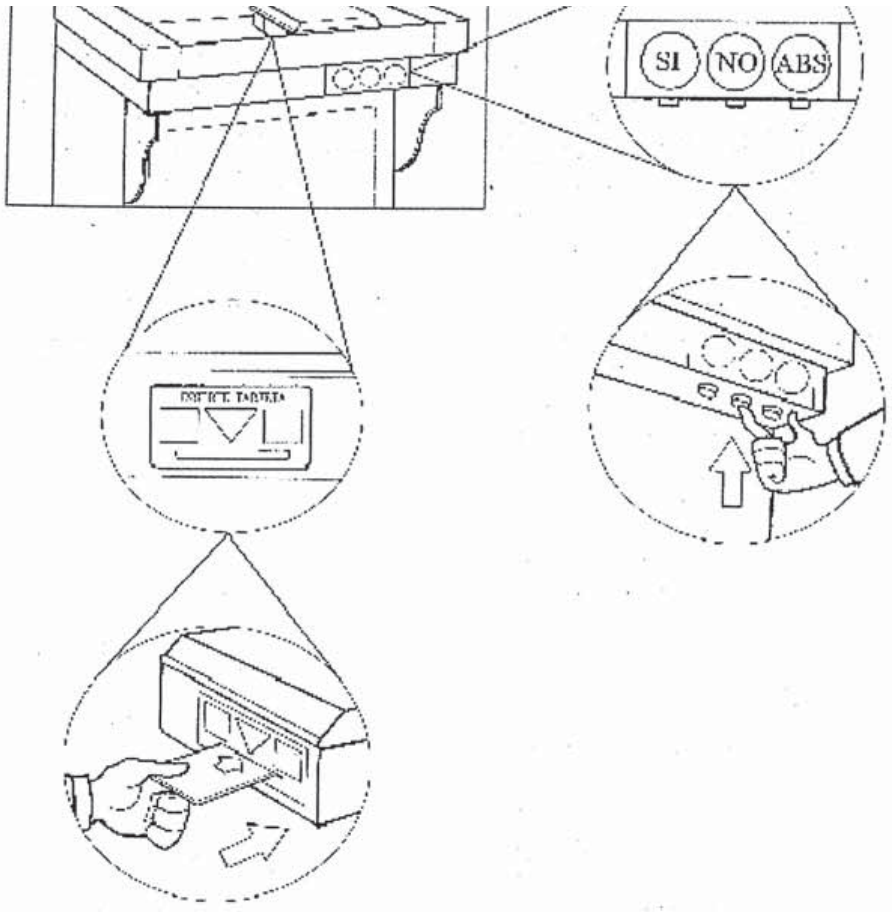


Figura 2. Esquema general en banca

- fuente de alimentación de baja tensión, estabilizada y controlada

2.1.1 *Microcontrolador dedicado PIC*

El microcontrolador dedicado, lo constituye el PIC 16F850 Ref. [3]. Es el encargado de gestionar, todas las operaciones en cada banca, ellas son: leer los estados de los pulsadores, explorar periódicamente el detector de presencia, establecer el diálogo con el Host, habilitar y deshabilitar al transceptor, conmutar adecuadamente a la fuente de tensión, para atender a la electrónica que se alimenta con 5 V. c.c. y el transceptor con 3,3 V. c.c.

2.1.2 *Zócalo para inserción de tarjeta chip*

En el mismo, Fig. 4, el legislador coloca su tarjeta personal para que sea identificado por el sistema.

Las tarjetas chip, están reguladas internacionalmente por la Norma ISO 7816. Ref. [5]. Estas tarjetas chip, Fig. 3, son leídas por el PIC, instalado en cada banca. Las mismas, poseen un código que describe la identificación unívoca, de cada uno de los legisladores. Cada tarjeta es individual y privada de cada legislador, el mismo puede cambiarse a cualquier banca siempre y cuando lleve consigo su tarjeta que lo identifica al momento de una votación.



Figura 3. Tarjeta chip

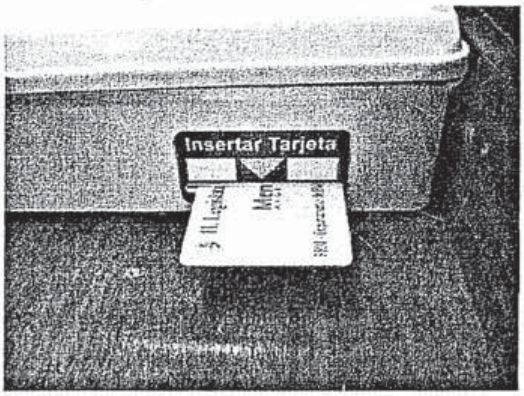


Figura 4. Tarjeta chip insertada en la ranura del equipo.

2.1.3 Transceptor Wi-Fi

Estos transceptores operan en la banda de 2.4 GHz, con capacidad de direccionamiento y selección del canal de comunicación a ser utilizado. Tienen una potencia de 4 dbm, potencia que de acuerdo a los cálculos realizados, está sobre dimensionada, para garantizar confiabilidad en las comunicaciones, de cada una de las bancas y el Host.
La velocidad de transmisión es de 1 Mbps, esto permite realizar una exploración de todas las bancas, con una rapidez que agiliza enormemente la votación.

2.1.4 Detector de presencia

Es del tipo piroeléctrico, o sea, detecta el movimiento y el calor humano frente a la banca. Este sensor, determina si hay una persona ubicada en la banca.
El PIC, se encarga sistemáticamente de leer el estado de ese detector, acción que se mantiene mientras el equipo se encuentre encendido.

2.1.5 Pulsadores (SI, NO, ABSTENCIÓN)

Oprimiendo alguno de estos pulsadores el legislador emite su voto. Los mismos son "leídos", por el PIC, en el momento en que se encuentra habilitada la votación.

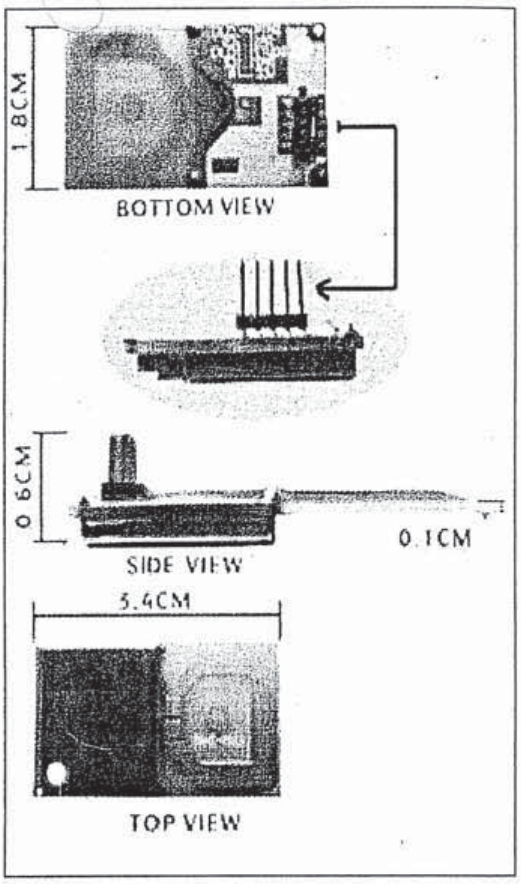


Figura 5. Transceptor TRW - 2.4 GHz,

Para que el voto sea aceptado, se deben cumplir ciertas condiciones: 1°) se debe detectar la presencia del legislador (detector de presencia); 2°) el legislador debe haber introducido su tarjeta chip en el zócalo; y 3°) desde el Host, el PIC de esa banca, debe haber confirmado la habilitación, para tomar el voto como válido. Si alguna de estas condiciones no se cumple, el voto no será aceptado por el PIC y desde la PC, estarán informados que dicho legislador, no está cumpliendo con los requisitos.

2.1.6 LED indicador de presencia

Cuando el LED está encendido, el PIC asume que hay una persona ubicada en la banca. Como ya se comentó, la identificación de "quién" es el que está sentado, se realiza por medio de la tarjeta chip personal de cada legislador.

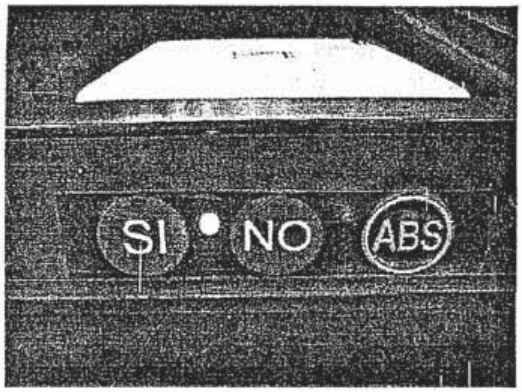


Figura 6. LED de presencia encendido

2.1.7 LED indicador de estado de votación

Este LED posee varios estados:
Apagado: no está habilitada la votación, desde la Estación Central (PC).
Intermitente a baja frecuencia: a un pulso cada dos segundos, la votación está habilitada, pero todavía no se ha emitido el voto.
Intermitente a una frecuencia superior: a dos pulsos por segundo, se ha emitido el voto y ha sido tomado por el PIC.
Encendido permanente: el voto ha sido transferido desde el PIC a través del Transceptor Wi-Fi al Host y de éste a la administración central, que es la PC con el software de gestión legislativa.
En la Fig. 7, se observa más a la derecha, el orifico donde está alojado el detector de presencia.

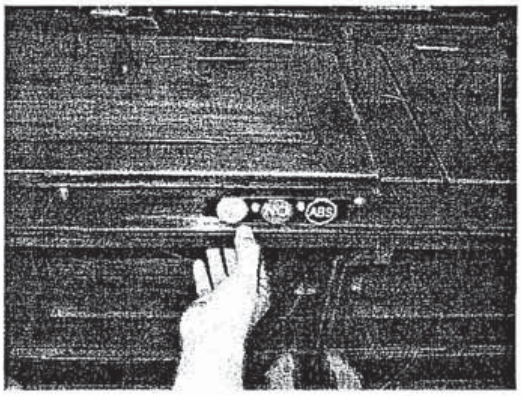


Figura 7. Dos LEDs encendidos: de presencia y estado de la votación.

2.1.8 Fuente de tensión controlada

Los componentes electrónicos constitutivos de la placa controladora, no operan con la misma tensión de alimentación, e.g. Transceptor a 3, 3 Vcc; Tarjeta chip a 5 Vcc, y el microcontrolador debe interactuar con ambos, se optó por dotar al sistema de una fuente, controlada que entrega al microcontrolador según la porción de software que se esté corriendo, la tensión adecuada, para no dañar al dispositivo al que se esté accediendo.

2.2 HARDWARE DEL HOST

Este es el módulo central de comunicaciones y control de todos los microcontroladores existentes en el recinto (total 53) y esta compuesto por:

- Microcontrolador
- Transceptor (Wi-Fi)
- Interfase serie con PC (RS-232)

2.2.1 *Microcontrolador*

Es el PIC 16F877. Ref. [3], que cumple las funciones de otro microcomputador dedicado. Es el encargado de gestionar por medio del transceptor, la comunicación con los equipos controladores de cada banca y comunicar los estados de las mismas a la PC, a través de la interfase serie RS-232.

2.2.2 Transceptor (Wi-Fi)

Es el mismo utilizado en cada unas de las bancas. Cabe destacar que al transceptor junto al Host, fue instalado en un lugar estratégico dentro del recinto, para lograr una transmisión y recepción eficiente de los datos provenientes de las bancas.

2.2.3 Interfase serie RS-232 a la PC

Realiza la conversión de las señales generadas por el microcontrolador en niveles TTL a la norma RS-232, para posibilitar la comunicación con la PC.

2.2.4 Consumo total de la electrónica

En el supuesto, que en una sesión todos los legisladores votaran en el mismo instante, (poco probable en la realidad), la potencia consumida sería de 81 W. (vatios), que es equivalente al alimentador de una Notebook.

3. DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE

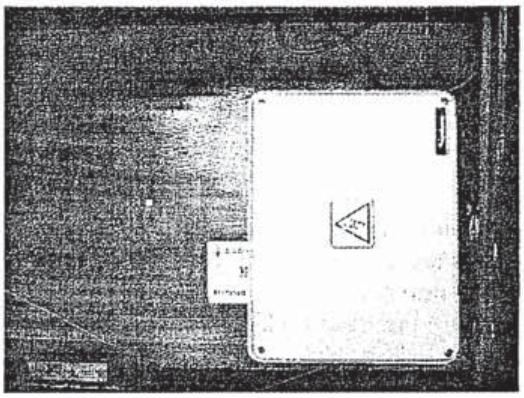


Figura 8. En banca, gabinete (20x30x10 cm)

3.1 SOFTWARE EN LA BANCA

Reside en el PIC en cada banca, y es el encargado de vincular todos los dispositivos existentes en la placa controladora. Lee el estado del detector de presencia. Atiende los comandos enviados por el Host por medio del transceptor. Identifica si la tarjeta chip está insertada y si la misma es válida. Lee estado de los pulsadores. Si el periodo de votación se encuentra habilitado. Controla el estado de los LEDs indicadores de presencia y de votación y envía al Host por medio del transceptor el estado de las bancas, (presencia, identidad del legislador, y voto).

3.2 SOFTWARE DEL HOST

Para la interrogación o exploración de las bancas el Host, posee un algoritmo inteligente, en el cual, va verificando en una tabla la cantidad de bancas que han contestado, y en el caso, de que alguna banca no responda, por alguna interferencia en un determinado momento, se vuelve a interrogar hasta lograr la confirmación del total de las bancas. Esto permite garantizar la confiabilidad, que requiere este tipo de sistema.

Se ha desarrollado un determinado protocolo de comunicación entre el Host y la PC, que posee los siguientes indicadores: errores de comunicación, errores en los pulsadores, comandos de inicio y fin de votación, y por último el control de la consistencia de los datos. Ref. [4].

4. VALIDACIÓN DE CAMPO

Este proyecto, ha sido validado en el recinto con resultados satisfactorios, con la presencia de autoridades del Senado, alumnos pasantes de la Legislatura, alumnos de la UTN y personal de planta, realizando las votaciones, en lugar de los legisladores. Con la anterior gestión, se produjo una sesión del Senado, donde se puso en funcionamiento pleno, con presencia del periodismo de toda la Provincia. Las actuales autoridades legislativas, propusieron cambios en la velocidad de votación y agregar al programa más gestión parlamentaria, ambos objetivos ya han sido logrados.

Se realizaron pruebas previas de funcionamiento, durante dos meses, en días hábiles y feriados a distintas horas del día y la noche, para desechar posibles perturbaciones, tales como: funcionamiento del sistema con presencia y sin presencia de público. Variaciones de la tensión de línea de 220 V. – 50 Hz. El funcionamiento de Internet con Wi-Fi, que abarca al recinto y todos los salones aledaños. Ambos, el de voto electrónico e Internet inalámbrico, trabajan en la misma banda de 2,4 GHz., pero con una separación entre canales de 8 MHz. que lo hacen convivir, sin ningún tipo de interferencias.

5. CONCLUSIONES

El próximo 12 de agosto del corriente, el Senado de la Provincia de Mendoza, comienza oficialmente a sesionar con el voto electrónico.

La aplicación de este proyecto, se puede hacer extensivo a cualquier legislatura del

país o del extranjero, como así también a Consejos Deliberantes de los Municipios.
Fue una experiencia profesional de enorme relevancia, para alumnos de la UTN-FRM participantes del proyecto.

AGRADECIMIENTOS

Al anterior Vicegobernador de la provincia de Mendoza, Juan Carlos Jaliff, por concretar el Convenio que dio lugar al presente proyecto. A funcionarios y personal de planta, por el Senado: Natalio Derinovsky, Analía Rodriguez, Jorge Lanzani, Rubén Narpe. Por Diputados: Salvador Navarría, Jorge Manzitti. Por Taquigrafía: Manuel Brondo. Por Intendencia: Sergio Azcurra y colaboradores.

REFERENCIAS

[1] http://www.legislaturamendoza.gov.ar/ 2008
[2] Data Sheet, Transceivers Wi-Fi, TRW. Laipac Technology. Inc. 2004.
[3] Manual PIC Microchip. Microchip Technology Inc. 2006.
[4] Manual MPLab. Microchip Technology Inc. 2000.
[5] ISO 7816. Insurance Services Office, Inc.

Elaboración de celdas solares fotoelectroquímicas sensibilizadas con pigmentos orgánicos

M.V. Nuñez[1], P.E.Valdez[1], J.Núñez Mc Leod[1] & L.S. Scollo[1,2]

victoria_nunez@infovia.com.ar; pvaldez9@gmail.com, jmcleod@cediac.uncu.edu.ar & escollo@cediac.uncu.edu.ar

[1] *Instituto CEDIAC, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacinal de Cuyo*

[2] *CONICET*

RESUMEN: En este trabajo se presentan los primeros resultados obtenidos de la construcción de celdas solares fotoelectroquímicas sensibilizadas con colorantes orgánicos. En el mismo se demuestra la posibilidad de fabricación con materiales locales de celdas que pueden ser una alternativa a la generación fotovoltaica en el área de energía solar. Si bien la eficiencia lograda con las mismas resulta baja, los resultados son alentadores para próximas investigaciones sobre el tema.

Palabras clave: fotoelectroquímico – conductor – electrolito – clorofila – antocianinas

ABSTRACT: In this work, the first results are presented of Dye Sensitised Semi-condutcor Cells (DSSC) construction. The possibility of fabrication of the cells with materials available on the local market is demonstrated as an alternative to photovoltaic solar energy. The efficiency of the constructed cells is very low, but the results are encouraging for future developments.

Key Words: photoelectrochemical – conductor – electrolyte – clorophyll – anthocyanin

1 INTRODUCCIÓN

1.1 *Breve descripción del estado del arte*

Grätzel, y colaboradores lograron construir una celda electroquímica que reproduce la forma en que las plantas obtienen energía a partir del sol. Ref [1,2,3]. El funcionamiento de este tipo de celdas consiste en la captación de fotones a través de un semiconductor sensibilizado con colorante y posterior circulación de electrones a través de un circuito cerrado entre dos electrodos gracias a la existencia de un electrolito que funciona como portador. Ref. [4]

El semiconductor utilizado es el TiO_2, que en su configuración cristalina de anatasa, forma parte de una nueva clase de materiales electrónicos que se caracterizan por poseer una estructura nanocristalina porosa. Este tipo de material necesita de una radiación de longitud de onda menor a 380 nm (UV) para excitar un electrón y promoverlo a la banda de conducción. Debido a que la proporción UV del espectro solar es reducida (entre 5 y 8%), es que se debe sensibilizar al semiconductor con algún compuesto que tenga la propiedad de captar fotones en el rango visible del espectro solar e inyectarlo al semiconductor. Para tal efecto se utilizan distintos pigmentos. De esta manera, es posible lograr una mayor eficiencia en la captación de la radiación solar.

Las últimas publicaciones, Ref.[5], sobre celdas sensibilizadas con colorante (en adelante CSC) indican haber logrado buenas eficiencias, del orden de 10%, por lo cual el estudio de las mismas resulta de importancia.

1.2 *Colorantes*

Existen publicaciones sobre la construcción de celdas con distintos tipos de colorantes naturales. En Ref. [6] se han utilizado carotenoides naturales, colorantes extraídos del arroz negro en Ref. [7] y antocianinas extraídas de moras Ref. [8]. A pesar de que las eficiencias logradas hasta ahora con colorantes naturales son bajas, la obtención de los mismos resulta mucho más sencilla y económica que la del rutenio III Ref [6]. A partir de esto se propone en este trabajo ensayar la eficiencia de celdas con pigmentos extraídos de distintas variedades de uvas en las que está presente la antocianina. También se trata en este trabajo y se compara el uso de clorofila proveniente de distintos orígenes como acelga, yerba mate y hojas de limonero.

1.3 *Electrodos transparentes conductores*

Se hallan en la bibliografía desarrollos de películas conductoras transparentes depositadas sobre vidrio mediante el método SPD (spray pyrolisis deposition). Por medio de este método una película de óxido de estaño dopado con indio, (ITO) por sus siglas en inglés, es depositada sobre un vidrio y luego recubierta con una deposición de óxido de estaño dopado con flúor (FTO en inglés), para proteger a la primera de la oxidación. Ref.[9]. Por otro lado, un estudio de la Universidad de Flores, Ref. [9], indica que es posible suplantar la deposición de una capa conductora transparente por la impresión de una grilla conductora sobre el vidrio por medio de pintura en aerosol.

De acuerdo a lo anterior se propone en este trabajo la elaboración y ensayo de grillas conductoras de distinto tipo adosadas al vidrio. De esta manera se conseguiría un vidrio conductor económico y de materiales accesibles ya que es difícil conseguir este tipo de vidrios y son costosos puesto que se deben importar.

1.4 *Película de TiO_2*

En cuanto a la deposición de la película semiconductora de TiO_2 nanoporoso, algunos trabajos demuestran que la utilización de la técnica SPD ha logrado obtener una morfología controlada de la misma, Ref.[10]. En Ref.[11] se ha efectuado al polvo de TiO_2 un tratamiento térmico previo a la deposición que mejora la eficiencia de las celdas. En muchos trabajos, como en Ref.[7] el método clásico y usual para la obtención de una capa de TiO_2 nanoporoso se logra mediante la preparación de una pasta de TiO_2 depositada por el método del bisturí, que es la técnica que se utilizó en este trabajo.

1.5 *Objetivos.*

El principal objetivo de este trabajo ha sido lograr la fabricación de una celda solar a modo de prueba de concepto, que permita demostrar la posibilidad de realizar este tipo de celdas con materiales al alcance en el mercado local. Con esto se pretende adquirir conocimiento básico para encarar proyectos futuros en el tema.

2 EXPERIMENTAL

Se estudiaron varios aspectos de las celdas: la deposición del TiO_2, la conformación de la grilla conductora, la extracción y absorción de colorantes naturales, el ensamblaje y la medición de parámetros de funcionamiento.

2.1 *Deposición de TiO2*

La preparación del electrodo con TiO_2 se llevó a cabo según el procedimiento descripto en Ref.[7]. Según se detalla a continuación:

1. Se pesaron 12,0589gr de TiO2 sobre el vidrio reloj, en la balanza.
2. En el vaso de precipitado se colocó acetona.
3. Desde el vaso de precipitado, se extrajeron, utilizando la pipeta, 0,4 ml de acetona.
4. En otro vaso precipitado se colocó agua destilada, desde donde se extrajeron 4ml de agua por medio de una pipeta y se agregaron a la mezcla.
5. Durante 30 minutos se mezclaron en el mortero el TiO2, acetona y agua destilada. Ver Figura 1. Se debe evitar una agitación muy enérgica debido a la aparición de burbujas. Figura 2.

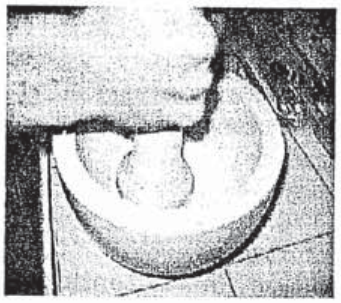


Figura 1. Preparado de la pasta.

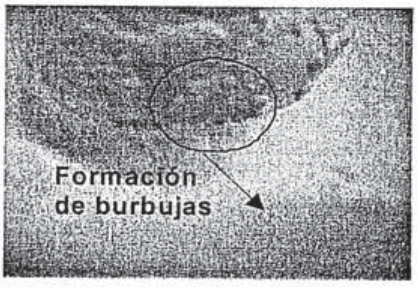


Figura 2. Formación de burbujas durante el mezclado.

6. Mientras, se realizaba el paso anterior, se procedió a lavar 3 vidrios con: Agua potable y detergente; luego se enjuagó con agua destilada y finalmente se limpió con alcohol isopropílico.
7. Se colocó en dos lados paralelos una cinta adhesiva que sirva como indicador del espesor de la capa de la pasta. Figura 3
8. Luego de preparada la pasta, se la depositó sobre los vidrios y se esperó a que este estuviese seco. Ver Figura 3.

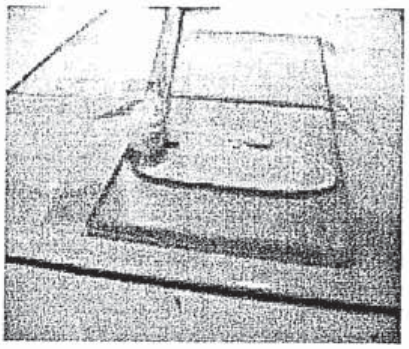


Figura 3 Deposición de la pasta sobre el vidrio.

A continuación se colocaron los vidrios en la mufla a 650°C durante 30 minutos (la mufla tiene un error según reloj de 100°C) con la finalidad de sinterizar el TiO_2.

Se dejaron enfriar los vidrios y se procedió a lavarlos. Finalmente se comparó la adherencia de la pasta antes y después de sinterizar como se muestra a la izquierda y derecha respectivamente en la Figura 4. Allí puede observarse la mayor resistencia a la abrasión que presenta la muestra sinterizada.

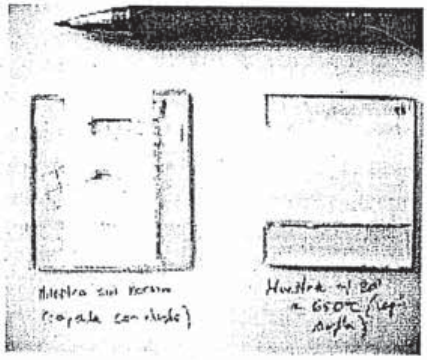


Figura 4. Comparación de la capa de TiO_2 expuesta a la mufla y sin exponer.

2.2 *Conformación de la grilla de la celda conductora*

Se diseñaron siete disposiciones distintas de la grilla y con diferentes metales. Ver Figura 5

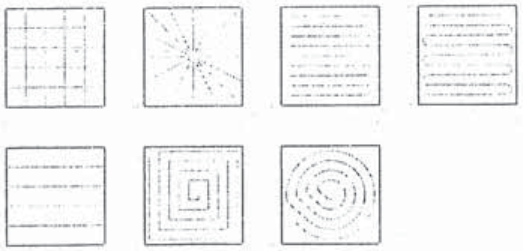


Figura 5 Distintas conformaciones de conducción.

En un principio se comenzó con grillas de cobre adhesivo colocadas sobre el vidrio transparente y sobre vidrios arenados.
Posteriormente se trabajó con alambres de cobre, papel de aluminio y pintura de plata. Ver Figura 6

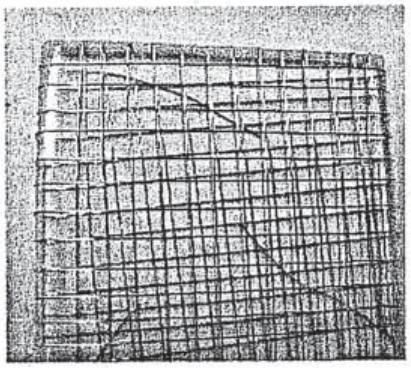


Figura 6 Grilla con alambres de cobre.

En la construcción de la grilla con pintura de plata se procedió de dos maneras distintas:

a) Pintando sobre el vidrio con un pincel.

b) Pintando luego de haber marcado con ácido fluorhídrico las líneas conductoras.

Para poder trabajar con el ácido fluorhídrico previamente se colocó parafina sobre la celda, se marcaron las trayectorias "surcos" con una hoja filosa y luego sobre las trayectorias ya marcadas se colocó el ácido. Ver Figura 7

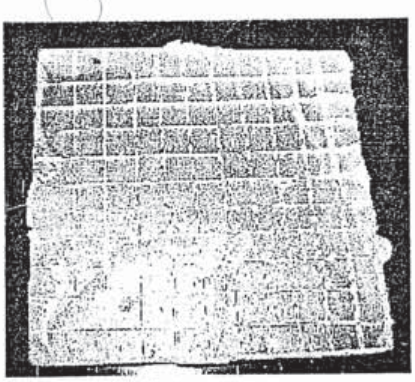


Figura 7 Marcado con ácido fluorhídrico y parafina.

En el caso de los alambres de cobre se intentó solidarizarlos con el vidrio de dos formas distintas:

a) Envolver todo el vidrio.

b) Incrustar los alambres en el vidrio con un peso sobre los mismos y luego llevándolos a temperatura cercana a la fusión en la mufla. Ver. Figura 6.

2.2 *Extracción de colorantes*

Los colorantes elegidos como sensibilizadores del semiconductor para esta experiencia fueron clorofila y antocianinas. La clorofila se extrajo de acelga, de yerba mate y de hojas de limonero; la antocianina se extrajo de petunias y de uvas de distintas clases como malbec, tempranillo, cabernet y syrah.
Para la obtención de los colorantes se utilizaron diferentes solventes: alcohol, agua, hexanol, benceno y acetona.
El procedimiento utilizado fue:

1. Cortar las hojas en trozos pequeños. Ver Figura 8
2. Colocar en el mortero las hojas y machacar.
3. Agregar el solvente y esperar unos minutos hasta que se disuelva la clorofila o la antocianina en él. Ver Figura 9
4. Filtrar el líquido obtenido en el recipiente.



Figura 8 Hojas de limonero cortadas en trozos



Figura 9 Clorofila de hojas de limonero extraída con acetona.

En esta experiencia pudo observarse que:

- La cantidad de pigmento extraído era distinto para cada solvente utilizado y para cada sustrato (hoja o fruto).
- Los solventes que se desecharon fueron: el agua ya que deja mucho residuo, y presenta dificultades para el filtrado y el benceno debido a que los colorantes eran poco solubles en el mismo

2.4 *Ensamblaje y medición de parámetros*

El procedimiento utilizado en este caso se describe a continuación en orden cronológico:

1. Cubrir toda la superficie de una placa con cobre.
2. Pegar en la otra placa grillas de cobre (electrodo).
3. Sobre las grillas del electrodo colocar una pasta de TiO2
4. Colocar una pasta de TiO2 y ácido acético.
5. Dejar secar a temperatura ambiente durante 10 minutos.
6. Llevar esta placa a la mufla a 450°C durante 30 minutos.
7. Dejar enfriar a temperatura ambiente.
8. Sumergir el dispositivo durante 24 horas en una placa petri que contiene la solución colorante.
9. Extraer el dispositivo y dejar evaporar el solvente (alcohol).
10. Colocar tres gotas del electrolito (redox Yodo/ Yoduro)
11. Realizar el montaje de la celda (sujetando ambos con broches), ver Figura 10.
12. Exponer la celda a la radiación solar.
13. Medir la diferencia de potencial entre los dos terminales y la corriente circulante.

3 RESULTADOS

En la Tabla 1, se muestran mediciones realizadas sobre la primera celda construida durante el año 2006. La misma se construyó utilizando grilla de cobre adhesivo.

En la Tabla 1 se muestran los resultados de tensión y corriente para distintos puntos de la celda expuesta al sol directo y la otra en la sombra para comprobar que el fenómeno está ocurriendo. Las medidas realizadas muestran gran variación debido a que las grillas de cobre se deforman y cortan luego de su paso por la mufla.

Durante los años 2007 y 2008 se perfeccionaron los métodos de esparcimiento de la pasta de TiO_2, y se probaron distintas extracciones de pigmentos. En la Figura 10 se muestra el ensamblado de la celda.

En la tabla 2 se muestran las especificaciones de 7 celdas construidas. En todas ellas la grilla conductora es de pintura de plata y el contraelectrodo es de papel de aluminio. Los resultados, mostrados como valores de tensión, corriente y potencia se muestran en la Tabla 3. Cabe resaltar que las mediciones se efectuaron a

mediodía y que el cielo estaba parcialmente nublado.

Tabla 1. Resultados de la primer celda

Punto	Sol	Sombra	
	I (A)	I(μA)	V(mV)
1	1,3	0,04	2,9
2	0,1	0,04	0,1
3	1,3	0,02	1
4	12,1	0,08	13,7
5	0,5	0,02	0,8
6	0,5	0,01	0,8
7	13,5	0,02	0
8	24,4	0,05	0,2
9	0,8	0	0,8
10	0,2	0,01	

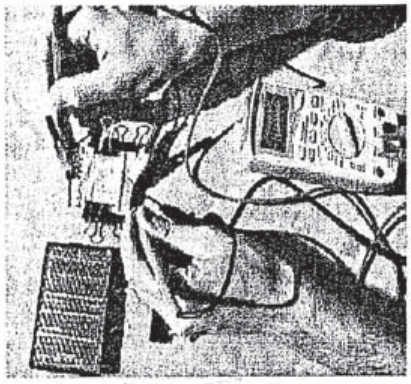


Figura 10. Ensamblado de la celda

Para poder tener un marco de comparación, puesto que los ensayos se hicieron a cielo abierto, fue necesario contrastar los valores obtenidos con la potencia obtenida por una celda fotovoltaica convencional. En función de esto, paralelamente a cada medición de una celda fotoelectroquímica (FEQ) se midió la tensión y corriente obtenida en una celda FV como se muestra en la parte inferior izquierda de la figura 10. Los datos obtenidos se muestran en la Tabla 4.

Tabla 2. Especificaciones de las celdas

Celda.	Forma de deposición del TiO_2	Pigmento	Solvente
1	Barra de vidrio.	Tempranillo	Acetona.
2	Esponja con microfilm	Limonero	Hexanol.
3	Perfil metálico	Tempranillo.	Acetona.
4	Escurrido	Tempranillo.	Agua destilada.
5	Esponja con microfilm	Limonero	Hexanol.
6	Esponja con microfilm	Limonero	Acetona.
7	Esponja con microfilm.	Malbec	Hexanol.

Tabla 3. Resultados obtenidos con las celdas

Celda	I(mA)	V(mV)	P (mW)
1	0.43	215	92.45
2	0.32	210	67.2
3	0.02	170	3.4
4	0	20	0
5	0	150	0
6	0	180	0
7	0.01	140	1.4

Tabla 4. Resultados obtenidos con la celda FV

Celda	I(mA)	V(mV)	P (mW)
1	62.6	775	48515
2	66.3	790	52377
3	61	720	43920
4	68.7	775	53243
5	64.5	757	48827
6	71.6	759	54344
7	50	665	33250

Se debe aclarar que la celda FV es de una superficie mayor a la de las FEQ. En la tabla 5 se muestra esta relación, y se comparan las potencias de ambas corregidas por ésta relación de áreas (ver última columna en la tabla 5).

Tabla 5. Comparación de los resultados obtenidos con la celda FV y la FEQ

Relación de áreas			
Celda	a (mm)	l (mm)	A (mm2)
FEQ	40	48	1920
FV	57	85	4845
A_{FV}/A_{FEQ}			2.52
Potencias			
	FEQ	FV	%
Celda	P (mW)	P (mW)	
1	92.45	19226	0.48%
2	67.20	20756	0.32%
3	3.400	17405	0.02%
4	0.000	21099	0.00%
5	0.000	19349	0.00%
6	0.000	21536	0.00%
7	1.400	13176	0.01%

4 DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS Y CONCLUSIONES

4.1 *Elaboración de una película de TiO2*

En la preparación y deposición de la película de TiO_2 se encontraron diversos inconvenientes como formación de espuma a causa de exceso de detergente, ver Figura 2. El espesor de la capa lograda con el método descripto no es lo suficientemente uniforme. Si bien la adherencia mejora luego de la sinterización, la capa se pega sobre los dedos al pasarlos por ella, indicando aún una falta de adherencia.
En futuros trabajos se deberá intentar mejorar la adherencia, así como la rigidez de la película de semiconductor.

4.2 *Vidrio conductor*

La conformación adoptada para lograr el vidrio conductor fue la de una cuadrícula, ya que si bien no hay continuidad de conducción como si la hay en una espiral, la construcción es más sencilla, y es más fácil de distinguir los puntos de medición de parámetros.
El metal que presentó mejor comportamiento fue la plata, pero luego de haber sometido el vidrio a la mufla observamos que el mismo se despegaba al simple tacto.
En los resultados obtenidos con los alambres de cobre algunos se quemaron y otros alambres se despegaron con el tiempo y se alabeó el vidrio, por lo que este método no es recomendable, al menos en las condiciones en que se elaboró.
En cuanto al tipo de vidrio, el arenado logró mejor adherencia de la grilla y de la pasta de TiO_2, sin embargo, son más sensibles al choque térmico, ya que estos se agrietaron e incluso fracturaron.

4.3 *Pigmentos*

De las experiencias realizadas, se puede deducir que la extracción de los solventes es satisfactoria con acetona o hexanol.
Además se puede afirmar que los pigmentos de extraídos de uva tempranillo con acetona funcionan como sensibilizadores del semiconductor en celdas FEQ, lo cual no se había encontrado hasta ahora en las referencias.

4.4 *Conclusiones*

Respecto de la deposición de la película se concluye que de acuerdo a los resultados obtenidos en la Tabla 3, el procedimiento es válido y puede mejorarse.
Respecto de la grilla conductora, se deben mejorar los procedimientos para lograr que las grillas no se deformen (caso del cobre adhesivo) o no se evaporen (caso de la plata en las celdas 4, 5 y 6 de la Tabla 3)
De acuerdo a las Tabla 3, 4 y 5 en las que el pigmento utilizado fue el de uva, se concluye que éste puede utilizarse para tal propósito, y que se obtienen rendimientos de hasta el 0.48% respecto de lo obtenido con una celda FV. Esto resulta muy bajo, pero semejante a lo obtenido con otros colorantes orgánicos. Ref [7].
A futuro se intentará lograr vidrios conductores de mayor eficiencia y se compararán los resultados con vidrios comerciales importados. Para obtener datos más valiosos se elaborarán celdas con materiales ya existentes en el mercado internacional y sólo se evaluará el cambio de alguno de sus componentes a la vez.

Por último el trabajo se considera que alcanzó los objetivos propuestos ya que se probaron las hipótesis respecto del pigmento y la grilla conductora con el funcionamiento de las celdas 1, 2, 3 y 7 como se ve en la Tabla 3.

REFERENCIAS

[1] O. Probst, J. Valladares, Celdas solares electroquímicas. Transferencia, Año 12-Número 47, 1999.

[2] J. Bisquert, Células solares de titanio nano-estructurado sensitvizado. Alternativas para la generación fotovoltaica Departament de Ciències Experimentals, España, 2002.

[3] www.ecotropia.com, Células fotoelectro-químicas: la captura de la energía solar.

[4] III. ¿Existen materiales sin vida que, como las plantas, utilicen la energía solar para producir cambios en la materia?

[5] Seigo Ito, Takurou N. Murakami, Pascal Comte, Paul Liska, Carole Grätzel, Mohammad K. Nazeeruddin & Michael Grätzel, Fabrication of thin film dye sensitized solar cells with solar to electric power conversion efficiency over 10%, Thin solid films, Elsevier, 2007.

[6] Eiji Yamazaki & Masaki Murayama & Osamu Kurita, "Utilization of natural carotenoids as photosensitizers for dye-sensitized solar cells", Industrial Research Division, Mie Prefectural Science and Technology Promotion Center, Takachaya 5-5-45, Tsu, Mie 514-0819, Japan, año 2006.

[7] Sancun Hao & Jihuai Wu * &Yunfang Huang & Jianming Li, "Natural dyes as photosensitizers for dye-sensitized solar cell", Institute of Materials Physical Chemistry, Huaqiao University, Quanzhou, Fujian 362021, China,año 2005.

[8] Nerine J. Cherepy, Greg P. Smestad & Michael Gratzel & Jin Z. Zhang, "Ultrafast Electron Injection: Implications for a Photoelectrochemical Cell Utilizing an Anthocyanin Dye-Sensitized TiO2 Nanocrystalline Electrode", 1997.

[9] Takuya Kawashima & Hiroshi Matsui & Nobuo Tanab, "New transparent conductive films: FTO coated ITO", Electronics Material Department, Material Technology Laboratory, Fujikura Ltd., 1-5-1, Kiba, Koto-ku, Tokyo 135-8512, Japan, año 2003.

[10] Simona Manolache & Albert Goznes & Joop Schoonman,"TiO2 thin layers with controlled morphology for ETA (extremely thin absorber) solar cells", The Netherlands Available online 24, año 2006.

[11] The-Vinh Nguyen & DaeJin Choi & Hyun-Cheol Lee & Ki-Ju Kim & O-Bong Yang, "Optimization of TiO2 substrate for dye-sensitized solar cells", School of Environmental and Chemical Engineering, Chonbuk National University, Jeonju, Jeonbuk 561-756, Korea.

Nuevas rutas de síntesis por gelificación-combustión (SGCs) aplicadas a la obtención de óxidos de cobalto

*María Celeste Gardey Merino
mcgardey@frm.utn.edu.ar
Grupo CLIOPE, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza.

Laura M. Sánchez & Diego G. Lamas
lsanchez@citefa.gov.ar & dlamas@citefa.gov.ar
Centro de Investigaciones en Sólidos (CINSO), CITEFA - CONICET

Gustavo E. Lascalea
glascalea@lab.cricyt.edu.ar
Laboratorio de Investigaciones y Servicios Ambientales Mendoza (LISAMEN) - CCT - CONICET

Patricia G. Vázquez
vazquez@quimica.unlp.edu.ar
Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencias Aplicadas (CINDECA) - CONICET - UNLP

RESUMEN: En este trabajo, empleando rutas SGCs nitratos-ácido aspártico, se obtuvieron polvos nanoestructurados de Co_3O_4 y se los caracterizó por Difracción de Rayos X (DRX) y Microscopía Electrónica de Barrido (MEB). También se estudiaron el efecto de la presencia de HNO_3 y el de la relación n(Asp)/n(Co) sobre sus tamaños promedio de cristalita y sus morfologías. Por DRX se determinó que la estructura cristalina presente en todos los polvos fue la cúbica simple (Co_3O_4) y sus tamaños de cristalita resultaron entre 55 y 76 nm. Por MEB se observó, a altos aumentos, aglomerados micrométricos de partículas del orden de 100nm. Para la ruta con adición de HNO_3 y una relación n(Asp)/n(Co)=1.5 se obtuvo el menor tamaño de cristalita, de 55nm.

Palabras clave: superficie selectiva - óxido de cobalto - gelificación-combustión - Ácido aspártico - polvos nanoestructurados.

ABSTRACT: Nanostructured Co_3O_4 powders were synthesized by nitrate-Asp gel-combustion routes and characterized by X Ray Diffraction (XRD) and Scanning Electronic Microscopy (SEM) techniques. The effect of HNO_3 presence and of the molar ratio (n(Asp)/n(Co)) value on their crystallite size and morphology were studied too. By XRD it was assessed that all powders exhibited the same, expected, crystalline structure: simple cubic (Co_3O_4). Their crystallite sizes were between 55 and 76nm. By SEM, at high magnification levels, micrometric clusters of particles of 100nm were observed. A crystallite size of 55nm was obtained employing a SGC route supplemented with HNO_3 and having a ratio of n(Asp)/n(Co) =1.5.

Key Words: selective surface - cobalt oxide - gel-combustion - aspartic acid – nanostructured powders.

1 INTRODUCCIÓN

Los polvos de óxido de cobalto, Co_3O_4 presentan interesantes y variadas aplicaciones, como ánodos para baterías recargables de Li, sensores de gases, catalizadores y materiales magnéticos, Ref. [1]. Últimamente se han obtenido películas de Co_3O_4 para ser utilizadas como superficies selectivas en colectores solares, Ref. [2,3]. En Co_3O_4 así como en otros óxidos de metales de transición existen numerosas transiciones electrónicas de spin permitidas entre orbítales d parcialmente ocupados, que permiten una alta absorción en todo el espectro solar, Ref. [4].

Para obtener partículas de Co_3O_4, se han llevado a cabo diferentes métodos de síntesis como deposición por láser pulsado, rutas por sol-gel, rutas basadas en procesos redox, oxidación hidrotérmica de geles, precipitación homogénea, entre otros, Ref. [1]. Mediante SGCs y en particular utilizando ácido aspártico como combustible, no se han encontrado antecedentes para la obtención de Co_3O_4.

En este trabajo, entonces, se proponen rutas novedosas de SGCs empleando ácido aspártico como combustible para la síntesis de Co_3O_4. Los procesos de SGC brindan nanomateriales con alta área específica y excelente homogeneidad en composición a través de procedimientos simples y de bajo costo Ref. [5]. En SGCs se parte de una solución acuosa de nitratos de los cationes de interés en medio nítrico, se agrega luego una proporción electa del combustible a emplear y se eleva el pH con hidróxido de amonio (ya que esta especie no introduce cationes fijos al sistema) procurando llegar al máximo valor de pH posible sin que se observe un precipitado permanente. Tal valor de pH depende de varios factores y es un parámetro importante y reproducible para una SGC dada. Los cationes se mantienen solubilizados como complejos de coordinación y, al concentrar calentando, el medio se mantiene homogéneo hasta gelificar. Posteriormente, se obtiene un gel fundido que, progresivamente, forma una espuma y luego arde. Luego de apagarse la combustión se colectan las cenizas remanentes y se las calcina en un horno al aire a una temperatura suficiente como para estabilizar el óxido deseado y eliminar las impurezas volátiles (óxidos de carbono y restos de nitrato de amonio).

En este trabajo se estudian SGCs que emplean un aminoácido como combustible, el ácido aspártico (Asp), cuya fórmula molecular es $NH_2(COOH)CH$-CH_2-COOH. La elección de este aminoácido dicarboxílico se basa en que se ha observado que los compuestos carboxílicos (como el ácido cítrico, combustible pionero en SGCs, Ref. [6]) parecen conducir a rutas SGCs menos enérgicas que los compuestos con mayor preponderancia de grupos nitrogenados. Disminuir la violencia de la reacción puede resultar un requerimiento al sintetizar determinados óxidos como los óxidos de cobalto por medio de estas rutas.

En este trabajo, además, se analizó la influencia del valor de la relación molar n(Asp)/n(Co) y del empleo de ácido nítrico como aditivo suplementario en el tamaño de cristalita (promedio) obtenido y la morfología de los polvos obtenidos. El estudio de estos parámetros en las síntesis propuestas busca obtener polvos con el menor tamaño promedio de cristalita posible. Con los polvos de óxido de cobalto se obtendrán películas delgadas para ser utilizadas en superficies selectivas de colectores solares.

2 PARTE EXPERIMENTAL

2.1 *Obtención de los materiales*

Se llevaron a cabo cuatro rutas diferentes de síntesis por combustión para obtener Co_3O_4, dos de ellas con suplemento de ácido nítrico y con valores de la relación molar n(Asp)/n(Co) de 1.5 y 2.5; y otras dos sin suplementar ácido nítrico y con valores de relación molar n(Asp)/n(Co) de 1.5 y 2.5.

2.1.1 *SGC de Co_3O_4 ruta nitratos-Asp, relación molar n(Asp)/n(Co)=1.5, con HNO_3.*

Se preparó una solución a partir de 3.93g de $Co(NO_3)_2.6H_2O$ (Riedel-de Haën) , 10ml de HNO_3 (c) y agua destilada hasta un volumen de 100ml, luego se colocó a concentrar sobre una platina calefactora (HP) hasta alcanzar un volumen final de 50ml, finalmente se completó el volumen a 100ml con agua destilada. A esta solución, posteriormente, se le agregaron 2.7g de Asp (Merck) (para lograr una relación n(Asp)/n(Co)=1.5) y la cantidad suficiente de NH_3 (1+1) (Merck) para alcanzar un pH=8. Esta solución, denominada precursora, se colocó a concentrar sobre una HP a 280°C aprox. Se formó un gel viscoso color violeta, y luego se produjo la combustión con presencia de llama y

chispas. Se obtuvieron cenizas de aspecto filamentoso y de color gris. Las cenizas se colocaron a calcinar en un horno al aire durante dos horas a 500°C. De aquí en adelante nos referiremos a los polvos obtenidos mediante esta ruta de síntesis como muestra 1.

2.1.2 *SGC de Co_3O_4 ruta nitratos-Asp, relación molar n(Asp)/n(Co)=2.5, con HNO_3.*

Esta síntesis es idéntica a la síntesis 1. Sólo cambió la cantidad de Asp utilizada, que fue de 4.49g, correspondiente a una valor de la relación molar n(Asp)/n(Co)=2.5. De aquí en adelante nos referiremos a los polvos obtenidos mediante esta ruta de síntesis como muestra 2.

2.1.3 *SGC de Co_3O_4 ruta de nitratos-Asp, relación molar n(Asp)/n(Co)=1.5, sin HNO_3.*

Se disolvieron 2.48g de Asp en 200ml de agua destilada con ayuda de calentamiento y agitación, luego se agregaron 4.01g de $Co(NO_3)_2.6H_2O$ (Riedel-de Haën), se obtuvo así la solución precursora con una relación molar n(Asp)/n(Co)= 1.5 y un pH=3. Finalmente se colocó a concentrar sobre HP a 280°C aprox. Se formó un gel, color lila, que comenzó a quemarse, adquiriendo el aspecto de una brasa encendida. La combustión se produjo sin llama. Las cenizas obtenidas se colocaron a calcinar en un horno al aire durantes dos horas a 500°C. De aquí en adelante nos referiremos a los polvos obtenidos mediante esta ruta de síntesis como muestra 3.

2.1.4 *SGC de Co_3O_4 ruta nitratos-Asp, relación molar n(Asp)/n(Co)= 2.5, sin HNO_3.*

Esta síntesis es idéntica a la síntesis 3. Sólo cambió la cantidad de Asp utilizada, 4.59 g, que corresponde a una relación molar n(Asp)/n(Co)= 2.5. De aquí en adelante nos referiremos a los polvos obtenidos mediante esta ruta de síntesis como muestra 4.
En la Figura 1 se observan las fotos del proceso de combustión para la muestra 2 (arriba) y la muestra 4 (abajo). En la muestra 2 se observa llama mientras que en la muestra 4 se observan cenizas encendidas como brasas.

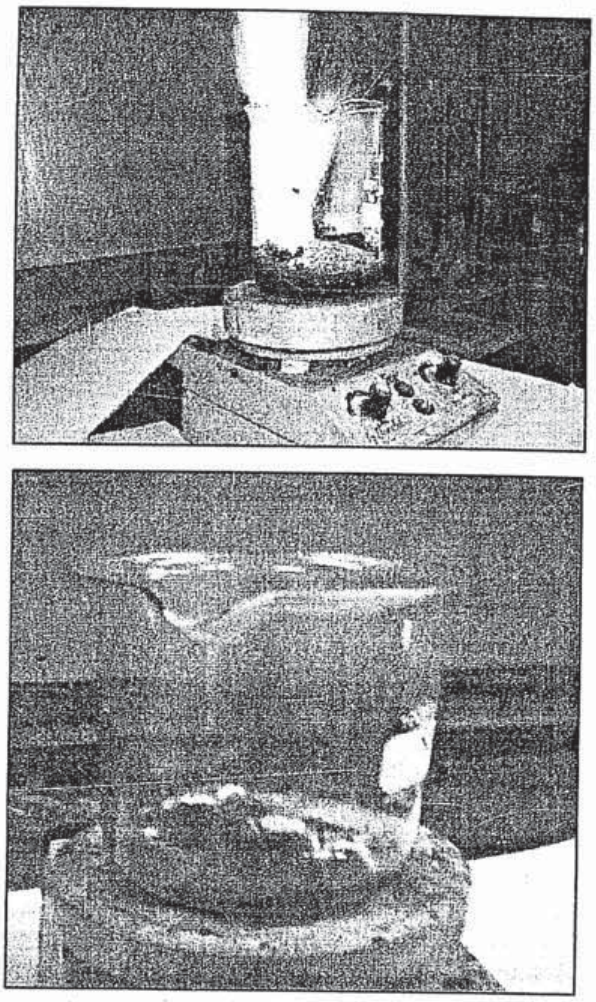


Figura 1. Procesos de combustión. Arriba se observa el proceso de combustión de la muestra 2 sintetizada con ácido nítrico, y abajo el de la muestra 4 sintetizada sin ácido nítrico.

2.2 *Caracterización de los materiales obtenidos*

Las fases presentes en los polvos calcinados se identificaron mediante Difracción de Rayos X (DRX) utilizando un Difractómetro Philips PW 3710 operado con radiación Cu-Kα. El tamaño de cristalita promedio fue determinado a partir del ancho de los picos de Bragg, utilizando la ecuación de Scherrer, Ref.[7]. La morfología de los polvos fue analizada mediante un Microscopio Electrónico de Barrido (MEB), LEO 1450.

3 RESULTADOS

Los polvos obtenidos a partir de las cuatros rutas de síntesis propuestas resultaron cristalinos y la fase identificada fue la cúbica simple, correspondiente al Co_3O_4, la que concuerda con la estructura cristalina de Co_3O_4 discutida en la Ref. [2]. En la Figura 2 se muestra el patrón de difracción obtenido para la muestra número 4 correspondiente a la estructura del Co_3O_4.

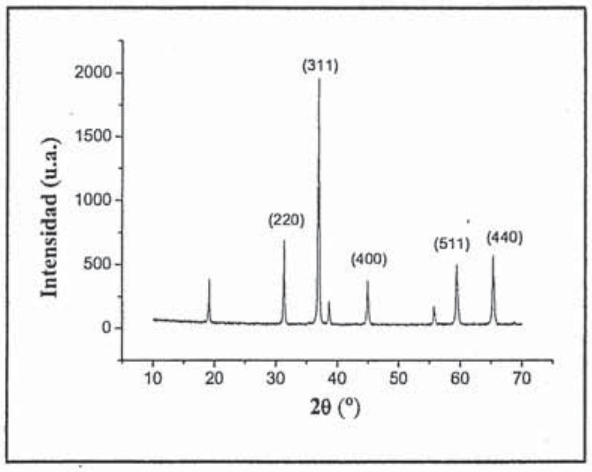


Figura 2. DRX de la muestra 4, correspondiente al Co_3O_4

En la Tabla 1 se informan los tamaños de cristalita, medidos con un error experimental del 10%, para cada una de las muestras analizadas. El tamaño de cristalita obtenido para todas las muestras está en el orden de la decena de nanómetro. Para las muestras sintetizadas con ácido nítrico los tamaños de cristalita son menores en comparación con aquellas sintetizadas sin ácido nítrico para un mismo valor de la relación n(Asp)/n(Co). Respecto a la relación n(Asp)/n(Co) para las muestras sintetizadas con nítrico, para un valor igual a 1.5 se presenta el menor tamaño de cristalita, en cambio para las muestras sintetizadas sin nítrico el tamaño menor de cristalita corresponde a un valor de relación n(Asp)/n(Co)=2.5. El menor tamaño de cristalita es de 55 nm y corresponde a la síntesis llevada a cabo con una relación de n(Asp)/n(Co)=1.5, con el uso de ácido nítrico. De acuerdo a estos resultados se puede deducir que la mayor presencia de iones nitrato en la solución precursora, permite obtener condiciones de combustión más enérgicas lo que, a su turno,redunda en menores tamaños de cristalita en el óxido obtenido.

Tabla 1. Tamaños de cristalita obtenidos para las cuatros rutas propuestas.

Relación molar, suplemento ácido nítrico	Tamaño de cristalita (nm)
1..5 moles Asp/moles de cobalto, con nítrico	55 ± 6
2..5 moles Asp/moles de cobalto, con nítrico	70 ± 7
1..5 moles Asp/moles de cobalto, sin nítrico	76 ± 8
2..5 moles Asp/moles de cobalto, sin nítrico	66 ± 7

En la Figura 3, se muestran micrografías MEB de la muestra 1 a 300x., aquí se presentan aglomerados en forma de microfilamentos.

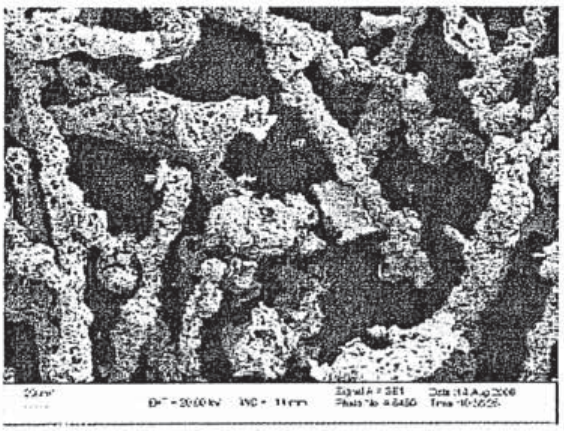


Figura 3. Micrografía de la muestra 1. La línea de escala corresponde a 20 ∝m.

En la figura 4 se observa la micrografía de la muestra 1 a un aumento de 15000x abajo corresponde a un mayor aumento: se observan partículas pequeñas, muy aglomeradas cuyo tamaño es del orden de la centena de nanómetro.

En la Figura 5 se observa las micrografía de la muestra 3 a un aumento de 300x aquí los polvos presentan una morfología de láminas delgadas con poros.

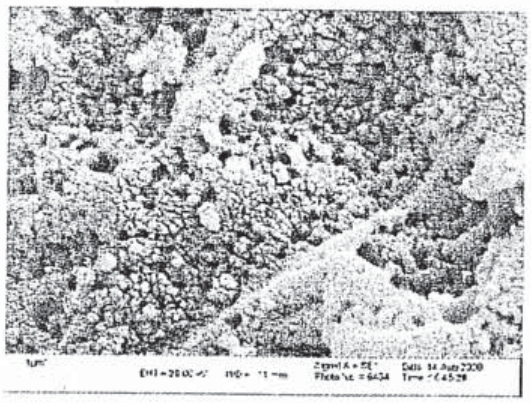


Figura 4. Micrografía de la muestra 1. La línea de escala corresponde a 1 ∝m.

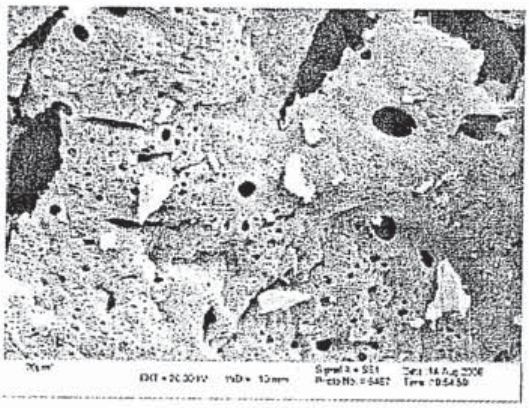


Figura 5. Micrografía de la muestra 3. La línea de escala corresponde a 20 ∝m.

En la figura 6 se observa la micrografía de la muestra 3 a un aumento de 20000x donde se presentan aglomerados de partículas más pequeñas. Estas partículas, a diferencia de las muestra 1, presentan una forma y un tamaño más regular.

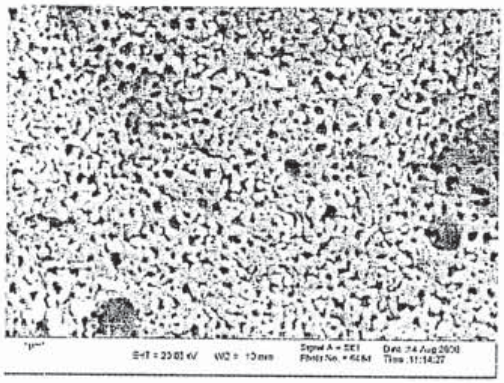


Figura 6. Micrografía de la muestra 3. La línea de escala corresponde a 1 ∝m.

4 CONCLUSIONES

Se han sintetizado polvos de Co_3O_4 mediante cuatro rutas de combustión a partir de nitrato de cobalto hexahidratado y ácido aspártico como combustible. En la primera y la segunda ruta se suplementó con ácido nítrico y se programó una relación n(Asp)/n(Co) igual a 1.5 y 2.5 respectivamente, mientras que la tercera y la cuarta ruta fueron llevadas a cabo sin suplemento de ácido nítrico y con una relación n(Asp)/n(Co) igual a 1.5 y 2.5 respectivamente. Con respecto al proceso de combustión de las síntesis llevadas a cabo con ácido nítrico, en los dos casos presentaron llama y chispas, mientras que para las síntesis sin nítrico, la combustión en ambos casos fue sin llama. Las micrografías demuestran en todos los casos la morfología característica de los polvos obtenidos por SGCs: aglomeración de nanopartículas, (generalmente de las cristalitas) del orden de las centenas de nanómetros. Se puede deducir, en base a los resultados obtenidos, que las síntesis realizadas con ácido nítrico presentan un menor tamaño de cristalita comparadas con las síntesis realizadas sin suplemento de ácido nítrico para un mismo valor de n(Asp)/n(Co). El menor tamaño de cristalita es de 55 nm y corresponde a la síntesis con suplemento nítrico y una relación de n(Asp)/n(Co)= 1.5.

Las rutas de síntesis presentadas en este trabajo, son novedosas para la obtención de Co_3O_4. Resultará necesario realizar mayor cantidad de ellas para ampliar la parametrización de las variables experimentales comenzadas a estudiar acá. Sin embargo, una conclusión importante es que la mayor presencia de iones nitrato redunda en menores tamaños de cristalita en el óxido obtenido. Un menor tamaño de cristalita generalmente correlaciona con una mayor área específica. Esta variable resulta importante para las aplicaciones de estos polvos en la obtención de superficies selectivas de colectores solares y será analizada en trabajos futuros.

REFERENCIAS

[1] H. Young, Y. Hu, X. Zhang, G. Qiu: Mechanochemical synthesis of cobalt oxide nanoparticles. Materials Letters, 58, 2004.

[2] A. Avila G., E. Barrera C., L. Huerta A., S. Muhl: Cobalt oxide films for solar selective surfaces, obtained by spray-pyrolisis. Solar Energy Materials & Solar Cells, 82, 2004.

[3] E. Barrera, T. Viveros, A. Avila, P. Quintana, M. Morales and N. Batina: Cobalt oxide films

grown by a dipping sol-gel process. Thin Solid Films 346, 1999.

[4] J. Vince, A. Šurca Vuk, U. Opara Krašovec, B. Orel, M. Köhl and M. Heck: Solar absorber coatings based on CoCuMnOx spinels prepared via the sol–gel process: structural and optical properties. Solar Energy Materials & Solar Cells, 79, 2003.

[5] L.A. Chick, L.R. Pederson, G.D. Maupin, J.L. Bates, L.E. Thomas, G.J. Exarthos: Glycine-nitrate combustion synthesis of oxide ceramic powders, Mater. Lett. 10, 1990.

[6] D.G. Lamas, G.E. Lascalea, G. Alejandro, R.E. Juárez y N.E. Walsöe de Reca: Obtención y caracterización de cerámicos compuestos de alúmina-circonia, Jornadas SAM 97, 14-16 de mayo de 2007, Tandil, Buenos Aires, Argentina.

[7] H. Klug and L. Alexander: X-ray Diffraction Procedures for Polycrystalline and Amorphous Materials, second ed., John Wiley and Sons, New York, 1974.

Avalanchas de nieve y una nueva interpretación sobre el mecanismo de desencadenamiento.

R. Haarh[1] & H. Martinez[1] & M. Distefano[1] & F. Bianchi[2] & E. Canales[2]
rhaarth@uncu.edu.ar *hugom@uncu.edu.ar* *mdistefa@uncu.edu.ar*
[1] *Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza*
[2] *Facultad de Ingeniería. Universidad Maza. Mendoza*

RESUMEN: Se presenta una descripción general sobre el tema de avalanchas de nieve y el mecanismo que la origina estableciendo características y factores que determinan la inestabilidad del manto nival. El objetivo es aportar información útil que sirva de base para el desarrollo de métodos de predicción de ocurrencia de avalanchas de nieve, de fundamental importancia cuando se trata de evaluar el riesgo natural que pone en peligro la vida humana, sobre todo si se considera el constante crecimiento del uso de las zonas montañosas por expansión de la población. Se hace mención al mecanismo clásico que explica el inicio de una avalancha destacando un nuevo enfoque innovador que ayuda al desarrollo de modelos de predicción de avalanchas de nieve. El trabajo desarrollado se circunscribe a la región del Valle de las Leñas en la Provincia de Mendoza.

Palabras clave: Avalanchas de nieve. Modelo predictivo. Adquisición de datos.

ABSTRACT: It is presented a general description on the topic of snow avalanches and the mechanism that originates it, establishing factors that determine the instability of the snow-pack. The objective is to provide useful information that serve of base for the development of snow avalanches occurrence forecast methods, of fundamental importance when it is evaluated the natural risk that puts in danger the human life, specially considering the constant increase of the mountainous zones use by population growth. It is mentioned the classic mechanism that explains the beginning of an avalanche, emphasizing an innovative outline. This approach suggests the need of new studies and reports accomplished under this perspective and helps to the development of better snow avalanches forecast models. This work is limited to the region of the Valle de las Leñas, Malargüe- Provincia de Mendoza.

Key Words: Snow avalanches. Prediction model. Data acquisition

1. INTRODUCCION

Una avalancha se define como un flujo de nieve que desciende a lo largo de la pendiente de una montaña. Los factores que desencadenan una avalancha son la sobre-acumulación de nieve y la propia inestabilidad del manto nival debido a los factores térmicos y mecánicos que disminuyen su cohesión interna según las condiciones nivometeorológicas del sitio [1], produciendo el inicio de una fractura en el manto nival que se propaga desprendiendo uno o más bloques de nieve [2].

La sobre-acumulación de nieve está fuertemente condicionada por el efecto del viento, ya que es el

causante del transporte de partículas de nieve inicialmente precipitadas durante la tormenta.
El viento puede arrastrar grandes cantidades de partículas de nieve logrando que algunas zonas queden con mayor acumulación que otras, generando en estos lugares verdaderos sitios inestables y propicios para el desencadenamiento de eventos que terminan por producir fracturas que eventualmente provocan desprendimientos de masa o avalanchas.
En razón de que aún con la tecnología y conocimientos adquiridos no se puede establecer el momento de inicio de una avalancha y su progreso, es que se han desarrollado varios métodos de predicción, algunos basados en modelos numéricos que hacen uso de variables nivo-meteorológicas.
Existen otros métodos de ayuda, como mapas de zonificación de peligrosidad, que se confeccionan con cartografías realizadas según los eventos acontecidos (historia del lugar) [3], que requieren de mucha información del sitio.
En relación a los métodos de prevención que utilizan modelos de predicción, la tecnología actual permite el uso de sistemas de medición con sensores que registran información complementaria de los datos nivo-meteorológicos esto es, compactación y densidad de nieve precipitada, velocidad y acumulación de las partículas sólidas de nieve que transporta el viento.
El resultado de las mediciones es la construcción de una base de datos común para el diseño de un sistema experto de ayuda para la predicción de avalanchas de nieve.
Todos los sistemas y métodos de ayuda suponen en principio un mecanismo de desencadenamiento de avalanchas que sustenta y fundamenta el trabajo.

2 OBJETIVOS

i. Obtener información útil que permita establecer los factores que intervienen en el desencadenamiento de avalanchas de nieve en las zonas de montaña.

ii. Establecer una mejor interpretación y comprensión sobre el mecanismo de avalanchas de nieve que ayude en el diseño de estrategias básicas aplicables a la prevención de ocurrencias de avalanchas de nieve.

3 CARACTERISTICAS DE LA NIEVE

La nieve es un material formado por agua en sus tres fases más aire. Depositada sobre el suelo, es un material poroso y aislante que se compacta por acción de su propio peso y experimenta esfuerzos de compresión y tracción de acuerdo a concavidades o convexidades en el perfil del tereno.

3.1 *Efecto del viento*

El viento tiene una acción mecánica importante sobre los cristales de nieve. Aumenta los choques y por lo tanto las roturas, consecuentemente se destruyen las frágiles estructuras. Será entonces una nieve muy fragmentada. Además, estas pequeñas partículas se soldarán entre sí por numerosos puentes de hielo. La nieve así obtenida será muy densa, muy compacta, y rígida (placas).

3.2 *Efecto de la temperatura*

Sin viento y con bajas temperaturas, inferior a los -5°C, los copos de nieve no sufren transformación importante en el transcurso de su caída al suelo, por lo tanto, se acumulará una nieve poco densa .
Cuando las temperaturas están cerca de 0°C, los cristales se modifican durante la caída, pudiendo inclusive humedecerse si la temperatura del aire es levemente mayor a 0°C, consiguiéndose así una nieve densa (entre 100 a 200 kg/m^3).

3.3 *Nieve seca y húmeda*

Una nieve es seca cuando no contiene agua líquida. Con temperaturas negativas, la nieve será siempre una nieve seca.
Una nieve es húmeda cuando contiene agua líquida. Su temperatura será siempre de 0°C (definición de 0°C: temperatura de equilibrio de la mezcla agua – hielo). La presencia de agua líquida en la nieve se produce siempre con temperaturas de 0°C.
La nieve puede humedecerse por lluvia, por fusión de partes de los granos por acción de rayos solares, o por alta temperatura.

3.4 *Factores mecánicos presentes*

El viento tiene sobre la nieve seca depositada el mismo efecto que sobre la nieve durante la caída. Si la nieve es aún suficientemente liviana (bajo peso especifico) y posee escasa cohesión el viento la levantará y transportará. Durante estos transportes,

la fragmentación de los cristales llevará a un aumento del peso específico con aglomeración y cohesión (proceso de sinterización) de los granos entre sí al depositarse, sin dejar de tener en cuenta los efectos de acumulación. Este fenómeno se producirá hasta varios días después de la nevada, siempre y cuando la nieve permanezca transportable, es decir sin cohesión y liviana.

4 AVALANCHAS DE NIEVE

Las avalanchas pueden ser de cualquier magnitud, y darse prácticamente en toda clase de nieves, de las más variadas características, provocadas o naturales. Son desprendimientos de masas de nieve, las cuales pueden alcanzar grandes volúmenes y velocidades (entre 10 y 300 km/h), son altamente destructivas y su longitud, puede ir desde 50 hasta 3.000 metros. Una zona de avalancha puede contar con varios caminos por donde caen diferentes masas desprendidas.

Estas tienen 3 zonas definidas: inicio, recorrido y depósito (ver fig.1).

Para que las avalanchas se produzcan deben existir varios factores asociados: relieve, pendiente de la ladera (entre 25° y 55°), clima, manto de nicve, cantidad de precipitación, temperaturas, vientos y su dirección, metamorfismo de la nieve y exposición solar, entre otras. Las superficies lisas, césped, losas o rocas pulidas son superficies propicias a los aludes por su carácter resbaladizo. Las pendientes convexas son más peligrosas que las pendientes cóncavas terminadas en llano.

La inclinación permite la sustentación de una masa de nieve en función de su cohesión. Cuanto más vertical sea la ladera de la montaña más dura deberá ser la nieve. Las nieves más reciente y la nieve no adherente (sin cohesión) son las más inestables.



Figura 1. Zonas de una avalancha de nieve.

5 TIPOS DE AVALANCHAS DE NIEVE

Se presentan tres tipos básicos de avalanchas de nieve:

a. Avalancha de nieve fresca

Es la que se forma al poco tiempo de caer una nevada o durante esta. Se inicia cuando una pequeña cantidad de nieve rompe el ángulo máximo de equilibrio y se desliza hacia abajo chocando con otros granos y provocando una reacción en cadena.

Normalmente estas avalanchas caen durante el temporal y se debe al ángulo de la pendiente excede el ángulo crítico, traducido en ángulo de reposo o ángulo de fricción estática, preciso para que se inicie el movimiento, si el ángulo de la pendiente es grande (mayor de 40°) no son de gran magnitud ya que en este ángulo la nieve recién caída no se acumula en grandes cantidades, sino que va deslizándose en pequeñas cantidades.

Este tipo de nieve, tiene muy poca cohesión, por lo que se forman cerca de la superficie y una vez iniciada la avalancha, la nieve se ve arrastrada. Este tipo de nieve puede ser seca o húmeda, lo que es traducido en menor o mayor cantidad de agua, si tenemos avalanchas de nieve fresca y con nieve húmeda, estas serán más masivas y sus densidades serán inferiores a 200 kg/m^3.

b. Avalancha en bloque de placa dura:

Este tipo de avalancha es más peligrosa, el principal causante es el viento. Al transportar nieve, la acumula formando cornisas en la parte superior de las laderas protegidas del viento (sotavento), y también acumula nieve volada sobre mantos níveos ya existentes donde ésta tiene mayor cohesión, formándose así mantos de diferente consistencia o densidad, que no se unen bien.

La avalancha se inicia debido a un fallo en el interior del manto, por desprenderse esta capa al sufrir una sobrecarga, de una persona, animal o una cornisa que al debilitarse en sus anclajes se rompe y cae formando un bloque de nieve rectangular, y con líneas de fractura, que lo separan de la ladera. Las "avalanchas de placa", pueden ser secas o húmedas. Las densidades medias en este tipo de avalancha variarán entonces de 100 a 300 kg/m^3.

c. Avalancha húmeda de fusión:

Se deben al aumento de la temperatura ambiente. El sol derrite los granos más pequeños inundando el manto níveo. El agua líquida satura parcial o totalmente la nieve y la convierte en una inestable masa que al menor sobrepeso se desprende.

Estas pueden ocurrir de preferencia en primavera, a comienzos del invierno y en cualquier periodo invernal al caer una lluvia sobre el manto.

A principios del invierno la masa de nieve no esta consolidada, por lo que el peligro de avalanchas es mayor. La nieve floja es común encontrarla en las laderas a la sombra (orientadas al sur) y en las caras a sotavento. En la primavera la nieve se vuelve densa e isotérmica y las avalanchas de fusión son predecibles y evitables.
Mediciones efectuadas a depósitos de "Avalancha de nieve húmeda", muestran densidades entre 900 y más de 1.000 kg/m^3, lo que las hace altamente destructivas debido a sus altas fuerzas de impacto.

6 ENFOQUE CLÁSICO DEL MECANISMO

En general se interpreta que el manto nival está formado por varias capas o estratos formados en diferentes tormentas conformados por tipos de cristales de nieve. Las avalanchas de nieve son causadas cuando los cambios meteorológicos provocan una disminución en la densidad de una capa de nieve o de hielo que se encuentra entre la nieve del fondo y la de la superficie, con lo que la capa de nieve de la superficie colapsa o empieza a deslizar. La característica observada es el ruido impactante que indica el inicio.
Una explicación en el mismo sentido establece que una avalancha se inicia debido a un fallo en el interior del manto, por desprenderse esta capa al sufrir una sobrecarga, de una persona, animal o una cornisa que al debilitarse en sus anclajes se rompe y cae formando un bloque de nieve rectangular, y con líneas de fractura, que lo separan de la ladera. La mayoría de los investigadores opina que el ángulo de la pendiente de la ladera es el determinante del comportamiento observado.

7 ENFOQUE MODERNO DEL MECANISMO

Investigaciones recientes publicadas [4], muestran el proceso de fractura de la nieve usando un nuevo concepto, las antifisuras o anticracks, lugares donde el material se desplaza en la dirección opuesta a la normal para la propagación de una fisura (crack), lo que provoca una pérdida de cohesión y una reducción de la densidad de la nieve. De esta manera, fracturas lejanas pueden ser los causantes de una avalancha.

Los investigadores han desarrollado un modelo matemático para la propagación de fracturas basado en minimizar un funcional de energía que conduce a ecuaciones de Euler-Lagrange diferentes en la región de la fisura que en el resto de la nieve, ecuaciones que han resuelto utilizando el método de elementos finitos. La nieve se modeló como un material granular formado por tres capas diferenciadas, la capa central es rígida pero puede colapsar y se encuentra entre dos capas, la inferior estática y la superior que puede deslizar (la avalancha). En cada capa suponen que los parámetros del material (densidad, módulo de Young, módulo de cizalla y cociente de Poisson) son constantes pero diferentes entre una capa y otra. En las regiones de contacto entre capas consideran fuerzas de fricción de tipo Coulomb.
El modelo predice que el proceso de avalancha ocurre en dos etapas.
En la primera, se forma el núcleo de la antifisura (anticrack) por una sobrecarga de la nieve o por precipitación, cuya longitud crece hasta alcanzar una longitud crítica. Este crecimiento de la antifisura es debido tanto a fuerzas perpendiculares y normales a la pendiente.
En la segunda etapa, las fuerzas de contacto entre las capas de nieve en consideración modifican las condiciones de contorno, generando una inestabilidad que provoca la propagación de la fisura. Dependiendo de la fricción se producirá una avalancha (si es pequeña) o sólo se producirá un "aviso" (una avalancha fallida) que generará un ruido sonoro.
Este modelo en dos etapas explica varios fenómenos curiosos. Por ejemplo, por qué ciertas fracturas de la nieve no provocan avalanchas (la antifisura se propaga sin generar una avalancha), o por qué esquiadores que se mueven lejos, en zonas planas o con poca pendiente, pueden provocar la avalancha (el esquiador genera una antifisura que se propaga sin avalancha hasta alcanzar, lejos, un terreno suficientemente inclinado como para producir la avalancha).
En resumen, el nuevo modelo predice que no hay una pendiente crítica a partir de la cual se propagan las fisuras generando una avalancha. Esto es importante para los esquiadores ya que las señales sonoras que advierten de posibles avalanchas, no pueden ser consideradas inofensivas, sino todo lo contrario.
Este enfoque innovador plantea la necesidad de estar expectante para ver si el modelo ayuda al desarrollo de mejores métodos de predicción de avalanchas.

8 INFORME DE UNA AVALANCHA

Se presenta el informe realizado de una avalancha ocurrida en el mes de Julio de 2006 en la TS de Marte, Valle de las Leñas (Malargue-Provincia de Mendoza).
Lista de evidencias constatadas

- Condiciones nivometeorológicas antes del día martes 11 de julio:
  Precipitación de nieve: 86,5 cm en la Base desde el inicio de la tormenta el 7 de julio
  Intensidad del viento: ráfagas superiores a los 100 km/h en la Cumbre en las direcciones predominantes Oeste y Noroeste
  Temperatura: +2°C a +3°C en la Base y -9,8°C a -0,1°C (en promedio –5°C) en la Cumbre
- Condiciones nivometeorológicas del día 11 de julio:
  Precipitación de nieve: nula (100 mm de lluvia) en la Base y entre 20 cm y 100 cm precipitados en la Cumbre
  Intensidad y dirección del viento: sin viento en base y de 60 km/h promedio (con ráfagas de hasta 108 km/h) en la dirección predominante del Suroeste
  Temperatura: +2°C a +3°C en la Base y +0,8°C a -3,9°C en la Cumbre.
- Actividad de Tiro 1 del CATEX de Marte Este:
  Día viernes 7 de julio, 2 veces: 12h51 y 18h14. Día sábado 8 de julio, 1 vez: 09h43. Día domingo 9 de julio, 2 veces: 06h34 y 16h12.
  Día lunes 10 de julio, 1 vez: 08h10.
  Día martes 11 de julio, 3 veces: 07h15, 17h00 y 21h50.
  Día miércoles 12 de julio, 4 veces: 02h41, 08h47, 14h29 y 19h50.
- Corte del teléfono el día martes 11 de julio a las 21h53, considerando que la línea telefónica va con el cable de seguridad de la TS Marte.
- Imposibilidad de ver (acceder) el (al) sitio de la avalancha hasta el jueves 13 de julio.
- Lista de los daños constatados sobre la TS Marte, vistos el día jueves 13 de julio:
  - Cable Este (de descenso) de la TS Marte descarrilado hacia el Este, desde la Motriz de Marte hasta la Torre 5 (Ver Figura 2);
  - Cable de seguridad colgando desde la Torre 4 hacia al lado Este de la pendiente (Foto n°1);
  - Daños sobre las poleas de la Torre 6;
  - Alrededor de 15 sillas dañadas ubicadas entre las torres 6 y 4 (Ver figura 3);
  - Motriz Acrílico roto sobre el motor;

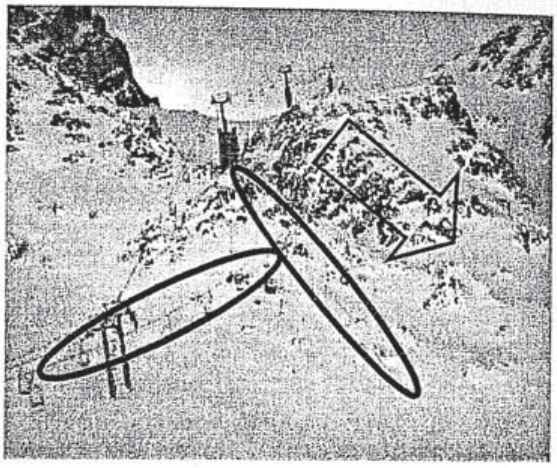


Figura 2. Cables dañados en Torre 5 Marte

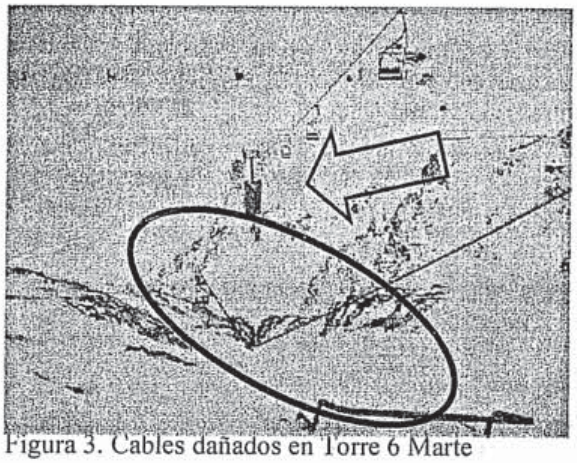


Figura 3. Cables dañados en Torre 6 Marte

- Observaciones sobre el estado de la nieve del día jueves 13 de julio:
  - Fractura de aproximadamente 40 cm y 60 m de largo sobre la ladera Este bajo un afloramiento rocoso (ver Fig. 4); sobre esta zona especial no existe un dispositivo de tiro.

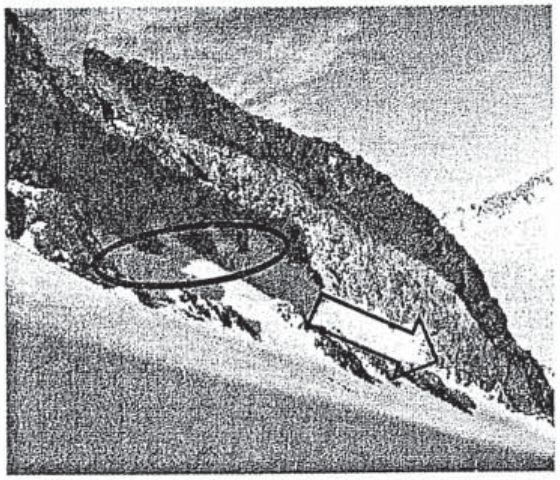


Figura 4. Fractura de Placa.

Traza de flujo de nieve entre las Torres 10 y 9 (esta última con una cuña metálica de protección) desde el lado Este al lado Oeste;

- Traza de flujo de nieve en la canaleta Convencional (lado Oeste) con pendiente importante (alrededor de 35°);

- Sin Traza de flujo de nieve en la canaleta del Americano (lado Este);

- Traza de flujo de nieve a nivel de la Torre 5 (con una gran cuña metálica) sobre el afloramiento rocoso entre las canaletas Convencional y del Americano;

- Traza de avalancha: pequeña sobre la Motriz de Marte y de gran recorrido llegando más allá de la Torre 4 de la TS Neptuno (ver Fig. 5).

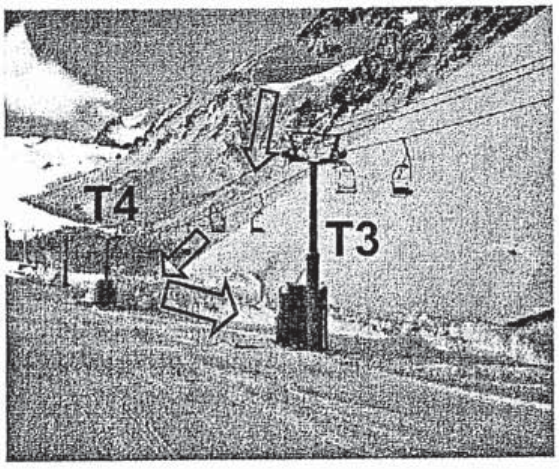


Figura 5. Zona de llegada de la Avalancha T 3 y T4.

Explicación de la avalancha

- La avalancha parte del Tiro 1 del Catex de Marte Este (altitud 3310 msnm) el día martes 11 de julio a las 21h50;
- Durante su pasaje suelta el anclaje inferior de la placa constatada bajo el afloramiento rocoso (altitud 3225 msnm);
- La avalancha va incorporando nieve reciente durante su descenso del lado Este de la TS Marte, creando un aerosol de gran espesor;
- El aerosol de esta avalancha sobre la canaleta empuja del conjunto de cables entre las Torres 4 (protegida por la cuña de hormigón) y 5 hacia abajo y descarrila el cable este (de descenso) desde la Torre 5 y corta el cable de seguridad (que permanece en la dirección de la avalancha) algunos minutos después del tiro;
- La margen derecha (Oeste) de la avalancha se extendió excepcionalmente hasta la Motriz de Marte;
- El gran flujo de nieve movilizada toma el cauce del río de Neptuno en forma de una avalancha densa y más lenta, dejando depósitos a lo largo de 1300 m bajo la TS Neptuno .

Proposición para la disminución del peligro de avalancha. Teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- ✓ La secuencia de tiros de desanclaje artificial realizados por el CATEX de Marte Este durante los días de esta tormenta han sido técnicamente correctos con el Tiro 1, debido a la imposibilidad, por condiciones de fuerte viento del Suroeste, de realizar el tiro manual 10 del Este en el filo de Marte, sobre la parte superior de la zona de fractura;
- ✓ La zona de inicio de la avalancha con la fractura constatada se encuentra bastante más abajo (85 m de desnivel) que la línea del CATEX de Marte Este;
- ✓ Un tiro manual en este lugar es imposible por las condiciones de acceso y seguridad;
- ✓ La modificación del CATEX (trazado y aumento de torres) parece difícil de realizar desde un punto de vista técnico.
- ✓ Si en esa zona debe tirarse bajo condiciones de tormenta, debería pensarse en un dispositivo de tiro fijo como el GASEX;
- ✓ Será importante también hacer un tiro de desanclaje más abajo que la línea del

CATEX, sobre el costado Oeste de la TS Marte (sobre los 3100msnm);

- ✓ Si el dispositivo del tiro anterior es instalado, será necesario realizarlo antes que el del CATEX de Marte Este, para poder purgar antes la parte inferior del corredor.

En síntesis, la avalancha del día martes 11 de julio a las 21h50 en el corredor de la TS Marte fue iniciada por el tiro 1 del CATEX después de varios tiros en todo el corredor.

Para reducir la intensidad de las avalanchas sobre el corredor de Marte, se deberá tirar más debajo de la línea del CATEX actual con un dispositivo como el GASEX, no sólo en el lado Este donde se soltó la avalancha sino también en el lado Oeste del corredor de Marte.

9 CONCLUSIONES

La información que se describe aporta datos útiles que se espera sirvan de base para el desarrollo de nuevos métodos de ayuda en la predicción de ocurrencia de avalanchas de nieve.

El nuevo modelo sustenta teóricamente muchas de las ideas que se consideran en el campo de experimental sobre predicción de avalanchas.

El mecanismo presentado sugiere la necesidad de reevaluar estudios e informes realizados bajo esta nueva perspectiva.

10 REFERENCIAS

[1] Rapin, F, French theory for the snow avalanches with aerosol. Université européenne sur les risques naturels. Niege et avalanches.Cemagref editions. 1995.

[2] Chritin, V, M, Rossi, A l'écoute des avalanches. Neige et avalanches, 78, 2-7, Cemagref editions, 1997.

[3] Furdada, G., Estudi de les allaus al Pirineu Occidental de Catalunya: Predicció espacial i aplicacions de la cartografia, Geoforma ediciones S.L.,Logroño, 1996.

[4] J. Heierli, P. Gumbsch, M. Zaiser. "Anticrack Nucleation as Triggering Mechanism for Snow Slab Avalanches," Science, Vol. 321. no. 5886, pp. 240-243, 11 July 2008.

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

www.enidi2008.frm.utn.edu.ar

ISBN 978-950-42-0104-5