Desarrollos e Investigaciones Científico-Tecnológicas

Selección de Trabajos presentados en el Encuentro de Investigadores y Docentes de Ingeniería. EnIDI 2006

Editores
Selva S. Rivera
Jorge E. Núñez Mc Leod

UTN
ad Regional San Rafael
ad Tecnológica Nacional

UTN
Facultad Regional Mendoza
Universidad Tecnológica Nacional

Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria

FACULTAD DE INGENIERIA
en acción continua...

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO
MENDOZA ARGENTINA

Desarrollos e Investigaciones Científico-Tecnológicas en Ingenierías

2006

Desarrollos e Investigaciones Científico-Tecnológicas en Ingenierías

Copyright © Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional de Cuyo, 2006. 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.

Primera edición: Octubre 2006

Fotografía de Tapa: Jorge E. Núñez Mc Leod

Puente del Inca – Mendoza – Julio de 2006

Ubicado en la Cordillera de Los Andes, a 2.720 metros sobre el nivel del mar. Posee 47 metros de largo, 28 metros de ancho y una altura máxima de 27 metros. Se trata de una formación natural con una grieta de agua termal que se encuentra aún hoy otorgándole el característico color amarillento debido al gran contenido de azufre. El nombre "del Inca" se debe a que esta cultura lo frecuentaba para el uso de sus aguas termales con fines curativos.
En 1925 se construyó un lujoso hotel donde cada habitación poseía su propio baño termal y era visitado por importantes personalidades del momento. En 1965 fue destruido por un alud permaneciendo abandonado hasta la actualidad.

Impreso en 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 2006, Mendoza Argentina

Octubre 2006

Desarrollos e Investigaciones Científico-Tecnológicas en Ingenierías

Editores

Selva S. Rivera

Jorge E. Núñez Mc Leod

Facultad Regional Mendoza
Universidad Tecnológica Nacional

FACULTAD DE INGENIERIA
en acción continua...

Facultad Regional San Rafael
Universidad Tecnológica Nacional

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

Decanos

Facultad de Ingeniería – UNCuyo	Ing. Eduardo Manfredi
Facultad de Ciencias Apl. a la Ind. – UNCuyo	Ing. Fabio Tarántola
Facultad Regional Mendoza – U. T. N.	Ing. Eduardo Balasch
Facultad Regional San Rafael – U. T. N.	Ing. Horacio P. Pessano

Secretarías de Ciencia, Técnica y Posgrado

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

Comité Organizador

Facultad de Ingeniería – UNCuyo	Dra. Ing. Selva S. Rivera
Facultad de Ingeniería – UNCuyo	Dr. Ing. Jorge E. Núñez Mc Leod
Facultad Regional Mendoza – U. T. N.	Dr. Ing. Salvador E. Puliafito
Facultad Regional Mendoza – U. T. N.	Dra. Ing. Noemí G. Maldonado

Comité Científico

Dr. Francisco Crisafulli	Facultad de Ingeniería - UNCuyo
Dr. Hugo Martínez	Facultad de Ingeniería - UNCuyo
Lic. Selva Ugarte	Facultad de Ingeniería - UNCuyo
Dr. Ernesto Muñoz Puntes	Fac. de Cs. Apl. a la Ind. - UNCuyo
Dr. Raúl Chernikoff	Fac. de Cs. Apl. a la Ind. - UNCuyo
Dra. María Esther Balanza	Fac. de Cs. Apl. a la Ind. - UNCuyo
Dra. Alicia Lucía Ordóñez	Fac. de Cs. Apl. a la Ind. - UNCuyo
MSc. Lidia Cecilia Catalán	Fac. de Cs. Apl. a la Ind. - UNCuyo
Ing. Mario Distéfano	Facultad Regional Mza. - U. T. N.
Dra. Ing. Noemí Maldonado	Facultad Regional Mza. - U. T. N.
Dr. Raúl Pérez	Facultad Regional Mza. - U. T. N.
Dr. Ing. Carlos Puliafito	Facultad Regional Mza. - U. T. N.
Dr. Ing. S. Enrique Puliafito	Facultad Regional Mza. - U. T. N.

PREFACIO

Nuestro mundo actual, y sobre todo nuestro país y nuestro medio necesitan del ingenio, de sus investigadores y docentes, en un contexto comprometido con la realidad de la sociedad, y donde se avance hacia mejorar la calidad de vida de los miembros de esa sociedad. Esta responsabilidad resulta básica a los ingenieros que investigan, pero mucho más marcada en aquellos que lo hacen en el marco de las Universidades Nacionales, donde muchas de sus tareas dependen de la sociedad que la sostiene.

Este libro contiene los trabajos seleccionados y aprobados por evaluación de pares para su presentación en el ENIDI 2006. Este año el Encuentro de Investigadores y Docentes en Ingeniería se encuentra en la segunda edición, y tal como fuera el año anterior, la Universidad Nacional de Cuyo y la Universidad Tecnológica Nacional han aunado sus esfuerzos para concretar este Encuentro.

La novedad más importante de esta edición, es que participan dos nuevas dependencias académicas. A la Facultad de Ingeniería de la UNC, y a la Facultad Regional Mendoza de la UTN, se han agregado la Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria, de la UNC y localizada en San Rafael, y la Facultad Regional San Rafael de la UTN. Con gran alegría mostramos al medio los avances realizados en estas cuatro unidades académicas, con lo que logramos un alcance regional para este ENIDI.

Es nuestro deseo continuar con el proceso de regionalización, y esperamos que futuros encuentros involucren desarrollos e investigaciones de las otras Facultades de Ingeniería de nuestro medio y nuestra región, en el convencimiento de que estos Encuentros tienen un poder multiplicador que permite potenciar cada experiencia individual.

Mendoza, Octubre de 2006

Jorge H. Barón
Alejandro P. Arena

PREFACIO DE LOS EDITORES

Este volumen reúne una selección de trabajos que superaron un proceso de revisión por pares y que representan un esfuerzo coordinado de investigadores y docentes de 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 presentando a la comunidad de pares y a la comunidad en general el resultado de sus trabajos de investigación.

La publicación de estos trabajos ha sido posible gracias al apoyo institucional de las cuatro Unidades Académicas 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 concluidos o en curso.

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

Los editores queremos agradecer especialmente el apoyo y soporte recibido de los Secretarios de Ciencia y Técnica de las cuatro Instituciones, Dr. Ing. Jorge H. Barón (FI-UNCuyo), Dr. Ing. Pablo Arena (UTN-FRM), Dra. Ing. Ordóñez Yapur (FCAI-UNCuyo) y Ing. Felipe Genovese (UTN-FRSR), 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 espectativas planteadas durante la organización tanto del EnIDI 2006 como de la presente publicación.

Asimismo queremos agradecer el apoyo recibido desde los Decanatos de ambas Facultades, en las personas del Ing. Eduardo F. Manfredi (FI-UNCuyo), el Ing. Eduardo Balasch (UTN-FRM), el Ing. Fabio Tarántola (FCAI-UNCuyo) y el Ing. NN (UTN-FRSR).

En otro sentido queremos agradecer a todos aquellos que en general aportaron de si para que esta inciativa se concretará y especialmente al Ing. Leonardo Euillades por su soporte.

Queremos extender un amplio reconocimiento a los profesionales de ambas instituciones 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.

Dra. Ing. Selva S. Rivera
Dr. Ing. Jorge E. Núñez Mc Leod
Editores

TABLA DE CONTENIDOS

Sistema de información académico multifuncional 1
A. Ranzuglia, S. Perez, J. Quiroga, A. Ceccoli & S. Arbona

Modelo de crecimiento poblacional y económico: determinación de las emisiones de carbono 7
S.E. Puliafito

Utilización de terrenos con rellenos sin control para viviendas sociales en zona de elevado riesgo sísmico 15
I.A.Maldonado, N.G.Maldonado, G. Balverde, H.Giraud, J.Cueto, M.Chogriz & L.Salas Cayol

Aislamiento sísmico para controlar los efectos de los terremotos sobre las construcciones 21
M. E. Tornello & M. Sarrazin Arellano

Diseño y construcción de simetrizadores para antenas dipolares de banda ancha en VHF y UHF 29
M. A.Garro & C. M. Puliafito

Cálculo de Productos Matriciales en Cluster Beowulf 37
N. Costa, C. Catania, C. García Garino, O. León & M. Silva

Relación actualizada entre la aceleración del suelo y la Intensidad Mercalli Modificada para la zona norte de la Provincia de Mendoza 45
E.O. Silva, G. Gioacchini & S.D. Panella

Diagnóstico, análisis y propuestas de mejora en la gestión de las organizaciones y empresas mendocinas 53
M. E. Pósleman de Sícoli, A. D. Cantú, J. L. Moreno & P. Acosta

Reconocimiento de vehículos terrestres mediante visión artificial y una red neuronal perceptrón 61
J. A. Laporte, J. F. Fernández & H. D. Patino

Diseño y programación de aplicaciones para Grid Computing 69
J. Monetti, C. García Garino & O. León

Herramientas de pre y postprocesamiento del solver Semiloof en GiD 77
C.J. Leiva & J.C. Pina

Modelo de simulación de la Central Nuclear Atucha I para la gestiónde accidentes severos con el código Melcor 1.8.5 85
J. E. Núñez Mc Leod, E. González Videla & L. Pomier Baez

Gestión de los residuos generados en el análisis de la materia orgánica mediante la Demanda Química de Oxígeno 93
M. Bittar, S. Ugarte, C. Quiroga, J. Fernández Llano, M. Arreghini, L. Ferrer & C. Nadal

Una estación meteorológica en la Presa El Carrizal 99
P.S. Infante, L.M. Magistocchi, P.G. Espina & C.L.F. Dávila

Características de la descomposición isotérmica de la fase beta Cu-Zn-Al (Zr) 107
A. M. Furlani, A. H. Dávila, M. Stipcich & R.Romero

Mecanismos de cinética de generación de HMF en miel durante elalmacenamiento. 115
A.L. Ordóñez, M. E. Balanza, C. A. Flores & M. B. Barrera

Pronóstico de la demanda en entornos multiproducto 123
J. F. Roig Zamora, M. Camargo Pardo & R. Q. Forradellas Martínez

Influencia del diámetro de tubo de evaporadores de circulación forzada sobre la transferencia de calor 131
L. A. Rubio, E. Muñoz Puntes, S. A. Sini & H. N. Possa

Evaluación de la habitabilidad en viviendas de interés social 137
N. F. Pizarro, N. G. Maldonado & R. J. Michelini

Análisis de deformación espacio-temporal de Mendoza mediante interferometría SAR diferencial: primeros resultados obtenidos con datos ENVISAT 145
P.A. Euillades, M.H. Blanco, L.D. Euillades, G.A. Cabrera, F. Casu & A. Pepe

Agentes Inteligentes para Manufactura Integrada por Computadora 153
M. G. Marchetta & R. Q. Forradellas

Análisis de la cinética de degradación de fracciones de petróleo por biorremediación de suelos contaminados con petróleo. 161
A. Gaido; C. Severi; B. Mermet; A. Somonte

Deposición electroforética de óxidos sobre distintos sustratos: caracterización de suspensiones y recubrimientos. 167
M.J. Santillán , F. Membrives, E. Muñoz Puntes, A.R. Boccaccini & N.E.Quaranta

Diseño y simulación de un motor Stirling 173
L.S. Scollo

Electrónica de Superficie del Observatorio Pierre Auger: Aportes para la implementación de una línea de producción. 181
B. García, M. Videla, L. Gonzalez, C. Cruciani, J. Maya, J.P. Góngora, J. P. Gurrieri, R. Ibáñez, C. Rumbo, M. Santander

Herramienta Computacional para la comprensión del comportamiento dinámico de sistemas de varios grados de libertad 189
A. M. Gauna Orpianesi, G. J. Canizzo Julián, T. Schnetzer & E. Villafañe

Indicadores biológicos en cuerpos de agua del sur de Mendoza. 195
M. E. Balanza, A. L. Ordóñez & M. E. Santibáñez

Rotación específica como herramienta de control de genuinidad de miel de flores. 203
M. E. Balanza, A. L. Ordóñez & M. V. López

Vulnerabilidad sísmica de un edificio educacional. Propuesta de una metodología para plantear medidas correctivas. 211
N. D. Aguera, J.C. Palencia, M. Tornello

Articulación de sistemas de representación en la competencia de resolución de problemas 217
A. Schilardi, G. Cuadrado & C. Bello

Los disipadores de energía por plastificación de metales en el diseño por capacidad G. L. 223
Palazzo, F. Crisafulli & F. López Almansa

Accidentes mortales en líneas de alta tensión 231
D. Pujadas

Sistemas de medición para la evaluación y disminución del riesgo de ocurrencia de avalanchas de nieve en las Leñas (Mendoza, Argentina) 239
H. Martinez, R. Haarth & M. Distéfano

La presa de Valle Grande a 41 años de su inauguración 247
F.A. Di Lello

Análisis de un instrumento para la recolección de datos perteneciente a un modelo de evaluación de cátedra. 255
D. F. Pujadas

Utilización de plástico recuperado en la conformación de placas deaglomerado de madera. 261
A. Rivarola, L. Rojo, P. Arena

Formulación de matrices de masas concentradas para análisis dinámico de estructuras de materiales compuestos 267
R. Zaradnik, S. Raichman & A. Mirasso

Estado de avance en la transferencia de tecnologías solares a una comunidad en situación de riesgo social. 275
A. Albornoz, M. Gardey Merino, A. Herrerías, M. Stanziola, P. Arena.

Instrumento certificador de conexionado eléctrico para detectores de superficie del Observatorio Pierre Auger. 283
A. Lucero, C. Rumbo, B. García, A. Risi.

Calculo del coeficiente volumétrico, G, de pérdidas de calor enviviendas 291
G. R. López, L. R. Álvarez, J. F. Fernández & M. M. Ciravegna

Consideraciones sobre el impacto del uso del suelo en estudios de Análisis de Ciclo de Vida conducentes a la definición de indicadores 299
B Civit & P Arena

Determinación del aislamiento acústico normalizado de un muro construido con bloques de hormigón rellenos con arena. 305
C.E. Boschi, S.G. Acosta, A.F. González, A. Esteves

Caracterización de residuos de la construcción. Aplicación de los índices de generación a la gestión ambiental 313
I.T. Mercante

La Morfología de los Espacios Públicos: Aspectos relevantes para el Confort Climático Urbano 321
F. R. Bochaca & S.E. Puliafito

Optimización de la tecnología de obtención de bioetanol integrado al aprovechamiento del helianthus tuberosus 329
F.R. Tarántola, A.A. Roggiero & S.V. Dimarco

Técnicas de Optimización Colaborativa en Logística 335
R. R. Palma, R. Forradellas & L. Morel Guimaraes

Regiones cercanas a fallas activas para la zona sísmica 4 de la República Argentina C. D. 343
Frau, R. Saragoni H., L. Torres, C. Contreras, A. Figueroa & E Brandolín

Sistema de información académico multifuncional

A. Ranzuglia, S. Perez, J. Quiroga, A. Ceccoli & S. Arbona
aranzuglia@frm.utn.edu.ar, santiagocp@frm.utn.edu.ar, javierromanquiroga@gmail.com, aerialblue@gmail.com & malvenido082@gmail.com
LIREDAT (Laboratorio de Redes de Datos),
Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional

RESUMEN: El objeto del trabajo de investigación y desarrollo, se trata de un sistema de información como instrumento de soporte administrativo y seguimiento académico, que incorpora todas las funcionalidades tecnológicas disponibles de desarrollo y programación, en la plataforma Internet, para cursos, conferencias, investigación, y demás actividades de los ambientes académicos. Precisamente, muy pocas comunidades académicas aprovechan los beneficios y ventajas de las tecnologías actuales para gestión administrativa y académica, facilitar la comunicación con otros miembros de la comunidad, y estudiar de forma presencial o a distancia.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 *Antecedentes*

En la actualidad muy pocas comunidades dedicadas a la enseñanza y/o capacitación, docentes y alumnos aprovechan los beneficios de Internet para tener la posibilidad de consultar sus datos y contenidos, gestionar trámites administrativos y académicos, comunicarse con otros integrantes de la comunidad, estudiar a distancia; lo cual es muy importante para vencer los limites de distancias y tiempo.

1.2 *Breve Descripción*

El sistema consiste en un WEBApps (sistema o aplicación WEB) que proporciona un espacio de información y comunicación para el desempeño de las actividades de capacitación y enseñanza a través de Internet. Se caracteriza por brindar la posibilidad de reunir en un mismo espacio virtual a diferentes personas, coordinar tareas comunes e intercambiar conocimientos ya que es una herramienta que borra todas las limitaciones de tiempo y distancia. Asimismo, permite la publicación de noticias, novedades e información de interés en forma ágil y sencilla; disponer de una agenda compartida de actividades y otorgar los medios necesarios para foros de debate y chats

1.3 *Beneficios del sistema*

Los beneficios más importantes de este software son la reducción de los costos a la hora de agrupar a los integrantes de una organización, otorgando efectividad, y el fortalecimiento de la relación entre los integrantes de la comunidad; utilizando de manera natural los recursos tecnológicos actuales. Esta es un propuesta que le otorga más y mejores servicios, llegando hasta donde esta el propio interesado, evitando costos de traslado, borrando las distancias, posicionando a la institución para enfrentar los nuevos desafíos de la educación con nuevas tecnologías. Además se considera en su importancia la ampliación de la demanda, dado que se puede llegar a ciudades de la

región de influencia con propuestas de educación presencial y/o a distancia.

1.4 *Investigación de Tecnologías*

En el sistema llamado "Aconcagua" [6], se ha incluido la investigación de tecnologías recientes a nivel mundial, entre ellas Enterprise JavaBeans 3.0 [1], lanzada en forma oficial en febrero de este año, la que se ha estudiado y probado. Ha sido incluida en el proyecto a modo de testing y se han encontrado resultados excelentes. Las mejoras respecto de las versiones previas han sido suficientes para, por ejemplo:

- Simplificación de desarrollo
- Mejores tiempos de respuesta
- Adaptación armoniosa con las reglas del negocio diseñadas
- Capacidad de herencia en clases que representan entidades en el dominio natural del problema

Además, se ha investigado sobre el estandar XML [2] (XML Metadata Interchange) versión 2.1 utilizado para la descripción de UML [3] (Lenguaje de Modelado Universal) en el proceso de análisis y diseño del sistema.
De igual forma, se trabajó sobre el uso de herramientas del tipo Case para el desarrollo acelerado del proyecto. Específicamente, se ha elaborado una herramienta propia que además acelera la etapa de diseño en forma conjunta.
Finalmente, se ha propuesto la investigación de la interacción entre todos los componentes para lograr un funcionamiento integral y multifuncional.

1.5 *Marlin – Case de desarrollo propio* [7]

Marlin – Case, es una herramienta del tipo Case para permitir la documentación de Casos de Uso (herramienta más poderosa en UML), y a partir de ello, generar documentación, reglas del negocio e interfaces en formatos o tecnologías estándares.
Se ha desarrollado íntegramente en forma propia, se encuentra en versión preliminar y utiliza las tecnologías antes mencionadas, y

- UML, XMI, diseño orientado a objetos
- Enterprise JavaBeans 3.0
- JavaServer Faces 1.2 [4][5]

Se diferencia del resto de las herramientas Case por el hecho de estar basada en objetos y UML en lugar de estar basada en una estructura relacional de tablas de bases de datos (paradigma estructurado). Permite la generación de código fuente en cualquier lenguaje (Java, .Net, PHP, etc), cualquier tecnología (EJB, JSF, .Net framework, etc) y cualquier arquitectura (2 capas, 3 capas, MVC, etc).
El proceso de generación está compuesto por varias etapas, en las cuales se pueden introducir o solicitar información parcial a fin de interactuar con el mecanismo de generación.

2 EL SISTEMA

2.1 *Descripción detallada*

Se ha planteado un trabajo de investigación y desarrollo, aplicando ingeniería WEB, para obtener un programa que permita el seguimiento administrativo y académico, entre otras funcionalidades, para la enseñanza y capacitación de cursos de baja y mediana envergadura, para casos presenciales y/o distancia.
Inicialmente, se propuso estudiar el estado actual del arte sobre las herramientas de desarrollo de sistemas, y los programas y herramientas existentes con fines académicos-administrativo. Además, aunque nunca estuvo definitivamente establecido, se evaluó detenidamente el uso del lenguaje de programación Java, dado que permite el desarrollo multiplataforma, el acceso a las aplicaciones por parte de cualquier usuario que lo desee, sin importar el sistema operativo o el equipo que esté utilizando, asegurando el ingreso de usuarios a las distintas aplicaciones de la página web, sin limitaciones de tipo técnica.
El software brinda gran flexibilidad de configuración mediante su entorno administrativo, proporciona una interfaz de usuario clara y provee manejo intuitivo, y es tecnológicamente seguro y confiable.

2.2 *Funcionalidades generales*

Preliminarmente se fijó algunas pautas mínimas del software: para permitir la comunicación entre docentes y alumnos, intercambiando información administrativa como horarios, calificaciones, eventos y mensajes, e información académica como archivos con contenidos de materias, resúmenes, trabajos prácticos, etc; brindar la posibilidad de realizar la gestión administrativa relacionada con

docentes y alumnos, manejando la información de inscripciones de alumnos, incorporación de materias, habilitación de nuevas carreras; maximizar la relación entre los integrantes dentro del ámbito académico, utilizando foros de debate y discusión, con la incorporación de conclusiones y opiniones de los usuarios, así como también proporcionando un ámbito de discusión (Chat); los cuales complementan las clases presenciales; permitir que cada carrera administre su propio espacio virtual sin necesidad de que intervenga personal de informática; disminuir los errores de comunicación, mejorando los tiempos entre el momento que se generan los datos y que se publican; y un organizador de actividades

2.3 *Funcionalidades detallas*

Entidades, pisos, aulas

- Crear, modificar y eliminar entidades
- Definir en forma sencilla la distribución de los pisos en cada entidad y las aulas en cada piso. Numerar, permitir modificación y eliminación. Permitir deshabilitar temporalmente debido a clausuras o demás
- Administrar anexos y pisos y cursos para esos anexos, los anexos deben tener domicilio, y teléfonos con sus respectivos internos, tal como si fuera una entidad. Un anexo es una entidad dentro de una entidad principal.
- Relacionar las aulas (posiblemente los pisos) destinados a las distintas especialidades en cada entidad.
- Teléfonos – Internos -. Áreas – E.Mails
- Información institucional como: Autoridades, Rector, Historia, Anexos, Imágenes de la universidad
- Noticias y proyectos de la entidad misma. Anuncios a nivel general en el que se puedan subir documentos. Por ejemplo es el caso del ingreso
- Limitar el cupo de ingreso de acuerdo a las aulas disponibles
- Asignar personal de mantenimiento, con aviso para realizarlo
- Asignar aulas según la cantidad de alumnos de la manera mas optima posible
- Clasificar aulas de acuerdo a sus herramientas o recursos con los que cuenta, tales como computadoras, tableros de dibujo, elementos para experimentos químicos.
- Llevar un historial de cada aula, con las refacciones que se le han realizado y el estado de esta (funcionamiento adecuado de equipos, ultima vez que fue pintada, etc.)
- Posibilidad de cargar entidades dentro de entidades como el caso de la Academia Cisco o la Academia Oracle (en realidad permitir compartir establecimientos haciendo referencia a edificios, por el resto son entidades separadas, y administrativamente están relacionadas para la cobranza pero esta fuera de los limites del sistema)
- Describir de alguna forma las diferencias entre aulas, laboratorios, salones, oficinas, etc. Indicar equipamiento disponible. Responsable, generalizar lugares. Descripción de lugares

<u>Biblioteca</u>

- Cargar libros, trabajos, tesis, algunos pueden retirarse otros solamente pueden ser consultados.
- Definir políticas para el alquiler de un libro.
- Definir políticas para las sanciones.
- Asociar personas. Imprimir carnets.
- Consultar alquilar libros ver moras

Alumnos, traslados

- Crear y modificar alumnos. No es posible eliminarlos (ver Figura 1)
- El mismo alumno en entidades distintas debe ser reutilizado
- Permitir traslados entre carreras afines de distintas entidades. Debe ingresarse el estado en la nueva entidad ya que no se registra la cantidad de materias que se reconocen. Permitir definir cuando es posible trasladar alumnos y reconocer materias, en caso contrario no se reconocen materias por entender que son carreras distintas
- Definir rangos de números de legajos para los alumnos de acuerdo a la especialidad
- Los alumnos podrán consultar información personal mediante ingreso de usuario y clave. Posibilidad de consultar estado académico: materias aprobadas/aplazadas, por rendir, por cursar
- Establecer un registro de asistencias de cada alumno en cada materia

- Indicar quien está abonando por un alumno en particular, si es que la carrera o curso es pago. Posibilidad de indicar si son entidades físicas o jurídicas
- Posibilidad de emitir un del estado del alumno, para poder armar un CV del mismo
- Armar orden de meritos de los alumnos (falta detallar un poco mas)

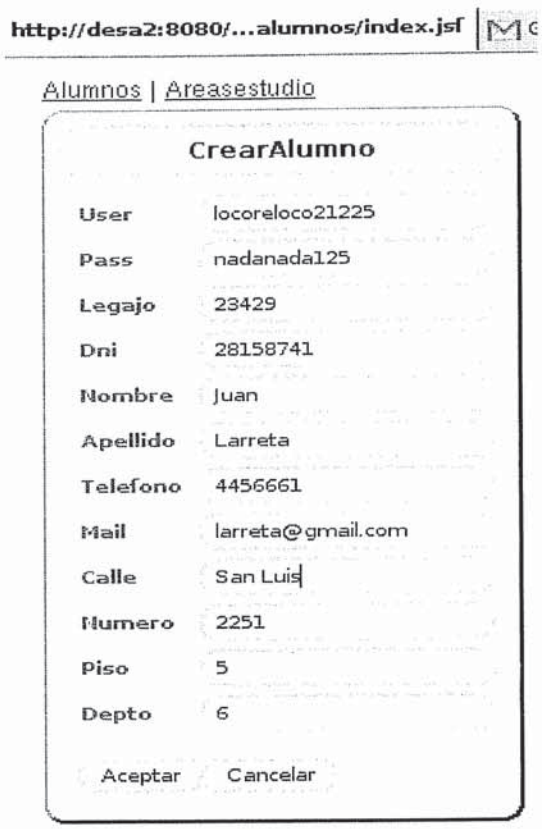


Figura n° 1 Imagen del menú de trabajo Alumnos

- Otorgar becas a alumnos que cumplan con los requerimientos, de manera automática de acuerdo a las solicitudes presentadas por estos.
- Brindar premios o menciones a alumnos destacados por su desempeño. Permitir realizar esta selección de manera automática. Creo que debe poseer algún carácter subjetivo, como la participación en clase, por esto debe quedar algo así como pendiente hasta darle una calificación final
- Posibilidad de realizar estadísticas con la cantidad de alumnos recibidos en un periodo determinado, conocer el promedio general que se tiene, en este momento, de los alumnos del establecimiento

Materias, cursos, dependencias entre los mismos. Especialidades, planes de estudio, nivel educativo

- Crear y modificar planes de estudio. Deshabilitarlos cuando se crean nuevos planes de estudio para la misma especialidad. Definir el nivel educativo: secundario, terciario, universitario. Definir el grado: grado, postgrado, pregrado
- Crear especialidades, deshabilitarlas de ser necesario. Vincularlas a los planes de estudio y las entidades
- Crear y modificar materias en cada plan de estudio. Una materia puede ser compartida en mas de un plan de estudio
- Definir cursos con una o mas materias, en este caso el curso reemplaza el plan de estudio. Indicar cantidad de alumnos máximo en las materias para obtener eficiencia educativa
- Establecer dependencias entre materias de un curso o un plan de estudios. Indicar dependencias para cursar como oyente, regularizar o aprobar
- Definir profesores que dictan esas materias y profesores que están a cargo de la misma.
- Indicar el porcentaje de asistencia mínimo (a veces se define la cantidad de clases mínimas)
- Permitir definir encuestas para la finalización de cada curso, materia y carrera (puede estar relacionado con el armado de encuestas generales, simplemente que estas deben realizarse obligatoriamente al finalizar un cursado)
- A crear una materia se genera un apartado en el foro para discutir los temas de la materia, y los profesores de la misma son los moderadores del foro

Exámenes

- Crear y modificar mesas de exámenes. Vincular a planes de estudio
- Verificar las condiciones necesarias para que los alumnos se inscriban a la mesa o rindan exámenes de cursos: cuotas necesarias, correlatividades, asistencias
- Almacenar información correspondiente al examen: tribunales disponibles, instructores, fechas, horarios

- Guardar un historial de exámenes por materia
- Definir exámenes privados y públicos. Los públicos pueden utilizarse para estudiar. Un examen privado puede pasar a ser público
- Definir encuestas para obtener retroalimentación sobre los exámenes (crear como encuesta general y vincular al examen)
- La posibilidad de que el alumno pueda ver sus exámenes

Calificación, estrategia de evaluación

- Por cada materia, curso dictado y departamento, mantener el modo de calificación, especificando la escala y el modo de obtener la calificación final
- Detallar la forma de llevar a cabo las evaluaciones: por Internet o personalmente
- En las estrategias de evaluación indicar la modalidad y posibilidad de recuperatorios
- Generar promedios y almacenarlos para futura referencia. Incorporar sistema de evaluación genérico como el indicado por el ministerio de educación
- Generar premios por mejor promedio y definir si es por ciclo lectivo, materia, examen, etc.

Aranceles, facturación, deudas

- Mantener un registro de los pagos realizados por cada alumno. Incluir las cuotas que van agregándose a su cuenta. Agregar posibles aranceles extraordinarios que podrían ser continuos o por única vez
- Elaborar un informe periódico con la información de moras y avisar a quien corresponda de la misma
- Vincular a las estrategias de evaluación las posibilidades de rendir de acuerdo al estado de la cuenta de cada alumno

Requisitos iniciales

- Definir los requisitos que debe cumplir una persona para ingresar a una carrera o curso. Ya sea nuevo o trasladado. Incluir algo semejante a los kits y generar deuda extraordinaria
- En caso de ser un traslado establecer las materias, cursos o niveles que pueden ser aceptados como aprobados y aquellos que pueden ser aceptados como cursados. Posiblemente establecer requisitos de pruebas nivelatorias o de aseguración de conocimientos

Pasantías, becas

- Crear, modificar y eliminar becas y pasantías
- Vincular a empresas, laboratorios, equipos de investigación. En el caso de las becas indicar el porcentaje de bonificación de las mismas. Para las pasantías indicar si son rentadas o no.
- Establecer condiciones necesarias para la suscripción y mantenimiento de las mismas (becas)
- Enviar automáticamente un correo a los alumnos de acuerdo a su nivel académico actual sobre las posibles pasantías que se ofrecen para este nivel.
- Incluir el perfil que se solicita para el caso de las pasantías
- Permitir generar necesidades de pasantes (bolsa de trabajo) para que las empresas y demás establezcan los requisitos y de esta forma llegar a mas personas aparte de los alumnos de las entidades administradas

Contenidos, armado de exámenes

- Publicar obligatoriamente programa de cada una de las materias o cursos
- Almacenar todo el contenido necesario para una materia o curso
- Permitir ingresar vínculos a sitios de Internet e inclusive archivos especiales
- Permitir crear y registrarse en un foro. Definir un mediador para cada foro creado
- Asociar los contenidos a las materias y dividir en unidades
- Categorizar contenidos: material teórico, aplicaciones prácticas, documentos de apoyo, estudios de caso e investigaciones
- Publicaciones o newsletters por cada materia. Su contenido puede ser automático de acuerdo a las actualizaciones sufridas en cada materia. Incluir noticias de las materias, proyectos, grupos de investigación, etc
- Permitir subir material realizado por alumnos y publicarlos en la materia o curso
- Definir preguntas o ejercicios para cada unidad

del programa de la materia o curso, clasificándolas por MCSA, MCMA, desarrollo, práctica, etc. y por dificultad. Incluir el tema que se está evaluando en la pregunta
- Armar exámenes manualmente o automáticamente seleccionando de un conjunto precargado, posiblemente asignándoles un peso a cada pregunta y/o orden aleatorio
- Buscador de contenidos
- Armar exámenes eligiendo unidades cantidad de preguntas y dificultad por unidades y la posibilidad de armar distintos temas (exámenes distintos por temas, tema 1,2,3,4)

Grupos de investigación

- Crear y modificar grupos de investigación
- Establecer los requisitos necesarios para el ingreso a los grupos
- Mantener información de sus integrantes, sus roles dentro del grupo, objetivos y seguimiento de las actividades
- Verificar automáticamente requisitos relacionados con la información que lleva el sistema
- Generar pagina para el grupo de investigación, generar sección en el foro. Subir información archivos, documentos, estos documentos que puedan ser públicos o privados.

Profesores, consejo, directores, bedeles

- Llevar un registro del personal de cada entidad, siempre que sea necesario para las actividades educativas. Considerar función, datos personales, cursos, carreras, profesión, etc
- Registrar periodos de licencia y vacaciones
- Almacenar y publicar el régimen de los horarios de consulta de cada docente
- Posibilidad de que el profesor cargue datos estilo currículo y que por ejemplo en las paginas donde el sea profesor de una materia se pueda ir a su pagina

Actividades extracurriculares, charlas, conferencias

- Administrar la registración de personas
- Publicar cada una de estas actividades e indicar datos como aranceles, requisitos, certificados de asistencia y aprobación
- Permitir generar certificados de asistencia

Asistencias, sanciones, estrategias ante sanciones y asistencias, regularidad

- Llevar un control de las sanciones, suspensiones
- Definir límite de acuerdo a la cantidad y tipo de sanciones
- Indicar cuando suspender y cuando echar
- Establecer y publicar condiciones para sancionar, suspender y echar
- Comunicar al sancionado, suspendido sobre la medida aplicada, la duración de la misma y las consecuencias
- Determinar a que se aplica la asistencia, si es a materia, periodo, ciclo lectivo, etc
- Generar premios como asistencia perfecta

Ciclo lectivo, división en períodos, mesas y fechas especiales, receso

- Establecer los ciclos lectivos, recesos, etc para cada entidad
- Indicar qué actividades se suspenden y cuales permanecen funcionando durante un receso
- Comunicar a los alumnos y personal las fechas de inicio y finalización, mesas, fechas especiales o alguna modificación a estos. Establecer la antelación para avisar.

3 REFERENCIAS

[1] http://java.sun.com/products/ejb/
[2] http://www.omg.org/technology/documents/formal/xmi.htm
[3] http://www.uml.org/
[4] http://java.sun.com/javaee/javaserverfaces/
[5] http://java.sun.com/javaee/

Modelo de crecimiento poblacional y económico: determinación de las emisiones de carbono

S.E. Puliafito
epuliafito@frm.utn.edu.ar
Universidad Tecnológica Nacional / CONICET

RESUMEN: El aumento de las concentraciones de dióxido de carbono en la atmósfera está incrementando el efecto invernadero adicional, que parece manifestarse actualmente como una aparición más frecuente de eventos climáticos locales o regionales severos, tales como sequías, incendios, inundaciones, tornados y huracanes de gran intensidad; o el aumento en la frecuencia de eventos globales tales como el llamado "efecto del Niño", la destrucción de la capa de ozono, aumento de la temperatura media, etc. Este artículo desea realizar un aporte en la modelación de las variables principales en la determinación de la evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial, esto es, determinar cuáles son los principales factores que modulan este aumento. Para ello se propone un nuevo modelo conceptual que vinculan el crecimiento poblacional, el crecimiento económico, el consumo de energía primaria y las emisiones de carbono, producto de la actividad humana. Este modelo pretende ayudar a establecer nuevos escenarios y comprender la interrelación entre estas variables de estados calves en los procesos de urbanización.

1 INTRODUCCIÓN

Desde el ámbito político internacional se han instrumentado varias iniciativas multinacionales científicas y administrativas a fin de ponderar el verdadero impacto de las emisiones de dióxido de carbono y evaluar posibles medidas de mitigación y adaptación ante futuros cambios. El Panel Internacional sobre Cambio Climático (IPCC) [1,2] ha normalizado una metodología de cálculo usando datos sociodemográficos, PBI, volúmenes de consumo y factores de emisión a fin de evaluar la situación de las emisiones mundiales de Gases de Efecto Invernadero (GEI). En el plano científico se destacan varios programas mundiales como el International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP) [3], el International Human Dimensions Programme on Global Change (IHDP) [4], el Global Carbon Project (GCP) [5], entre otros, dedicados a coordinar y organizar proyectos de investigación científica a fin de entender los complejos mecanismos que provocan el actual cambio global ambiental. Desde finales del siglo XIX, el mundo ha experimentado importantes cambios demográficos y de crecimiento económico. Las mejoras en la medicina, la atención de salud primaria, y numerosos adelantos tecnológicos importantes han producido, entre otras cosas, una reducción en la mortalidad infantil, un aumento considerable en la expectativa de vida, produciendo un aumento importante en las tasas de crecimiento efectivo, tanto de la población como del producto bruto mundial, desde 1850 hasta aproximadamente 1970. Sin embargo, desde entonces, las tasas de crecimiento vienen reduciéndose en forma continua. Más aún, en los países desarrollados de Europa, el aumento de la longevidad y las migraciones ha atenuado una importante reducción en las tasas de natalidad. La

necesidad de modelar estos cambios ha motivado a demógrafos a proponer diversos modelos y teorías, que se ha trasladado al ámbito de la ingeniería a fin de estimar el consumo específico de materias y energía y su impacto en las emisiones de gases de efecto invernadero y otras variables ambientales, como calidad del aire, calidad del agua, entre otras. En este sentido, este trabajo pretende aportar nuevas ideas, proponiendo un nuevo modelo que vincula la dinámica poblacional, el crecimiento económico con el consumo de energía primaria y sus emisiones de carbono. A partir de este modelo se darán algunos escenarios posibles hasta el 2100. Los datos usados para la calibración del modelo se han tomado de las agencias internacionales [15, 16] desde el año 1890 en adelante.

2 DINÁMICA POBLACIONAL Y CRECIMIENTO ECONÓMICO

Todos los modelos económicos dan a la población un rol fundamental. En efecto, el aumento poblacional tiene un doble efecto, este aumenta el número de los consumidores, y el número de trabajadores dedicados a las tareas productivas y de investigación. Paralelamente el crecimiento poblacional aumenta la escala de la economía, permitiendo a industrias y empresas a aprovechar de una escala mayor. Los modelos basados en progreso tecnológico [6] o generación de nuevas ideas [7, 8] en general arguyen que el crecimiento poblacional tienen un efecto positivo sobre la economía. Pero otros modelos (basados en la congestión [9, 10], y anteriormente Malthus) concluyen que un aumento de la población produce una disminución de la economía, pues se requiere mayor nivel de inversiones para mantener el mismo ingreso per cápita. En efecto, estos modelos endógenos ven el crecimiento poblacional como desfavorable para el crecimiento económico; mientras que los modelos exógenos ven en el crecimiento la oportunidad de mayor cantidad de personas dedicados a la investigación y desarrollo y por ende a favorecer y superar las dificultades de cada tiempo.

2.1 *Transición demográfica*

Los cambios demográficos en los países desarrollados muestran un patrón común: primero un reducción en la tasa de mortalidad, luego un aumento poblacional y luego eventualmente una reducción en la tasa de natalidad. Es decir se pasa de una situación de alta natalidad y alta mortalidad a un estado de baja natalidad y baja mortalidad, llegando finalmente a un nuevo estado de equilibrio con tasas efectivas bajas de crecimiento poblacional. La baja en la tasa de mortalidad ocurre, como ya se mencionara, por mejoras en las condiciones de higiene y salud; las mejoras en el comercio internacional, que facilitan las condiciones de intercambio, y por ende, mitigando las condiciones de pobreza y desnutrición, (p. ej. hambre por falta de cosechas, etc.). Esta mejora promueve el uso de nuevas tecnologías de producción agrícola, como así también el adelanto tecnológico en todas las ciencias, como en la física, la química y la medicina. Pero las tasas de natalidad (y mortalidad) también están influenciadas por numerosos factores sociales, culturales, religiosos e inclusive políticos. Existen en numerosos países políticas activas tendientes a la reducción de la población, a través de programas de uso masivo de contraceptivos y esterilización, tendientes a acelerar la transición demográfica, imponiéndose sobre las libertades personales y sin evaluar los posibles efectos negativos de una reducción de la población. Si se mide el crecimiento de la economía a través de la relación producto bruto interno por habitante (PBI/hab.) se puede ver que existe una relación inversa, entre economía y población, sin embargo esta no es una relación causa-efecto, como veremos más adelante. Si una población creciente genera un aumento de PBI a una tasa mayor que su crecimiento propio, entonces el PBI/hab. aumentará. Sin embargo existen momentos históricos y zonas geográficas, donde se ha manifestado ambas tendencias, es decir crecimiento económico o disminución económico para un crecimiento poblacional. Por ejemplo, para la década 1990-2000, la mayoría de los países desarrollados mostraban un PBI/hab de 10.000 a 50.000 U$S/hab, y tasas de crecimiento de aproximadamente 1.0%, mientras que América Latina oscilaba entre 300 y 5.000 U$S/hab y tasas de crecimiento poblacional del 1.0 al 3.0 %.

2.2 *Descripción del modelo*

Los cambios anuales en la población se expresan como una diferencia entre la cantidad de nacimientos menos las de las muertes. Si no se tienen en cuenta las migraciones, la población en

el año t+1 se calcula a partir de la información del año t :

$$P_{t+1} = P_t + P_t \times (n - m) = P_t + P_t \times \eta$$

$$\frac{(P_{t+1} - P_t)}{P_t} = \eta; \quad \frac{1}{p}\frac{dp}{dt} = \eta \qquad (1)$$

donde, $n \times P_t$ son los nacimientos anuales, $m \times P_t$ son las muertes anuales, y η es la tasa efectiva de crecimiento poblacional para el tiempo t. La solución a la Eq. (1) para un crecimiento continuo será una función exponencial,

$$p(t) = P_0 \times \exp(\eta t) \qquad (2)$$

donde P_0 es el valor inicial para el tiempo t=0. Pero muchos estudios demográficos y ecológicos reconocen que para períodos más largos, la tasa de crecimiento η no es constante, sino que decrece a medida que aumenta p, mostrando algún tipo de factor auto-limitante, que se expresa por una ecuación de tipo logística, esto es, tiende a saturarse en algún valor máximo P_m:

$$P_{t+1} = P_t + P_t \times \eta - \eta \frac{P_t^2}{P_m} = P_t + P_t \times \eta \left(1 - \frac{P_t}{P_m}\right) \qquad (3)$$

$$\frac{(P_{t+1} - P_t)}{P_t} = \eta - \alpha P_t$$

cuya expresión diferencial, para cambios porcentuales anuales es:

$$\frac{1}{p}\frac{dp}{dt} = \eta - \alpha \times p \qquad (4)$$

donde la tasa η está limitada por αP_t, siendo $\alpha = \eta / P_m$, y P_m la capacidad máxima de la población para un dado ambiente. También el crecimiento económico $g(t)$ (o PBI) muestra en algunos casos una variación de tipo logística, pudiendo modelarse como:

$$\frac{1}{g}\frac{dg}{dt} = \kappa - \beta \times g \qquad (5)$$

Sin embargo, no existen evidencias de los valores de capacidades máximas de g y p, ni se ha propuesto hasta el presente una explicación clara de la aparición de este elemento de auto limitación. Una explicación a este proceso, que desarrollamos en este trabajo, puede vincularse con la disponibilidad natural de recursos, tal como se presenta en muchos estudios ecológicos. Por ello se propone un modelo conceptual no lineal que permita por un lado entender los procesos de crecimiento y por otro lado estimar sus tendencias futuras. Este modelo tiene la forma de un juego de ecuaciones diferenciales del tipo presa-predador [11]:

$$\begin{cases} \frac{dp}{dt} = (n - a \times g) \times p \\ \frac{dg}{dt} = (k - b \times p) \times g \end{cases} \qquad (6)$$

donde se aprecia que hemos combinado Eq. (4) y (5), pero reemplazando $\alpha \times p$ por $a \times g$ en (4) y $\beta \times g$ por $b \times p$ en (5). Donde $b \times p$ representa el consumo, k la producción de recursos naturales y es proporcional al producto entre los recursos g y la población p, n la tasa de crecimiento de la población en presencia de los recursos, y $a \times g$ representa el término de control de la población por efecto de la disponibilidad de recursos. Este sistema de ecuaciones dinámicas es un sistema no lineal, cuya no-linealidad viene expresada por el producto $p \times g$. El modelo presa predador es también una simplificación de la realidad, pero describe aceptablemente la dinámica poblacional y su comportamiento no lineal. Sin embargo esta solo inclusión, representa adecuadamente las variaciones de largo plazo (> 25 años), pero no puede representar las variaciones más rápidas. Para ello debemos agregar una función externa $f(t)$ a fin de explicar los cambios bruscos presentados por las variables p y g, por ej., entre los años 1920 a 1960. Entonces el juego de ecuaciones queda dado por:

$$\begin{cases} \frac{1}{p}\frac{dp}{dt} = \sigma_1 \frac{f}{p} - a \times g + n \\ \frac{1}{g}\frac{dg}{dt} = \sigma_2 \frac{f}{g} + k - b \times p \end{cases} \qquad (7)$$

Dependiendo del modelo o concepción que se elija, podemos describir esta función f por un modelo endógeno o por un modelo exógeno. La variante endógena puede lograrse si hacemos $f = g/p$, es decir en función del producto bruto per cápita, quedando entonces:

$$\begin{cases} \frac{1}{p}\frac{dp}{dt} = p_1 \frac{g}{p^2} + p_3 \times g + p_3 \\ \frac{1}{g}\frac{dg}{dt} = g_1 \frac{1}{p} + g_2 \times p + g_3 \end{cases} \qquad (8)$$

La figura 1 muestra la adecuación del modelo a las variables de población y producto bruto mundial, y la figura 2 muestran las ecuaciones (8), donde los coeficientes p_1, p_2 y p_3; y g_1, g_2 y g_3; pueden obtenerse mediante regresión lineal múltiple a partir de los datos obtenidos de agencias internacionales.

Estas figuras nos muestran que tanto la población como los recursos, tienen una aceleración de su crecimiento entre 1930 y 1970, para luego comenzar una reducción progresiva y constante de estas tasas, tendiendo a saturarse en las próximas décadas. Desde un punto de vista exógeno, podemos interpretar, que los avances en el campo de la investigación y desarrollo producido a partir del 1900 produjo un impulso muy importante que motivó el crecimiento de la población y de los recursos. Por ejemplo podemos citar los avances en la física nuclear, la medicina (antibióticos y penicilina), la ingeniería (incorporación de la máquina de vapor en la industria y el agro, motores de explosión en el transporte, el uso del petróleo como principal combustible), etc. Sin embargo pareciera que este impulso de principios de siglo XX, no es suficiente actualmente para mantener las tasas de crecimiento, evidenciando una significativa desaceleración de las tasas de crecimiento.

3 MODELO DE CONSUMO ENERGÉTICO Y EMISIONES DE CARBONO

A principios de los años 70, en un primer intento de entender las causas de las emisiones de carbono se propuso una identidad lineal que establecía que las emisiones son directamente proporcionales al consumo y a la actividad económica expresada en valores del producto bruto de un país, a la población y a la eficiencia tecnológica disponible. Esta ecuación denominada IPAT [12,13] establece que las emisiones de carbono I impacto, son proporcionales a la Población P, a la Afluencia A (o actividad económica) y a la Tecnología T utilizada:

$$I = P \times A \times T \tag{9}$$

donde P es la población del país [hab.], A puede expresarse como PBI per cápita [U$S / año] y T la tecnología que da una medida de la eficiencia de las emisiones de CO_2 por PBI nacional [tn CO_2/ PBI U$S]. Si bien algo simplista, esta expresión tiene la ventaja que pone de manifiesto las principales variables en el proceso de producción de emisiones. Sin embargo asume que tanto P, A y T son variables independientes, y por lo tanto si se varía una la otra puede mantenerse constante. La realidad nos indica que estas variables no son independientes entre sí, ya que varían fuertemente de país en país y tampoco su relación es lineal.

De todos modos da una primera indicación de los problemas, por ejemplo, se puede apreciar que desde 1970, las emisiones de carbono per cápita se han mantenido casi constantes, mientras que el PBI per cápita se incrementó tanto en los países desarrollados como en los menos desarrollados, esto significa que las mejoras tecnológicas han compensado el incremento en el consumo. Otros autores [14] han realizado algunas modificaciones a la expresión I = P×A×T a fin de incorporar una componente no lineal que justifique la aparición de otras variables tales como los aspectos institucionales, sociales, creencias y actitudes:

$$I = aP^b \times A^c \times \varepsilon \tag{10}$$

donde *a*, *b* y *c* son coeficientes que dependen de cada país, y dejan expresado el aspecto tecnológico (más difícil de medir) dentro de un factor de error ε, que incluye además toda otra variable (oculta) que influye en las emisiones, y que no está incluida en los factores población y afluencia. Los coeficientes *b* y *c* permiten un ajuste no lineal entre los datos de población, PBI per cápita y el balance de emisiones de CO_2 publicado por el IPCC para cada país. De las siete variables consideradas, las emisiones de dióxido de carbono suelen ser una de las salidas a modelar; la población, el producto bruto interno, la energía primaria, pueden considerarse también como variables de estado del sistema, pues determina el estado del problema y almacenan la información pasada o la historia del estado del sistema. Las otras tres son tasas o indicadores que miden la variación del sistema, pero que están en función de las otras cuatro. En forma similar a lo explicado para la variación de población y economía, se pueden estimar los consumos de energía y emisiones de dióxido de carbono, siguiendo el mismo concepto de las ecuaciones (7) y (8). Para ello se vuelve a plantear un sistema de dos ecuaciones diferenciales acopladas, pero que también dependen del nivel de recursos y el estado de la población.

$$\begin{cases} \dfrac{1}{e}\dfrac{de}{dt} = \varepsilon_1 \dfrac{f}{e} + \varepsilon_2 \times g \\ \dfrac{1}{c}\dfrac{dc}{dt} = \sigma_1 \dfrac{f}{c} + \sigma_2 \times e + \sigma_3 \times g \end{cases} \tag{11}$$

donde *c* es la emisión de dióxido de carbono, *e* es el consumo de energía primaria, *g* y *p* son los recursos y población respectivamente. Reemplazando $f = g/p$ en (11):

$$\begin{cases} \frac{1}{e}\frac{de}{dt} = \varepsilon_1 \frac{g}{e \times p} + \varepsilon_2 \times g \\ \frac{1}{c}\frac{dc}{dt} = \sigma_1 \frac{g}{c \times p} + \sigma_2 \times e + \sigma_3 \times g \end{cases} \quad (12)$$

Las constante ε_1 representa el incremento de consumo de energía por acción de la fuerza externa, ε_2 mejora en el rendimiento energético por mayor inversión, ε_3 la tasa de aumento de energía independiente de la excitación externa, σ_1 el incremento de las emisiones, σ_2 el incremento de emisiones dependiente de la energía utilizada, y σ_3 la reducción de las emisiones por mejoras en la eficiencia tecnológica.

La figura 3 muestra los cálculos realizados por el modelo, comparados a las proyecciones de los organismos internacionales de energía. En la parte inferior las emisiones de dióxido de carbono (en GTn); la estimación de la EIA [16] se representa con triángulos grises. El modelo propuesto de emisiones se ve en trazo continuo negro. En la parte superior se muestra tres estimaciones del consumo mundial de energía primaria en Exa Joule, estimada por la EIA: con círculos grises el consumo medio; con círculos negros, el máximo consumo de energía; y con círculos blancos un escenario de consumo bajo de energía primaria. Nuestro modelo se aprecia con trazo continuo gris. La Figura 4 muestra las variaciones anuales de emisiones (izquierda) y consumo primario de energía (derecha) ambos con círculos grises; y la adecuación del modelo con línea continua. Desafortunadamente no existen registros confiables anteriores a 1970 de estas dos variables, pero se estima que su variación siguen las variaciones de población y PBI mostradas en la figura 2.

La proyección de la demanda de consumo de energía, ligado a la necesidad de abastecimiento mundial; como las emisiones de carbono, debido a su muy probable acoplamiento con el cambio climático global, son temas de permanente estudio por las agencias y organismos internacionales de planificación e investigación científica. Numerosos grupos han propuestos diversos modelos regionales o globales a fin de dar respuesta a este tema actual. Por ejemplo el IPCC ha recopilado un grupo de modelos en el Informe "Special Reports on Emission Scenarios" (SRES) [2] donde se usan los datos de población, demanda de energía, producto bruto interno mundial, entre otros, como variables de estado del sistema para modelar el consumo y las emisiones de carbono. Sin embargo, a diferencia del modelo propuesto, los modelos SRES son del tipo estadístico y de regresión de las series de datos existentes, y no vinculan en un conjunto simple de ecuaciones todas las variables de estado.

A fin de comparar este modelo con los del IPCC-SRES se tomaron los valores de las constantes del modelo propuesto y se les adicionó una variación aleatoria creciente, a medida que se alejaban del año inicial del modelo, y se corrió el programa 200 veces, obteniéndose así un conjunto de posibles soluciones. La figura 5 muestra un ejemplo de comparación de los escenarios propuesto por IPCC y este modelo para la variante endógena. En esta figura se muestran con símbolos, diversos pronósticos del IPCC-SRES. En trazo continuo se muestra un rango de posibles soluciones de este modelo, cuando se agrega aleatoriamente varianza a los parámetros. Se han remarcado 5 posibles curvas, una de máxima, una de mínima, una media y dos soluciones intermedias ubicadas a ± 1 desviación estándar de la media. Como puede apreciarse, este modelo se enmarca adecuadamente a los pronósticos de emisiones de carbono del IPCC. Lo mismo se da para los pronósticos de población, energía y PBI; y que por razones de espacio se obvian en este artículo.

4 CONCLUSIONES

El modelo propone un conjunto de ecuaciones diferenciales acopladas, que responde adecuadamente a los datos existentes, no sólo de ajuste de curva, sino conceptualmente. Así ante un escenario de crecimiento poblacional dado se acoplan un solo tipo de PBI, demanda de energía, y emisiones.

Por otra parte los diversos coeficientes usados en el modelo propuesto permiten estudiar los diversos escenarios propuestos por las agencias internacionales y el IPCC lográndose resultados similares. Finalmente debe notarse que estas proyecciones mundiales ocultan una gran disparidad de consumo y tasas de crecimiento y emisiones entre países, regiones, e inclusive, dentro de las mismas ciudades. Sin embargo, este modelo responde también adecuadamente a los análisis regionales y sectoriales, que se presentará oportunamente.

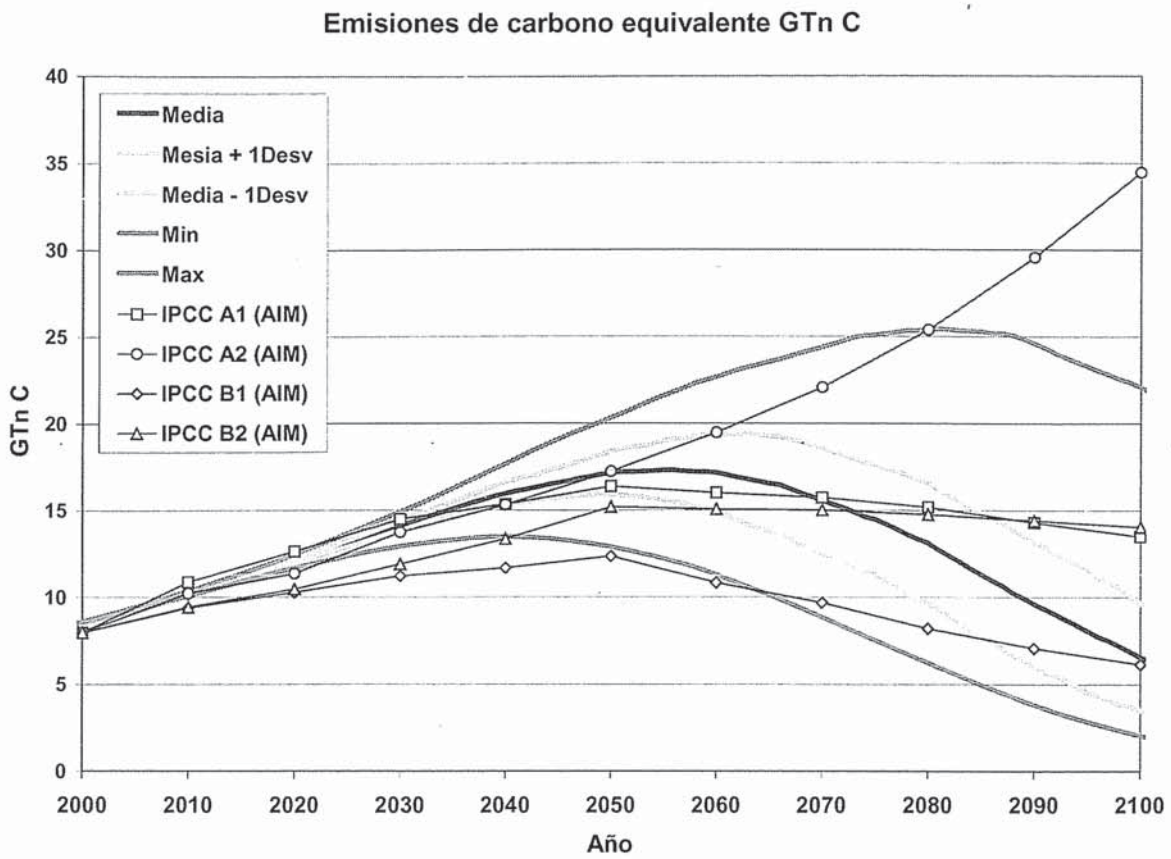


Figura 5: Comparación del modelo (líneas continuas) para diversos escenarios, comparados con 4 estimaciones del IPCC, modelos AIM (línea fina con símbolos).

5 REFERENCIAS

[1] IPCC http://www.ipcc.ch.

[2] IPCC (2000): *Special Report on Emissions Scenarios*. Nebojsa Nakicenovic and Rob Swart (Eds.), Cambridge University Press, UK.

[3] IGBP www.igbp.kva.se.

[4] IHDP www.ihdp.uni-bonn.de

[5] GCP www.globalcarbonproject.org

[6] Kremer, M. (1993). Population Growth and Technical Change, One Million B.C. to 1990. *Quarterly Journal of Economics*, *108* (3), 681–716.

[7] Jones, C. I. (1999). Was an Industrial Revolution Inevitable? Economic Growth Over the VeryLong Run. Tech. rep. W7375, NBER.

[8] Kates, R. W. (1996). Population, Technology, and the Human Environment: A Thread Through Time. *Daedalus*, *125* (3), 43–71.

[9] Solow, Robert M (1956): "A Contribution to the Theory of Economic Growth," *Quarterly Journal of Economics*, February, *70*, 65–94.

[10] Solow, Robert M (1994): "Perspectives on Growth Theory," *Journal of Economic Perspectives*, *8* (1), 45–54.

[11] Volterra, V. (1926): Variazioni e fluttuazioni del numero d'individui in specie animali conviventi. *Mem. R. Accad. Naz. dei Lincei*. Ser. VI, vol. 2.

[12] Commoner, B., Corr, M., Stamler, P.J., (1971): The causes of pollution, *Environment,* Vol. 13 (3), pp. 2 -19.

[13] Kaya, Y. (1990): Impact of Carbon Dioxide Emission Control on GNP Growth: Interpretation of Proposed Scenarios. *Paper presented to the IPCC Energy and Industry* Subgroup, Response Strategies Working Group, Paris.

[14] York, R., Rosa, E., Dietz, T., (2003): Methods STIRPAT, IPAT and ImPACT: analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts, *Ecological Economics*, Vol. 46, pp. 351-365.

[15] World Population Prospects: The 1998 Revision, vol. III, Analytical Report (United Nations publication, Sales No. E.99.XIII.10).

[16] EIA: International Energy Outlook 2005 Energy Information Administration, http://www.eia.doe.gov

Utilización de terrenos con rellenos sin control para viviendas sociales en zona de elevado riesgo sísmico

I.A.Maldonado, N.G.Maldonado

ceredetec@frm.utn.edu.ar
CEREDETEC, Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional

Colaboradores: G. Balverde, H.Giraud, J.Cueto, M.Chogriz, L.Salas Cayol

dptocivil@frm.utn.edu.ar
Depto Ing. Civil y CEREDETEC, Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional

RESUMEN: La necesidad de disponer de superficie libre para la construcción de viviendas sociales en áreas urbanas ha generado la tentación de utilizar terrenos rellenados sin control. En este trabajo se evalúan los antecedentes del uso de este tipo de suelos en la construcción de viviendas en zonas de elevado riesgo sísmico y los problemas derivados de situaciones reales. Ante la ausencia de normas específicas para su utilización, es necesario evaluar la viabilidad del uso con estudios que además de los habituales ensayos de suelos, analicen la deformación del relleno y las mejoras necesarias para transformarlo en un elemento soporte igual o mejor que el suelo natural. Se ensayaron en laboratorio distintas alternativas de mejoramiento de los habituales suelos naturales finos, poco plásticos con bajo rango de humedad y densidad y muy sensibles a cambios incrementales de carga y humedad. Estos estudios permiten comenzar a orientar el uso para solucionar estas situaciones de gran impacto social, aunque desde el punto de vista estructural impliquen cambios culturales importantes en el diseño y construcción de viviendas.

1 INTRODUCCIÓN

La existencia de terrenos que contienen residuos de distintos orígenes y sin control se complica aún más cuando dichos terrenos se utilizan para erigir en ellos viviendas de interés social. En estos casos la exploración geotécnica debe cumplir además de los habituales ensayos de identificación de suelos [1], con estudios adicionales según el tipo de residuo que se trate.

No hay normativa nacional que reglamente la disposición de residuos sólidos. En la Universidad Tecnológica Nacional se trabaja en un programa integrador interdisciplinario, PROCQMA, que permitirá clasificar los residuos de la construcción y sus formas de utilización en la ingeniería civil [2].

A la falta de control del terreno rellenado, se pueden adicionar los riesgos naturales como son las inundaciones, aluviones, terremotos, que condicionan el diseño estructural de las viviendas [3].

El Instituto Provincial de la Vivienda de la Provincia de Mendoza, reconoce un déficit habitacional local que supera las 80.000 unidades. Se han detectado políticas habitacionales diferentes, la del periodo 1980-1992 y la del periodo 1993-2000, con diferentes resultados [4]. En la primera, los problemas de patologías constructivas fueron menores que en la segunda debido al mejor control de obra ejercido [5]. Es en este último periodo donde

se han detectado los problemas relacionados con la ausencia de una mejor evaluación del suelo, debido al uso de terrenos de menor valor y por ende donde las soluciones constructivas a aplicar implican mayores costos debido a la menor capacidad portante o agresividad del suelo.
El uso de terrenos rellenados se han ido resolviendo en forma puntual para el caso de viviendas de interés social, ya que sigue desde hace más de quince años en proyecto la Ley de Uso del Suelo [6].
Los objetivos de este trabajo son:

- Resumir los resultados en relación al tema en los últimos cinco años: los problemas de patologías que afectaron viviendas construidas en terrenos no aptos.
- Evaluar los estudios de diferentes terrenos no aptos para uso en viviendas sociales, mediante ensayos de campo y de laboratorio para diferentes tipos de mejoramiento de los suelos.

2 ANTECEDENTES DE LA PROBLEMATICA

Una amplia zona del pedemonte, al Noroeste del Municipio de Godoy Cruz, Mendoza ha sido explotada como canteras de agregados y ha sido y es usada para la deposición de residuos sólidos urbanos. Dichos fosos de deposición presentan profundidades variables (entre 2,0m a más de 30,0 m) y las pendientes superficiales en estos sectores superan el 4%. Geológicamente, dicha zona corresponde a rellenos aluvionales, característicos del pedemonte de la Precordillera, con procesos de calcificación. El paisaje dominante, son serranías de baja altura (Haplargide típico) y la especie vegetal dominante es la jarilla. Dependiendo del sector analizado aparecen sectores distintos de espesores de cuaternarios y terciarios, identificados por la permeabilidad [7].
De los programas de erradicación de las villas de emergencia o viviendas temporarias que se han realizado en la Provincia de Mendoza, corresponde señalar el estudio realizado para el Campo Pappa que contó con un desarrollo integral de la parte social, económica e ingenieril [8] después que apareciera la problemática en viviendas sociales en los años 2000 [9].

3 PROBLEMAS DE PATOLOGÍAS

Los principales problemas de patología en el sector de viviendas sociales se detectaron al evaluar los asentamientos de las casas en distintos emprendimientos del Instituto Provincial de la Vivienda en el sector mencionado (Barrios Villa Marini, San Andrés, entre otros), construidos sobre zonas del pedemonte mendocino utilizadas para extraer agregados y reutilizados como depósitos de residuos sin tratamiento.
Los principales síntomas cuando se usa suelo sin tratamiento se reflejan en los estados de fisuración de los muros de mampostería por asentamiento diferencial del suelo, en especial por presencia de humedad natural, como el caso de jardines o humedad generada por roturas o pérdidas de cañerías, debido al asentamiento del suelo sin tratar, (ver Fig. 1).

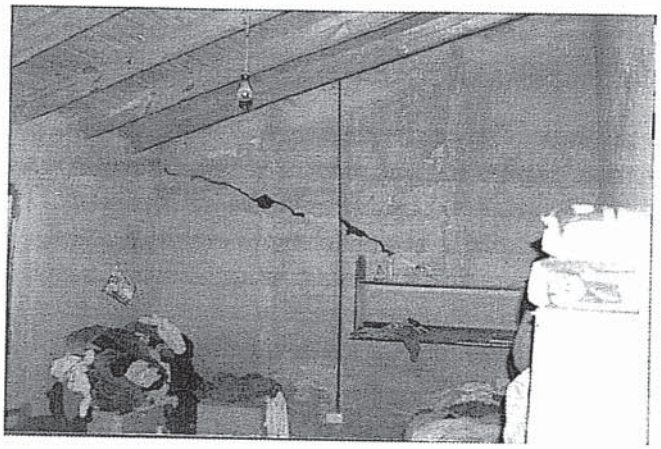


Figura 1: Fisuración de muro por asentamiento diferencial del suelo

En estos casos, los costos sociales para los usuarios de las viviendas fueron muy significativos, llegando a la demolición por falta de capacidad portante del suelo y teniendo el Estado que reponer la misma.

4 EVALUACIÓN IN SITU

El Decreto 3614/87 [1] establece las exigencias mínimas para los informes geotécnicos, pero en estos casos se deben realizar investigaciones de campaña y de laboratorio en función de la magnitud de las cargas impuestas al terreno, su constitución geológica, la importancia de la obra y la información existente sobre el uso del sitio.
Los valores de los parámetros geotécnicos obtenidos rutinariamente (densidad, ángulo de fricción, humedad, etc) están visiblemente afectados por la presencia de rellenos y los valores del ensayo de penetración normal no siempre son representativos

por la presencia de elementos extraños (ladrillos o escombros), se puede obtener un resultado distorsionado. Los ensayos que mejor reflejan las características de los estratos son los de refracción sísmica y los métodos geoeléctricos determinan la presencia o no de sustancias en descomposición.
Ejemplo de este trabajo correspondió al terreno en forma de polígono ubicado en una zona que ha servido de préstamo para confección de terraplenes en Godoy Cruz, de acuerdo a fotografías aéreas (años 1987, 1992 y 2002) y destinado a viviendas sociales en al año 2004. Los antecedentes y los trabajos de campaña realizados orientan a que el "gran foso" ha sido rellenado con materiales varios, como rechazos de cantera, suelos, suelos mezclados con restos de construcción, etc., preclasificados como residuo de construcción y demolición pero sin materiales que pudieran descomponerse en el tiempo. A pesar de la aleatoriedad observada en el relleno, a diferencia de otros sectores típicos del Gran Mendoza (en el pedemonte), estos rellenos han recibido en cierto modo un trabajo incontrolado en capas, con el tránsito de los camiones y niveladoras, en el tiempo [2].
Se evaluó racionalmente cómo producir la compactación dinámica de rellenos con distintos espesores y se propuso el uso de diferentes equipos para alcanzar la capacidad portante requerida, como se indica en la Tabla 1 en distintos sectores del barrio. Para suelo granular, el trabajo de compactación dinámica propuesto se complementó con uso de un geotextil.

Tabla 1: Propuestas de compactación dinámica [10]

Altura de caída	Espesor a compactar	Peso del martillo	Ancho densificado	Presión obtenida
[m]	[m]	[t]	[m]	[KN/m^2]
3,50	1,40	0,56	0,48	210
7,00	3,74	1,0	1,32	790

5 ENSAYOS DE LABORATORIO

En laboratorio se realizó el estudio en suelos finos limosos con el objetivo de optimizar su desempeño en el tiempo para fundaciones superficiales, aprovechando las ventajas que se obtiene de la compactación del suelo, la identificación de la presión de colapsabilidad y la disponiblidad de suelos granulares friccionantes en el medio.

5.1. *Materiales utilizados*

Se utilizaron dos tipos de suelos locales con las siguientes características:
- suelo limoso (ML) o limo arenoso: con granulometría que pasa tamiz N° 4: 96,3 %, pasa tamiz N° 40: 89,2 %, pasa tamiz N° 200: 15 %, humedad natural: 14 %, densidad natural: 15,5 KN/m3, humedad óptima: 15,4 % y densidad Proctor: 17,7 KN/m3.
- suelo granular (SW) o prácticamente grava graduada: con granulometría que pasa tamiz N° 4: 52,8 %, pasa tamiz N° 40: 31,2 %, pasa tamiz N° 200: 15,8 %, humedad natural: 3,2 %, humedad óptima: 7 % y densidad Proctor: 21,7 KN/m3

5.2. *Procedimiento de ensayo*

El procedimiento de ensayo consistió en aplicar una carga de compresión mediante equipo hidráulico sobre una base rígida (0.5 m x 0.5 m x 0.14 m de espesor) de hormigón armado apoyada en el suelo en estudio con diferentes conformaciones estratigráficas, en una celda rígida de acero de 11 mm de espesor de pared (ver Fig. 2). Se midieron las cargas aplicadas y las deformaciones con comparadores de 0,01 mm de precisión.

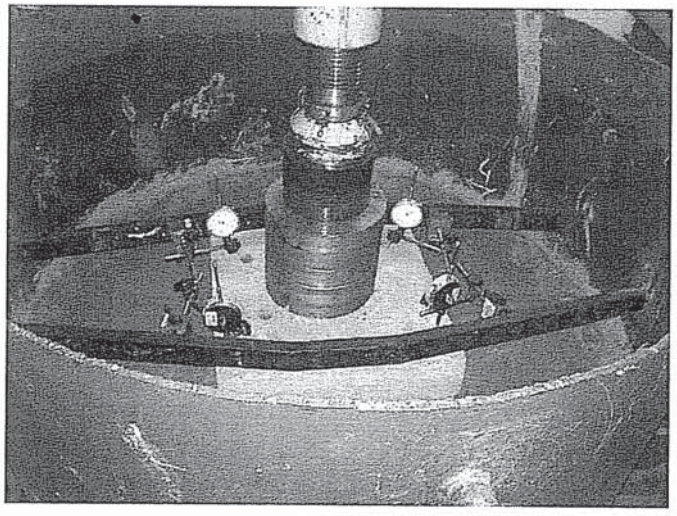


Figura 2: Disposición del ensayo

5.3. *Ensayos sobre distintas mejoras del suelo*

Se ensayó la muestra con densidad y humedad natural (a) y la misma muestra con un incremento

considerable de humedad (aH) y los siguientes tipos de mejoras:

b) muestra con humedad natural y capas compactadas al 100 % debajo de la base

c) muestra con densidad y humedad natural y 1° capa superficial compactada al 100 %

d) muestra con densidad natural y dos capas compactadas al 100 % con una malla plástica de jardinería

e) muestra con densidad natural y dos capas compactadas al 100 % con suelo granular

f) muestra con densidad natural y una capa compactada al 100 % con suelo granular con dos mallas plásticas de jardinería (ver Fig.3).

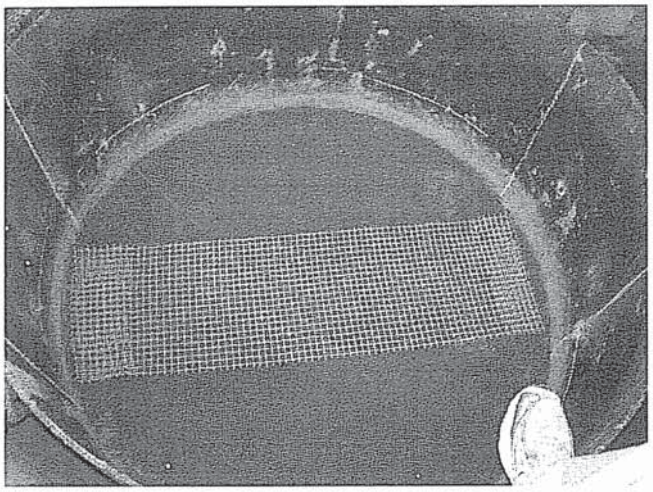


Figura 3: Disposición de las mallas sintéticas

6 ANALISIS DE RESULTADOS

En la Fig. 4 se presentan los resultados de los ensayos para los distintos tipos de mejoras estudiadas y para una condición normal de humedad, lo que confirma que cualquiera sea el método de mejora del suelo, se obtiene una mejora en las condiciones de deformabilidad y capacidad del mismo.

La Fig. 5 presenta los resultados cuando hay un aporte de humedad considerable (similar a la realidad por presencia de jardines o pérdidas de cañerías), que demuestran que el aporte de humedad genera una mayor deformación para el mismo nivel de presión, excepto para el caso de la condición de compactación al 100 % en toda la zona activa de la fundación (b) que se mantiene.

También se puede apreciar la degradación que sufre el suelo natural (a) con el aporte de humedad (aH), lo que señala la importancia de las medidas constructivas requeridas por la Directriz 5.5.3.1. del Código de Construcciones Sismorresistentes [1] para evitar el ingreso de agua a las fundaciones.

Si se analizan los niveles de distorsión admitidos por el Código de Construcciones Sismorresistentes de Mendoza [1] para estructuras de mampostería de un nivel, que son las más comunes en viviendas sociales (1 %), todas las mejoras del suelo evaluadas cubrirían un amplio espectro de alternativas técnico-económicas.

En la Fig. 6 se presenta un análisis del rendimiento, relación costo/deformación, para dos niveles de capacidad del suelo, los valores más orientativos del Código de Construcciones Sismorresistentes de Mendoza [1] que señalan que el modelo b) resulta el de mejor comportamiento pero es el de mayor costo debido al trabajo de excavación y compactación necesarios en la masa del suelo de la zona activa de la fundación.

Dentro de los mejoramientos intermedios, el de menor costo de ejecución corresponde al de compactación del Proctor standard al 100 % en la última capa solo bajo el sector de fundación, modelo c).

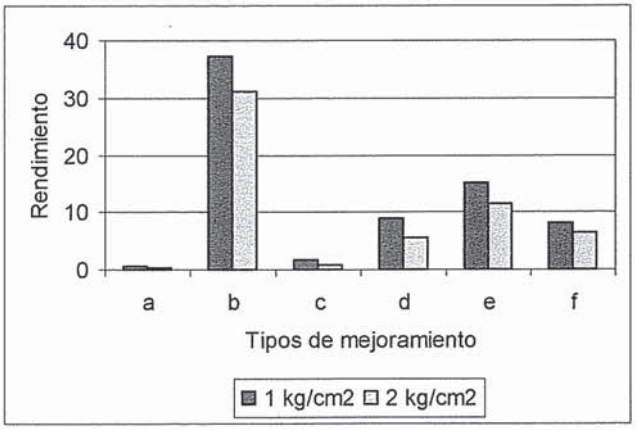


Figura 6: Rendimiento de costos/deformación para distintos niveles de presión para los distintos tipos de mejoramiento del suelo

Para soluciones habitacionales económicas es importante considerar también el tipo de sistema de constructivo a utilizar. Las costumbres locales corresponden al uso de muros de mampostería

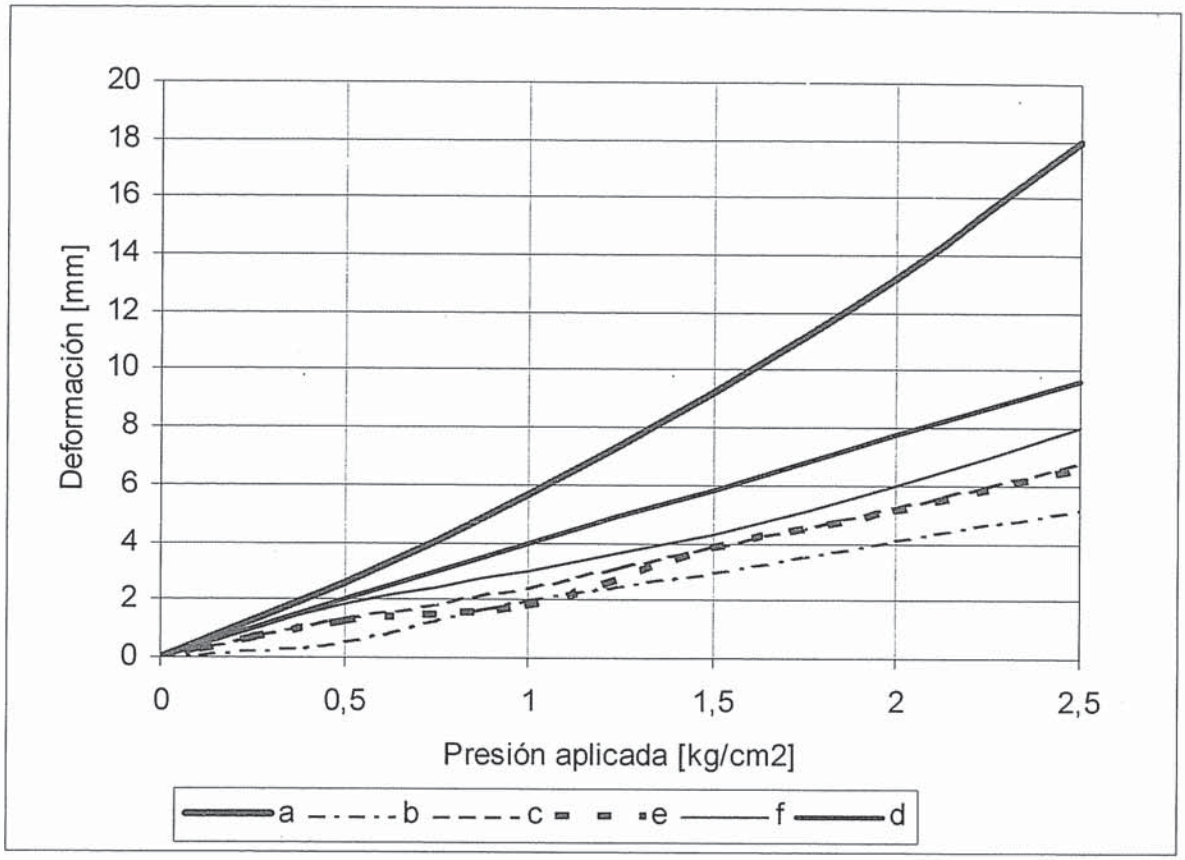


Figura 4: Resultados para los diferentes métodos de mejoramiento para humedad natural

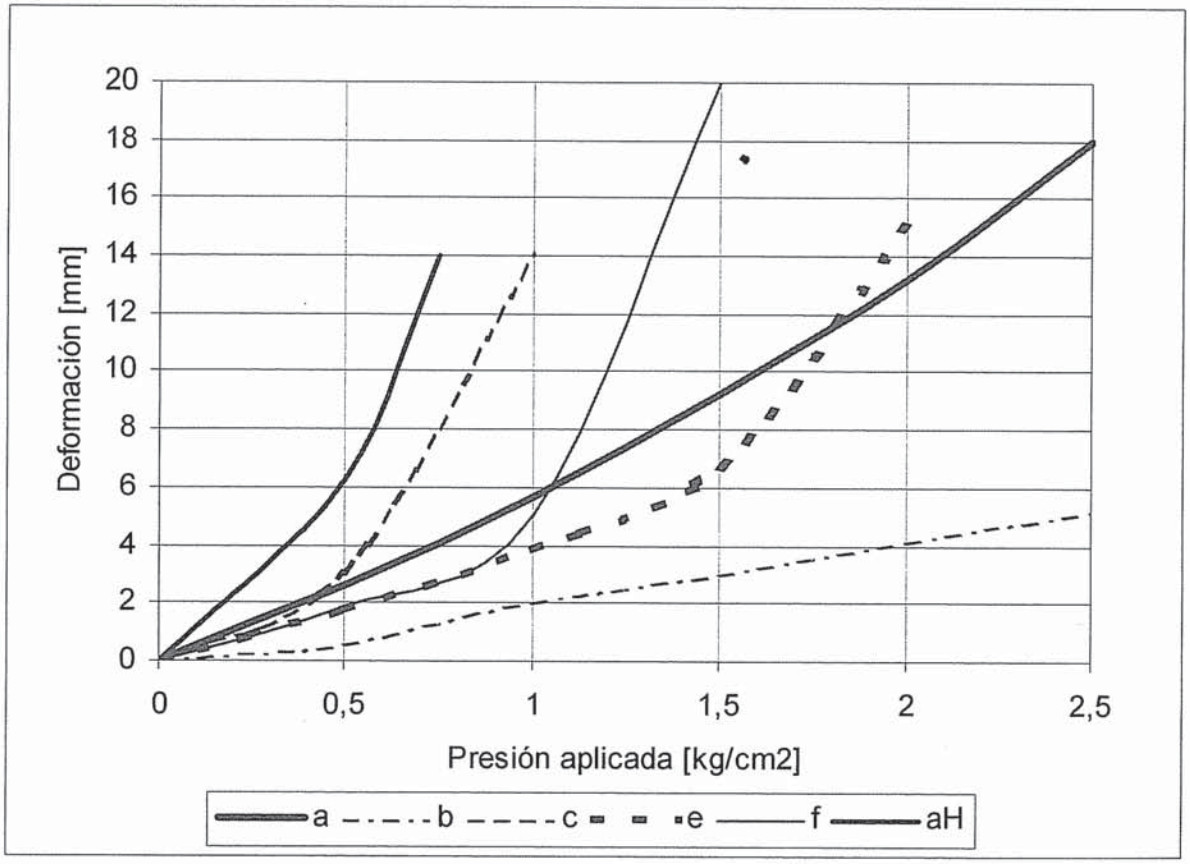


Figura 5: Resultados para los diferentes métodos de mejoramiento con aumento de humedad

cerámica cocida maciza, de peso específico significativo 16,0 KN/m3 , que en suelos con baja capacidad portante, implican importantes daños debido a la flexibilidad del apoyo. La sugerencia técnica en estos casos es el uso de sistemas de prefabricación liviana para viviendas, que pueden absorber los niveles de deformabilidad del terreno [11].

7 CONCLUSIONES

- Los casos estudiados demuestran la necesidad de soluciones inmediatas a problemas sociales, con la profundización de los estudios generales, que incluyen aspectos de ingeniería, de economía y de problemática social.
- Son necesarios estudios preliminares completos para optimizar las soluciones de terrenos utilizados como canteras y posteriormente como vaciaderos.
- Es importante contar con normas actualizadas para utilizar suelos donde se han colocado residuos sólidos.
- Los trabajos de compactación dinámica son aplicables cuando se han evaluado correctamente los espesores de los terrenos estratificados y la calidad del material a compactar.
- Los trabajos de laboratorio han permitido evaluar los aspectos costos/deformación para orientar las soluciones a adoptar con los suelos finos disponibles en la región, teniendo en cuenta la variable económica y la disponibilidad del tipo de suelo para alcanzar la capacidad resistente del mismo.
- Las soluciones habitacionales en este tipo de suelos implican el uso de materiales no tradicionales, lo que involucra cambios culturales para uso y mantenimiento de viviendas, los que deben quedar reflejados en los manuales de la misma.

REFERENCIAS

[1] Gobierno de Mendoza. Código de Construcciones Sismorresistentes de Mendoza, 1987.

[2] I.A. Maldonado y N.G. Maldonado. Problemática del uso del suelo con residuos para el caso de viviendas sociales: dos casos de estudio. Memorias Tercer Encuentro del Proyecto Integrador PROCQMA (Proyecto de Reciclado para la Obra Civil desde la Química, los Materiales y el Medio Ambiente) de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Argentina, 2005.

[3] Subsecretaría de Vivienda de la Nación. Disposición N° 18 para el Plan Federal de Infraestructura y Vivienda. 2000.

[4] M.I..Jiménez. La vivienda social en Mendoza. Valores de su arquitectura. Tesis de Doctorado, Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Mendoza. 2001.

[5] Pizarro N.F. et al. La importancia del control de calidad durante la construcción de viviendas de interés social en una zona de alto riesgo sísmico. Memorias Primeras Jornadas Técnico Científicas Interdisciplinarias sobre Procesos de adopción tecnológica para viviendas. Centro de Estudios de Tecnología de la Arquitectura, Facultad de Arquitectura y Diseño, Universidad Nacional de Córdoba. 2003.

[6] Diario Los Andes. Proyecto Ley marco de uso del suelo y subdivisión de la tierra. Mendoza. Edición del 1° de diciembre de 2005.

[7] N. Zóttola y Co.La.Ba. Vinculación Técnico Social. Gestión ambiental de residuos sólidos urbanos. Revista Proyecto Leonardo. N° 0. 2004.

[8] T. García Zalazar. Proyecto Campo Papa: consolidación y relocalización del Barrio. Una experiencia integral. Memorias II Simposio La Vivienda y la Sociedad de Hoy. Mendoza, Argentina. 2004.

[9] Informes técnicos en Memorias CEREDETEC 2000, 2001 y 2002.

[10] B. Das. Principios de ingeniería de cimentaciones. Thomson Learning. 2001.

[11] Pizarro N.F. et al. Evaluación económica y de inversión en viviendas de interés social. Un análisis comparativo entre distintos proyectos de viviendas y sistemas constructivos. Memorias II Simposio La Vivienda y la Sociedad de Hoy. Mendoza, Argentina. 2004.

Aislamiento sísmico para controlar los efectos de los terremotos sobre las construcciones

M. E. Tornello
mtornell@frm.utn.edu.ar
CeReDeTec, Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional

M. Sarrazin Arellano
sarrazin@cec.uchile.cl
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile

RESUMEN: La ingeniería sísmica mundial ha tenido que reconocer la limitación de sus métodos de diseño debido a que muchas de sus obras, diseñadas por ingenieros con códigos de última generación, han colapsado cuando se encuentran en proximidad al epicentro Ref. [1]. En los últimos años, las técnicas de aislamiento sísmico y disipación de energía representan nuevas herramientas para mitigar los efectos de los terremotos. En el país y especialmente el oeste argentino, no existen antecedentes sobre el uso de las citadas técnicas ni tampoco se encuentran incluidas en los reglamentos actuales de diseño, aspecto éste, que indica un retraso tecnológico y de ingeniería local comparado, no solamente con países avanzados, sino con otros de la región. El trabajo resume resultados sobre el estudio analítico de la respuesta de un edificio con aislamiento sísmico para terremotos de falla cercana y describe los parámetros de diseño de los mismos. Los resultados obtenidos son dispares y dependen del contenido de frecuencia de la señal utilizada. Se concluye que la implementación de sistemas de aislamiento sísmico en obras nuevas, o recuperadas resulta conveniente y se pone en evidencia la necesidad de que dichos sistemas sean incluidos en normativas de la especialidad.

1 INTRODUCCIÓN

El objetivo del aislamiento símico es desacoplar la estructura de los movimientos de suelo frente a la ocurrencia de terremotos. En consecuencia se evita que la superestructura sea la responsable de disipar la energía entregada por el terremoto. La totalidad de la estructura debe ser soportada en puntos discretos por dispositivos especiales llamados aisladores, los cuales poseen características dinámicas especiales para desacoplar la estructura de los movimientos del terreno. Los desplazamientos máximos y la no linealidades se concentran a nivel del sistema de aislamiento, mientras que la superestructura se comporta como un bloque rígido por encima del mismo. Los aisladores pueden ser diseñados y

construidos con un control de calidad que supera ampliamente los estándares habituales de la construcción civil, con la ventaja que pueden ser inspeccionados y eventualmente reemplazados como un dispositivo de repuesto. Por el contrario la reparación de los elementos dañados de una estructura no resulta una tarea tan simple.

Los sistemas de aislamiento sísmico más comunes utilizan aisladores de goma (o elastoméricos) y del tipo friccionales (de péndulo invertido). Los primeros generalmente se utilizan con amortiguadores viscosos encargados de aumentar el amortiguamiento del sistema de aislamiento para controlar los elevados desplazamientos que se obtienen como respuesta frente a terremotos asociados a falla cercana Ref. [2]. Los terremotos de carácter vibratorio y de epicentros más alejados no necesariamente imponen desplazamientos importantes, por lo tanto no es necesario valores elevados de amortiguamiento. Los aisladores de goma, de bajo y alto amortiguamiento, con y sin núcleo de plomo, vulcanizadas a láminas de acero, son los exponentes más representativos de éste primer grupo.

Los aisladores friccionales utilizan, en la interfase acero inoxidable y teflón (polytetrafluoroetileno PTFE) y la fricción se desarrolla dentro de una superficie cóncava y esférica Ref. [3], [4].

Por otro lado es posible encontrar una amplia gama de aisladores utilizados en distintas aplicaciones. Un grupo de ellos están representados, por productos elaborados por empresas dedicadas a la fabricación de éstos mecanismos para ser utilizados en tecnologías no tradicionales de control y disipación de energía las que poseen sus propias patentes; otros se encuentran representados por dispositivos que han sido diseñados en determinados proyectos de investigación con la intención de proponer nuevos sistemas de aislamiento sísmico.

De las dos categorías, hay a disposición un importante material factible de consultar y de fácil acceso. Todos ellos proporcionan una deformabilidad horizontal combinada con un alto amortiguamiento además de, capacidad de autocentraje después del terremoto, estabilidad de los componentes constructivos, durabilidad semejante a la vida útil de la estructura, simplicidad de diseño y costo reducido.

Dentro de la categoría de aisladores no tradicionales se pueden citar los conformados por resortes metálicos helicoidales, instalados en paralelo con amortiguadores viscoelasticos sobre los cuales, hoy existen numerosos antecedentes y trabajos de investigación que han evaluado la respuesta de estructuras aisladas con dichos sistemas [5], [6], [7].

También es factible la incorporación de otros dispositivos para aumentar el amortiguamiento o disipadores de energía. Los mismos son aplicados a estructuras de periodos intermedios y largos ya que el aislamiento de base se recomienda sólo para estructuras relativamente rígidas. Entre tantos sistemas disponibles en el mercado es posible citar los disipadores visco elásticos, disipadores por fluencia o extrusión de metales o los basados en fluidos viscosos, colocados generalmente en diagonales o contradiagonales de estructuras aporticadas. Otro sistema, cada vez más utilizados, son los TMD (Tunned Mass Dampers) en estructuras livianas y esbeltas, que generan un amortiguamiento aparente a partir de la inclusión de sistemas resonantes adicionales en puntos estratégicos [5].

El comportamiento de estructuras con aislamiento sísmico de base, en diferentes partes del mundo, sujetas a la ocurrencia de importantes terremotos se han comportado satisfactoriamente, por lo tanto dicha tecnología es una alternativa viable para controlar y mitigar el daño en las estructuras civiles, frente a terremotos moderados e importantes.

2 PARÁMETROS MECÁNICOS Y GEOMÉTRICOS PARA EL DISEÑO DE LOS AISLADORES

2.1 *Aisladores elastoméricos*

Dentro de éste grupo se distinguen los aisladores de láminas de goma (natural o sintética) de bajo y alto amortiguamiento, las cuales se encuentran vulcanizadas a planchas de acero que tienen la función de aumentar la rigidez vertical. Estos aisladores son capaces de proveer amortiguamientos no mayores al 10%. Diseños de sistemas de aislamiento próximos a la falla requieren mayores valores de amortiguamiento con el objeto de controlar los desplazamientos Ref. [2] y para ello se utilizan aisladores de goma (con características idénticas a los primeros) pero con núcleo de plomo. Estos aisladores son conocidos con el nombre de "*neozelandés*" *(NZ)* debido a su origen (Fig. 1). Los valores posible de amortiguamiento son del 15% como máximo. La relación entre fuerza – deformación (Fig. 2) de éstos aisladores no son lineales por lo tanto el diseño debe realizarse en ámbito de la no linealidad. Este último es el

resultado de un comportamiento lineal de la goma más uno no lineal del plomo.

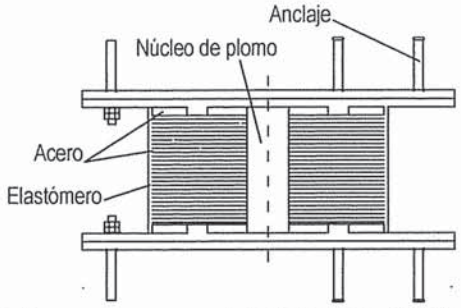


Figura 1. Esquema general del aislador (NZ)

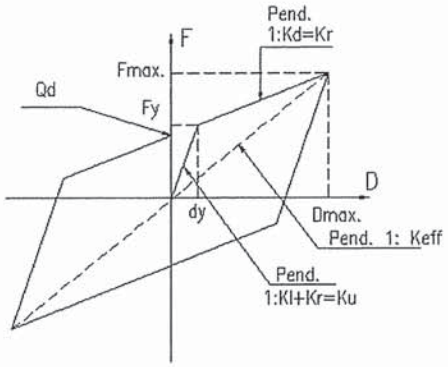


Figura 2. Modelo histerético de la relación fuerza – desplazamiento de un aislador (NZ).

Los aisladores quedan identificados por distintos parámetros mecánicos, por ejemplo la rigidez horizontal del mismo puede estimarse con:

$$K_H = \frac{G\,A}{H_r} \qquad (1)$$

G : módulo de corte transversal de la goma.
A : área del aislador.
H_r : altura total de goma.

El periodo del sistema aislado está en función de la rigidez lateral total del conjunto.

$$T_i = 2\pi\sqrt{\frac{W}{K_{Ht}\,g}} \qquad (2)$$

W: peso de la estructura.
K_{Ht} : Rigidez horizontal total del sistema de aislamiento.

La rigidez vertical del aislador puede estimarse con:

$$K_v = \frac{Ec\;A}{t_r} \qquad (3)$$

E_c : módulo de elasticidad de la goma, modificado por un factor de forma del aislador Ref. [8].

t_r : espesor de una capa de goma.

Conocida la rigidez vertical del aislador puede estimarse las tensiones normales (σ_c) y deformaciones (ε_c) del aislador las cuales deben encontrarse debajo de límites fijados por los reglamentos. Las tensiones en las placas de acero se verifican con la ecuación:

$$\sigma_s = 2\frac{t_r}{t_s}\sigma_c \qquad (4)$$

t_s : espesor de la placa de acero.

Se controla que la deformación debida a compresión, corte y flexión no supere valores admisibles:

$$(\gamma_c)_o + (\gamma_s)_o + (\gamma_b)_o \le f\,\varepsilon_u \qquad (5)$$

$(\gamma_c)_o$: distorsión angular máxima asociada a la compresión.
$(\gamma_s)_o$: distorsión angular máxima asociada al corte.
$(\gamma_b)_o$: distorsión angular máxima asociada a la flexión.
f= 1/3 Para estado de servicio.
f= ½ Para el terremoto de diseño.
f= 9/10 Para el terremoto máximo esperado.

Para las deformaciones ultimas se aceptan valores entre 500 - 600 %) Ref. [8].
Para controlar la esbeltez del aislador se realizan dos verificaciones. La primera es la verificación al vuelco del aislador que se realiza a través de un desplazamiento lateral (Δ_{ro}):

$$\Delta_{ro} = \frac{P * D}{(2\,K_H\,H) + P} \qquad (6)$$

P : carga normal sobre el aislador.
D : diámetro del aislador.
H : altura del aislador.

Los valores de (Δ_{ro}) deben encontrarse por debajo de limites fijados por los reglamentos.
La segunda verificación está relacionada con el pandeo del aislador que se realiza a través de una carga normal critica (P_{cr}).

$$P_{cr} = \frac{R}{2}\left[\left(\sqrt{1+4\frac{P_E}{R}}\right)-1\right] \qquad (7)$$

R : rigidez lateral unitaria del aislador.

P_E : carga euleriana del aislador.

La ecuación (7) no contempla la reducción de la capacidad debido a las grandes deformaciones del aislador en compresión. Este efecto se considera mediante la reducción de la carga critica y para ello se la multiplica por un factor que tiene en cuenta el área efectiva *(A_{eff})* en compresión y el área total de la sección del aislador (A):

$$P_{cr(eff)} = P_{cr}\frac{A_{eff}}{A} \tag{8}$$

La verificación queda satisfecha cuando la relación entre el *($P_{cr\ (eff)}$)* y la carga normal *(N)* que actúa sobre el aislador es mayor que un determinado coeficiente de seguridad definido por el reglamento.

2.2. *Aisladores friccionales (FPS)*

El dispositivo emplea el peso propia de la estructura para recentrar el edificio y con ello minimiza los desplazamientos finales permanentes. Los materiales utilizados son el acero inoxidable (superficie esférica) y PTFE (patín de deslizamiento) (Fig. 3).

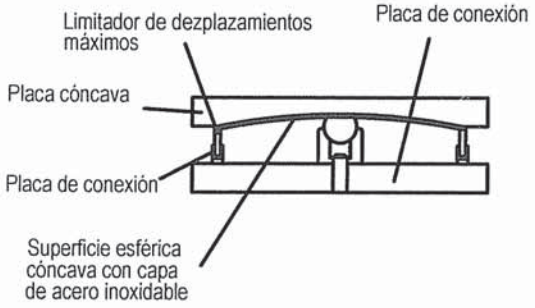


Figura 3. Esquema genérico de un aislador pendular friccional.

Ensayos realizados sobre aisladores friccionales indican un comportamiento no lineal del mismo (Fig. 4) por lo tanto el diseño del sistema de aislamiento debe realizarse en el rango no lineal.

Condiciones de equilibrio indican que la fuerza *(F)*, que actúa sobre el patín cuando el mismo se desplaza, puede ser determinada con la expresión:

$$F = \left(\frac{W}{R}\right)\delta + \mu N\,\mathrm{sgn}\left(\dot{\delta}\right) \tag{9}$$

W : Fuerza normal sobre el patín del aislador.
R : Radio de la superficie esférica.
μ : Coeficiente de fricción.
δ : Desplazamiento del patín del aislador.

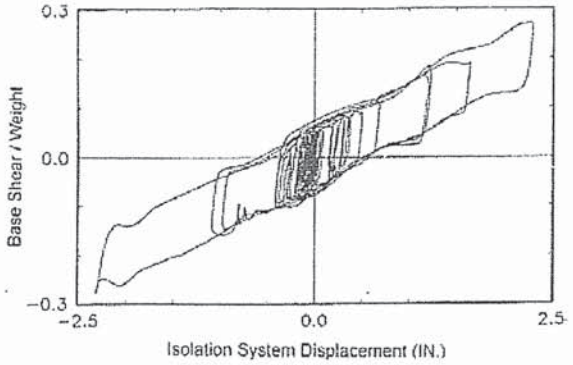


Figura 4. Ensayo histerético de un aislador (FPS)

El período secante del aislador pendular friccional se aproxima al período de un péndulo de radio *"R"*, oscilando en torno a un punto fijo:

$$T_{\sec} = 2\pi\sqrt{\frac{R\,\delta_o}{g\,(\delta_o + \mu R}} \rightarrow \left(2\pi\sqrt{\frac{R}{g}}\right)_{\delta o \rightarrow \infty} \tag{9}$$

δ_o : Deformación máxima.

Por lo tanto si se dan valores a *"R"* es posible determinar, en forma simple, valores de periodo secante del aislador. Las ecuaciones propuestas son suficientes a los fines prácticos del diseño de los aisladores

2.3. *Sistemas basados en resortes helicoidales metálicos (GCS)*

Comenzaron a aplicarse en máquinas de pequeño porte y luego se extendieron a fundaciones de máquinas pesadas e instalaciones industriales de importancia. Sin embargo en los últimos años se han realizado estudios sobre la respuesta de estructuras aisladas utilizando dichos sistemas Ref. [5], [6], [7], cuando las mismas son sujetas a terremotos.
Los aisladores elastoméricos o friccionales, en sus distintos modelos, son habitualmente utilizados para suministrar aislamiento horizontal. Los sistemas basados en resortes metálicos han sido utilizados en viviendas para proveer aislamiento en las tres direcciones. Los sistemas GERB para aislamiento sísmico (GCS) fueron, originalmente diseñados, para controlar las vibraciones que generaban las turbinas en plantas hidroeléctricas. El sistema está conformado por paquetes de resortes con baja rigidez en sentido horizontal y vertical (Fig. 5). Para aumentar el amortiguamiento del sistema de

aislamiento se instalan, junto a los resortes, amortiguadores visco-elásticos (Fig. 6).

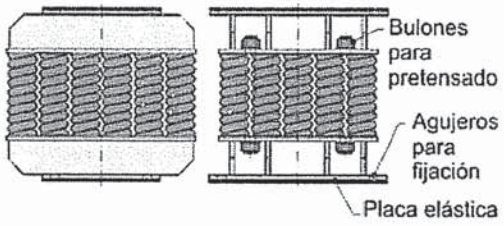


Figura 5. Paquetes de resortes metálicos GERB.

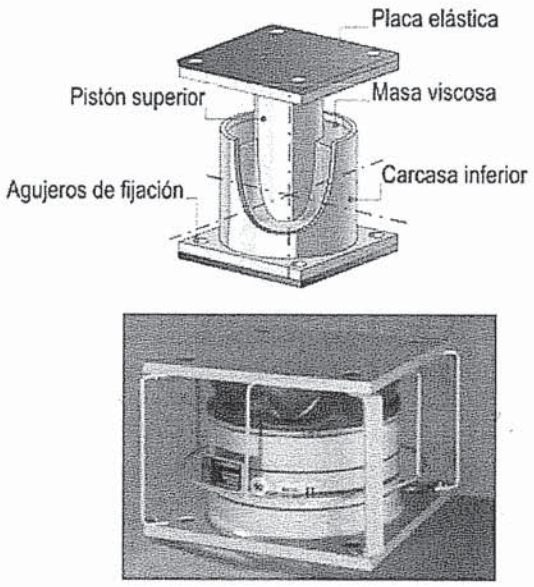


Figura 6. Amortiguadores visco-elásticos GERB.

La rigidez vertical del resorte puede evaluarse con la ecuación (10) mientras que la lateral se encuentra influenciada por un efecto combinado de la flexión y torsión, ecuación (11).

$$K_v = \frac{G\,d^4}{8\,n\,D^3} \qquad (10)$$

$$K_l = \frac{10^6\,d^4}{n\,D\,(0.204\,h_s{}^2 + 0.256\,D^2)}\,[Lb*inch] \qquad (11)$$

G : Módulo de corte del material del resorte.
d : Diámetro de la espira que conforma el resorte.
n : Número de espiras activas.
hs : Altura libre del resorte.

El amortiguador viscoso está compuesto por una carcasa inferior que contiene una masa viscosa. El pistón de la carcasa superior penetra en dicha masa viscosa y genera una fuerza, también viscosa, en las tres direcciones ortogonales. Un manguito de protección cierra herméticamente ambas carcasas para evitar el ingreso de elementos extraños y la contaminación de la masa viscosa. El sistema *(GCS)* presentan como característica una rigidez lineal, tanto horizontal como vertical y un amortiguamiento cuyo comportamiento se aproxima al lineal viscoso (Fig. 7).

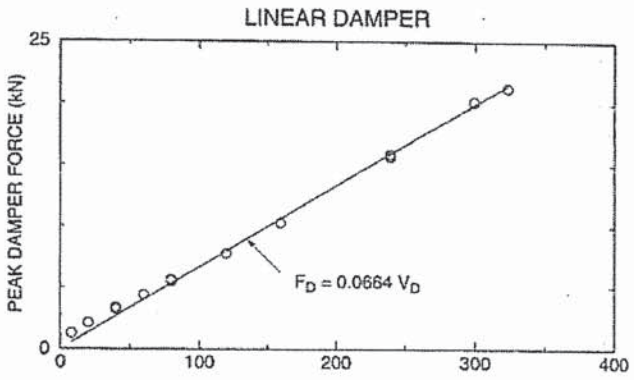


Figura 7. Relación lineal entre la fuerza máxima de amortiguamiento y el valor máximo de la velocidad.

Con el objeto de evaluar la respuesta de una estructura con aislamiento sísmico y su comparación con otra de fundación tradicional, se han utilizado dos tipos de aisladores, los elastoméricos del tipo *(NZ)* y los de resortes metálicos con amortiguadores viscosos *(GCS)*.

3. RESPUESTA Y COMPORTAMIENTO DE LOS SISTEMAS ANALIZADOS

Se seleccionaron once terremotos con presencia de pulsos largos Ref. [2], los cuales contienen importantes valores de energía para altas frecuencias, ello implica pequeñas diferencias entre los espectros de aceleración absoluta y el psuedoespectro de aceleración del mismo, sin embargo para valores altos de amortiguamiento dichas diferencias son mayores Ref. [9].
Otra de las características de los movimientos sísmicos seleccionados es la diferencia importante entre el espectro real de velocidad y psuedoespectro de velocidad Ref. [9] lo cual depende del periodo natural del sistema. Para periodos largos la psuedovelocidad es menor que la velocidad y la diferencia entre ambas se hace mayor en dichas zonas del espectro Ref. [9].
La estructura analizada corresponde a un edificio de tres niveles Ref. [2], construida en hormigón armado

y mampostería reforzada. Sus dimensiones en planta son aproximadamente 8x8 m., altura 8.60 m. y peso 3200 KN. El edificio es de conformación simétrica, con excepción de una leve asimetría sobre una de sus fachadas.

Se evaluó la respuesta del edificio con aislamiento sísmico utilizando dos tipos de aisladores *(NZ- GCS)* para comparar los resultados con el mismo edificio pero con fundación tradicional. La estructura se modeló en 3D (Fig. 8) y se realizó un análisis no lineal de las historias de las respuestas en el espacio de tiempo. La frecuencia del edificio con fundación tradicional es de aproximadamente 6.66 Hz., mientras que la del edificio con aisladores *(NZ)* fue 0.67 Hz. y para aisladores *(GCS)* muy próximo a 1 Hz.

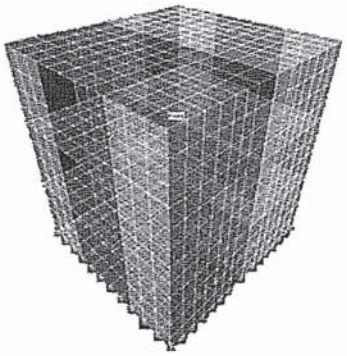


Figura 8. Modelo en 3D del edificio con aislamiento sísmico utilizado para el análisis.

En el modelo 3D se introducen como parámetros de diseño los valores de rigidez horizontal, vertical y amortiguamiento del sistema de aislamiento en las tres direcciones, en este caso, se utilizaron los valores usados para el diseño final del edificio [2].
Se analizaron distintas respuestas dinámicas: desplazamientos, distorsiones de piso, aceleraciones, corte en la base y esfuerzos internos en distintos elementos estructurales. Atendiendo a razones de extensión, a continuación se realiza un breve resumen de los resultados obtenidos para cada respuesta analizada.

3.1. *Desplazamientos horizontales y distorsiones de piso*

El edificio con base fija posee una importante rigidez, lo cual se pone de manifiesto en los valores de desplazamientos obtenidos en el último nivel de la construcción, valor que no supera el 0.25% respecto de la altura total del edificio para el caso de movimiento sísmico más desfavorable.

Los desplazamientos horizontales obtenidos con los aisladores *(NZ)* muestran una concentración de la deformación horizontal a nivel del sistema de aislamiento y de allí permanecen casi constantes a lo largo de la altura del edificio. El mayor desplazamiento del último nivel corresponde al terremoto de Taiwán (43.80 cm). La presencia de pulsos importantes en los terremotos utilizados como movimiento del terreno conducen a que los desplazamientos horizontales, en algunos casos, presenten asimetrías y tendencia a desarrollarse casi exclusivamente en una sola dirección. El desplazamiento máximo horizontal a nivel del sistema de aislamiento fue de 44 cm. para el caso del terremoto de Taiwán.
En la (Fig. 9) se representa la variación de los desplazamientos horizontales para uno de los terremotos analizados.

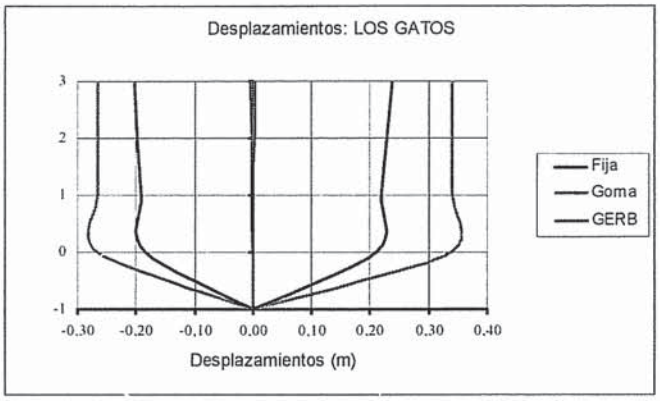


Figura 9. Variación de los desplazamientos horizontales con la altura del edificio para el terremoto "Los Gatos".

Los desplazamientos horizontales obtenidos con el sistema *(GCS)*, son menores que los anteriores, también se concentran a nivel del sistema de aislamiento, pero los mismos no se mantienen constantes con la altura del edificio. Debido a la relación entre la rigidez horizontal y vertical del sistema, el edificio presenta un efecto *"pendular"* Ref.[9] y se observan incrementos de desplazamientos absolutos entre el 30% y 80%, dependiendo del terremoto, respecto del valor de desplazamiento horizontal medido a nivel del sistema de aislamiento. El desplazamiento máximo a la altura del último nivel corresponde al terremoto de Kobe (39.50 cm), mientras que a nivel del sistema de aislamiento el desplazamiento máximo horizontal fue de 21 cm. para el caso del terremoto de Los Gatos.

Para la condición de fundación tradicional, los valores de distorsiones de piso son bajos, lo que indica nuevamente la importante rigidez horizontal de la construcción, dicho valor en ningún caso supera el 0.50% para el movimiento de suelo más desfavorable. Los aisladores *(NZ)* conducen a valores menores y en ningún caso supera el valor de 0.045% para el caso más desfavorable. Las distorsiones de piso en el sistema *(GCS)* no puede estimarse directamente a partir de los desplazamientos laterales medidos porque ellos se encuentran influenciados por el movimiento pendular del edificio. Si se realizan las correcciones correspondientes los valores de distorsiones obtenidos no superan el 0.65% para el movimiento sísmico más desfavorable.

3.1. *Valores de aceleraciones*

En el edificio de base fija se observan incrementos de aceleraciones horizontales comprendidas entre el 15%, para el terremoto de Taiwán, al 435% para el caso del movimiento sísmico de Coalinga, entre la cota del terreno natural y el último nivel del edificio. Las aceleraciones verticales acusan incrementos entre el 3% para el terremoto de Tabas al 82% para el de Imperial Valley.

El sistema de aislamiento *(NZ)* presenta reducciones de aceleraciones horizontales comprendidas entre el 42% para el terremoto de Los Gatos y del 93% para el Cape Mendocino, entre la cota de terreno natural y el último nivel del edificio. Valores de reducción semejantes se observan entre el nivel de terreno natural y la cota ubicada inmediatamente por encima del sistema de aislamiento.

Las aceleraciones verticales se incrementan entre un 2.50% para el caso del terremoto de Tabas y el 84% para el caso de Los Gatos.

En la (Fig. 10) se representa la variación de las aceleraciones horizontales para uno de los terremotos analizados.

El sistema *(GCS)* conduce a valores de aceleraciones muy dispares, mientras que en algunos casos se observan reducción de las aceleraciones horizontales comprendidas entre el 3% para el terremoto de Coalinga y el 80% para el movimiento del suelo del Cape Mendocino, en otros casos se observan incrementos de aceleraciones.

La respuesta en término de aceleraciones verticales depende del tipo de movimiento del suelo, aunque en la mayoría de los casos se presentan reducciones comprendidas entre el 40% para el terremoto de Coalinga y del 70% para el movimiento de Tarzana.

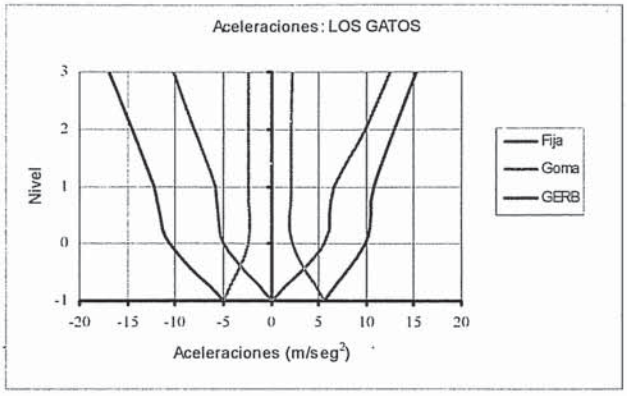


Figura 10. Variación de las aceleraciones horizontales con la altura del edificio para el terremoto "Los Gatos".

3.1. *Corte en la base y reacciones normales*

Los dos sistemas de aislamiento analizados *(NZ)* y *(GCS)*, en general, conducen a valores menores de corte en la base que los de fundación tradicional y de los dos, los aisladores *(NZ)* arrojan los menores valores.

En la respuesta, en términos de reacciones normales, se observa que el sistema *(NZ)* en ningún caso reduce dichos valores, comparados con el modelo de fundación tradicional, mientras que el sistema *(GCS)* conduce a reducciones que oscilan entre 2% al 26%, reducción que depende del tipo de terremoto.

4. CONCLUSIONES

- La respuesta del edificio con aislamiento de base, sujeto a terremotos de falla cercana, presentan valores dispares para los dos sistemas analizados. Las respuestas obtenidas dependen de las características propias de cada terremoto lo cual pone en evidencia la necesidad de continuar con la investigación del tema.

- Los desplazamientos del sistema *(NZ)* se concentran a nivel del sistema de aislamiento y de allí permanecen casi constantes con la altura del edificio. La presencia de pulsos importantes, conducen a desplazamientos que en algunos casos presentan asimetrías y tendencia a desarrollarse casi exclusivamente en una sola dirección.

- Los desplazamientos obtenidos para el sistema *(GCS)* son menores que los obtenidos para el *(NZ)*, también se concentra a nivel del sistema de aislamiento, pero los mismos no se mantienen constantes con la altura. Dada la relación de rigidez

horizontal y vertical del sistema, el edificio presenta un efecto pendular y se observan incrementos de desplazamientos absolutos con la altura del edificio.

- Las distorsiones de piso para el sistema de aislamiento *(NZ)* son menores que los obtenidos para el modelo de fundaciones tradicionales. En el sistema *(GCS)* las distorsiones de piso se encuentran influenciadas por el efecto pendular del edificio.

- El modelo con fundación tradicional presenta incrementos de aceleraciones horizontales y verticales importantes entre la cota de terreno y el último nivel del mismo. El sistema *(NZ)* reduce las aceleraciones horizontales pero acusa aumentos importantes en la dirección vertical. El sistema *(GCS)* presenta aceleraciones horizontales muy dispares comparadas con el edificio de fundación tradicional. A diferencia del sistema *(NZ)*, en éste caso y para algunos terremotos se observan reducciones de las aceleraciones verticales.

- Los dos sistemas de aislamiento símico analizados conducen a valores de corte en la base menores que los del modelo con fundación tradicional. El sistema *(NZ)* no presenta reducciones de las reacciones normales, mientras que el sistema *(GCS)* muestra, para algunos terremotos, reducciones considerables.

- De los resultados obtenidos se deduce la conveniencia del uso de sistemas de aislamiento sísmico tanto en obras nuevas como en construcciones a recuperar.

- Es importante y necesario que los sistemas de aislamiento y disipación de energía sean incluidos en los reglamentos de la especialidad de tal manera de contar con códigos actualizados para la práctica profesional, ello nos colocaría en igualdad de condiciones, no solamente con países avanzados, sino con otros próximos de la región.

5. REFERENCIAS

[1] R. G. Saragoni, Características destructivas de los acelerogramas de fuente cercana y los grandes terremotos argentinos. XVIII Jornadas de Ingeniería Estructural. Conferencia N° 4. Buenos Aires. Argentina, 2004.

[2] M. E .Tornello & M. Sarrazin Arellano, Control de desplazamientos de sistemas de aislamiento sísmico de base para terremotos de falla cercana. Primer encuentro de investigadores y docentes de Ingeniería. EnIDI. SIN 987-43-9997-X. Mendoza, 2005.

[3] V. A. Zayas, S. S. Low & S. A. Nahin, A simple pendulum technique for achieving seismic isolation. Earthquake Spectra, 6 (2), 317-334. 1990.

[4] A. S. Mokha, M. C. Constantinou & A. M. Reinhorn. Experimental Study and Analytical Prediction of Earthquake Response of Sliding Isolation System with a Spherical Surface. National Center for Earthquake Engineering Research. NCEER-90-0020. State University of New York at Buffalo, 1990.

[5] P. Nawrotzki, Some Strategies for the reduction of seismic structural responses. The first International Conference on Structural Stability and Dynamics. Tapei. Taiwan, 2000.

[6] J. Stuardi, J. Mazza & A. Brewer. Eficiencia de sistemas de aislamiento símico basado en resortes helicoidales y amortiguadores viscosos comparada con aisladores tradicionales de goma-metal. VIII Congreso Argentino de Mecánica Computacional. CD 16-18. Buenos Aires, Argentina, 2005.

[7] M. E. Tornello & M. Sarrazin Arellano. Respuesta estructural de dos sistemas de aislamiento sísmico frente a terremotos de falla cercana. Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Antisísmica. IX Jornadas. Paper A13-04. CD SIN 07118-2678. Concepción. Chile, 2005.

[8] J. M. Kelly. Earthquake – Resistant Design with Rubber. Springer – Verlag. London, 1993, 1996 2nd edition.

[9] M. E. Tornello & M. Sarrazin Arellano. Desarrollo e implementación de un sistema de aislación sísmica de base para el edificio de la residencia universitaria de la Facultad Regional Mendoza de la UTN. Revista Internacional de Estructuras. Politécnica del Ejercito de Ecuador. Vol. 9, N° 1, pp. 71-91. SIN 1390-0315. Quito Ecuador, 2004.

6. AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo brindado por las autoridades de la Facultad Regional Mendoza de la UTN en el desarrollo del proyecto. A la colaboración brindada por los docentes investigadores y becarios alumnos del CeReDeTec y al apoyo permanente de la empresa GERB.

Diseño y construcción de simetrizadores para antenas dipolares de banda ancha en VHF y UHF

M. A. Garro & C. M. Puliafito
pmgarro@uolsinectis.com.ar & *carlos.puliafito@um.edu.ar*
Instituto de Alta Frecuencia y Microondas
Facultad de Ingeniería - Universidad de Mendoza

RESUMEN: En este trabajo se presenta el diseño y construcción de simetrizadores para antenas dipolares de banda ancha para su utilización en el medidor de intensidad de campo, marca PROMAX, modelo MC-843E/1. El rango de frecuencia de operación del instrumento va aproximadamente desde los 40 hasta los 900 MHz. Particularmente, se muestran aquí ensayos de diversos tipos de simetrizadores o baluns a transformador de banda ancha necesarios para adaptar la alimentación asimétrica con los sistemas radiantes simétricos, diseñados para operar con el instrumento de medición, como así también, el uso de baluns con líneas transmisión. Del mismo modo, se exponen finalmente las dificultades y soluciones adoptadas para el diseño de los baluns, principalmente, no sólo por las frecuencias de operación, sino por el ancho banda requerido para cada rango de operación del instrumento de medición.

1 INTRODUCCIÓN

La Facultad de Ingeniería de la Universidad de Mendoza posee un medidor de intensidad de campo marca PROMAX, modelo MC-843E/1, para mediciones de dicha magnitud pero de carácter relativo. Para poder realizar mediciones de intensidad de campo absolutas debía, o bien, adquirirse dichas antenas patrones (lo cual significaba un costo importante), o diseñarlas y construirlas localmente en esta Facultad y la posterior contrastación de las mediciones del sistema completo de antena diseñado añadido a este instrumento, con otras provenientes de uno patrón. Dicho medidor de intensidad de campo posee cuatro bandas de frecuencias. LOW VHF (48 a 169MHz), FM (87 a 109 MHz), HIGH VHF (175 a 448 MHz) y UHF (455 a 856 MHz), por lo que fue necesario diseñar cuatro sistemas radiantes independientes con sus respectivos sistemas alimentadores. En esta publicación, se hará una breve revisión de los conceptos fundamentales de radiación electromagnética, para luego detallar los distintos ensayos y mediciones de laboratorio de los sistemas alimentadores, baluns y antenas dipolares de banda ancha.

2 CONCEPTOS GENERALES

2.1. *Intensidad de radiación*

Las antenas reales no irradian energía por igual en todas las direcciones, razón por la cual, para poder definir y medir correctamente sus propiedades direccionales, se hace imprescindible conocer el monto de la potencia radiada, por unidad de ángulo sólido, según las distintas direcciones, es decir, lo que se conoce como "intensidad de radiación". Es importante recordar que la potencia radiada, por un sistema radiante, se refiere siempre al campo lejano o radiado, el cual tiene, como característica

fundamental, que tanto su componente de campo eléctrico como la de campo magnético dependen de la inversa de la distancia.
Una forma de calcular la potencia radiada por una antena, orientada según el eje vertical, es a través del "método del vector de Poynting", es decir integrando dicho vector sobre la superficie de una esfera de radio r, suficientemente grande como para interesar, solamente, el campo radiado o lejano. Para ello, se deberá computar el flujo total del vector $\vec{\pi}_\rho$:

$$P_r = \int_S \vec{\pi}_r \cdot \vec{dS} = \oint \pi_r \, dS \qquad (1)$$

Siendo P_r la potencia radiada (mediada en Wattios) y π_r la densidad superficial de potencia radiada (medida en Vatios / m^2). Para calcular la ecuación (1) se debe explicitar el dS en función del ángulo sólido correspondiente, en coordenadas esféricas. Siendo r el radio vector, θ el ángulo de elevación y ϕ el azimut. Resultando el dS como:

$$dS = r^2 \, sen\theta \, d\phi \quad d\theta \qquad (2)$$

Pero siendo por definición el diferencial de ángulo sólido $d\Omega$ quecorresponde a dS :

$$d\Omega = sen\ \theta \, d\phi \ d\theta \qquad (3)$$

Por lo tanto, la ecuación (2) se podrá escribir como:

$$dS = r^2 \, d\Omega \qquad (4)$$

Reemplazando la ecuación (4) en (1) resulta:

$$P_r = \oint_S \pi_r \, dS = \oint_S (\pi_r \, r^2) d\Omega \qquad (5)$$

Definiéndose, entonces, como *intensidad de radiación, U,* a la función:

$$U(\theta,\phi) = \pi_r \, r^2 \qquad (6)$$

Efectivamente, la intensidad de radiación resulta ser independiente de r, por cuanto, siendo, en general, π_r (r, θ, ϕ) una función de las tres coordenadas esféricas, al ser multiplicada por r^2, pierde la dependencia de esta variable, teniendo en cuenta que π_r depende de $1/r^2$ en el caso del campo lejano o radiado.
Reemplazando la ecuación (6) en (5) resultará en:

$$\Pr = \iint U \, d\Omega \qquad (7)$$

La intensidad de radiación se mide en Vatios/estereoradian y es la magnitud que, referida a un sistema de coordenadas esféricas, concentrado en el sitema radiante, permitirá medir, adecuadamente, las propiedades direccionales del mismo [1], [2].

3 LA ASIMETRÍA EN LOS SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN Y DE RADIACIÓN

Los sitemas de alimetación y de radiación pueden o no estar acoplados, entre sí, en forma indeseada, como consecuencia de la geometría del conjunto. Si la orientación de los distintos conductores, y la incorporación oportuna de dispositivos desacolpladores, evitan la interacción de ambos sistemas, cada uno de ellos cumplirá la función asignada de la forma prevista. Si, por el contrario, dicha interacción existe, el sistema de alimentación participará, también, del proceso de radicaión, en forma indebida, interfiriendo en el diagrama resultante y los valores esperados de las impedancias involucradas.
Los sitemas de alimetación y de radiación pueden o no estar acoplados, entre sí, en forma indeseada, como consecuencia de la geometría del conjunto. Si la orientación de los distintos conductores, y la incorporación oportuna de dispositivos desacopladores, evitan la interacción de ambos sistemas, cada uno de ellos cumplirá la función asignada de la forma prevista. Si, por el contrario, dicha interacción existe, el sistema de alimentación participará, también, del proceso de radicaión, en forma indebida, interfiriendo en el diagrama resultante y los valores esperados de las impedancias involucradas.
Para que a una línea de transmisión (abierta o coaxil) le sean aplicables los conceptos físico-matemáticos, propios de la teoría de campo, es imprescindible partir del supuesto básico de que por ambos conductores , y en una sección transversal del sistema, circulan siempre corrientes de igual magnitud y en sentidocontrario. Cuando ello ocurre, queda garantizada la no radiación de ondas electromagnéticas, en una línea abierta de dos conductores, supeuesto que la separación de los pares de terminales sean pequeños comparados conla longitud de onda.
Si una línea abierta, de dos conductores, no se encuentra acoplada simétricamente, tanto al

generador como a la carga (sistema radiante), se desbalanceará eléctricamente y, en consecuencia, las corrientes, en cada sección de la línea no serán de igual magnitud.
Un sistema asimétrico, si es lineal, se le puede aplicar el principio de superposición, en el sentido de que puede ser resuelto, separadamente, como un sistema asimétrico y otro antisimétrico.
En nuestro caso, esto significa suponer que un desbalance eléctrico puede considerarse como la superposición de corrientes iguales, de sentido contrario, y corriente unidireccionales, de igual magnitud. Las primera, satisfacen nuevamente la teroía de líneas de transmisión, llamadas *corrientes de línea,* mientras que las segundas provocarán radiación electromagnética, designándoselas genéricamente como *corrientes de antena.* Estas corrientes no pueden separarse, desde un punto de vista práctico en las líneas abiertas. Supuestamente queel generador alimenta simétricamente a la línea abierta, resulta obvio que es necesarioprestar especial atención a queel sistema esté simétricamente cargado no sólo en los terminales de la carga, sino en toda su extensión.
En un cable coaxil, la energía gerada en el transmisor está confinada en el dieléctrico, limitado por la superficie externa del conductor central y la superficie interna del conductor exterior, por lo que podría pensarse queel desbalance, antes mencionado, no puede producirse por la acción del autoblindaje del sistema. Sin embargo, ello no es así, y debe entenderse que por la superficie externa del coaxil pueden circular corrienes unidireccionales, es decir, corrientes de antenas importantes si el sistema de alimentación se acopla electromagnéticamente al de radiación y/o cualquier otra condición de contorno existente en la instalación y aún lejos de ella.
La diferencia fundamental con la línea abierta es que, en el coaxil, hay una separación natural entre las corrientes de líneas y las de radiación, existentes en un desbalance. A pesar de ello, siendo el coaxil un sistema naturalmente asimétrico, desde el punto de vista eléctrico, puede ser mucho más difícil balancearlo, en la práctica, que a una línea abierta.
Podría suponerse, en consecuencia, que en la práctica, sólo podrían conectacrse, entre sí, sistemas naturalmente simétricos o naturalmente asimétricos. Sin embargo, por diversas razones de tipo tecnológico, o de tipo general, puede ser necesario usar un sistema asimétrico de alimentación con un sistema de radiación simétrico o viceversa. Si esto ocurre, como es en el caso particular del trabajo que aquí se expone, al problema normal de adaptación de impedancias, se le adiciona el problema de la compatibilización de la simetría, el cual se resuelve mediante el uso del transformador *balun.* En nuestro caso particular, como fuera expresado en el resumen e introducción de este escrito, se complica tecnológicamente aún más debido a las frecuencias de operación (fundamentalmente en la región de VHF alta y UHF) y al ancho de banda requerido por el instrumento de medición.
Entonces, cuando se decide un empalme de este tipo, habrá que verificar el ancho de banda relativo, que se requiera , lo que determinará la elección de un *simetrizador o balun de banda angosta* o de un *balun de banda ancha.*
En nuestro caso particular, se ha utilizado como sistema de alimentación un sistema naturalmente o asimétrico, que tienen naturalmente la tendencia a desbalancearse, y la carga o sistema radiante, un dipolo, que es naturalmente simétrico.

4 METODOLOGÍA DE MEDICIÓN DE INTENSIDAD DE CAMPO CON EL INSTRUMENTO PROMAX MC-843E/1

Para medir la intensidad de campo radiada por un sistema radiante, basta con disponer de una antena patrón de medida, como la antena dipolar PROMAX AMC/1, un medidor de nivel de señal o un analizador de espectro y de los factores de corrección de la antena utilizada. Cabe señalar que dada la falta de esta antena patrón es que surgió la necesidad de diseñar un conjunto de antenas dipolares que cubran la gama de frecuencias del instrumento. Se diseñaron cuatro antenas dipolares para cada uno de las cuatro bandas del medidor de intensidad de campo, dado la imposibilidad de cubrir las cuatro bandas con una única antena. La frecuencia a la cual fueron dimensionados los dipolos corresponde con la frecuencia central de cada banda. Se adoptó una relación de esbeltez tal, es decir, una relación de grosor de la antena respecto de su largo, que se obtuviera el factor de mérito Q necesario para cumplir con el ancho de banda requerido. Una vez hecho ésto, hubo que caracterizar no sólo las antenas, sino también los simetrizadotes o baluns necesarios para compensar o balancear el sistema en su conjunto, es decir antena dipolar y coaxil.

La relación entre la intensidad de campo y la tensión que se mide en bornes de la antena constituye lo que se conoce como *factor de antena*, que se designa habitualmente con la letra ***K***, y que es *característico*

de cada antena. Así pues, basta con conectar la antena patrón a un medidor de nivel de señal o a un analizador de espectro, medir el nivel recibido y aplicar el factor de corrección K, teniendo en cuenta la atenuación o ganancia de los elementos que utilicemos para la medida.

Sintonizando el medidor de nivel o analizador de espectro a la frecuencia deseada y midiendo la amplitud de la señal recibida, que llamaremos Medida *dBμV*. El valor de la intensidad de campo *IC*, en *dBμV/m* puede obtenerse de la expresión:

$$IC = Medida\ dB\mu V + K \qquad (8)$$

donde *K* está expresado en *dB/m*, y se determina por la siguiente metodología de medición:

Para la obtención del valor K de la antena se hizo uso del analizador de espectro ANRITSU MS710C, el generador de barrido ANRITSU MH672A, el acoplador direccional HP 778D y el Adaptador de 50 ohms a 75 ohms, accesorio del instrumental. Estos se muestran en la figura 1.

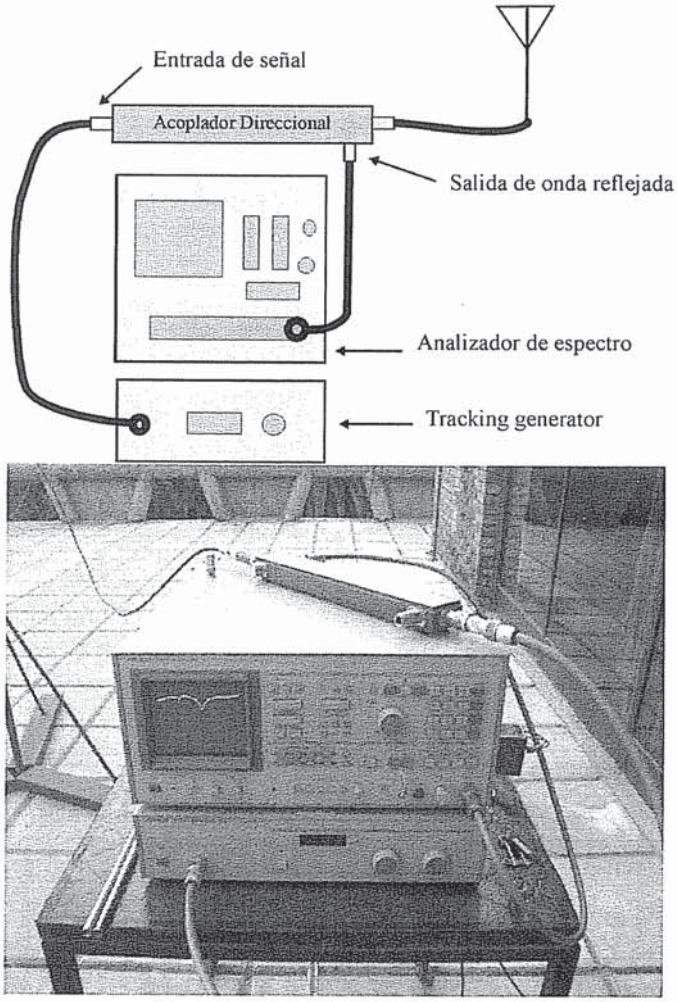


Figura 1: Esquema del circuito de conexión y foto de los instrumentos utilizados para las mediciones.

Por medio de la conexión ilustrada, se obtiene el nivel de onda reflejada del sistema de antena. Con esta información, se conoce la frecuencia de resonancia exacta de la antena utilizada, donde el nivel de señal es menor, y en este caso el valor K es cero.

Desplazándose a cada lado de la frecuencia central de la antena, se obtienen los distintos valores del factor K, que son necesarios para que la antena se comporte en forma constante en toda una banda de frecuencias. Las curvas del factor de corrección *K*, no se muestran en este trabajo por razones de espacio.

4 DESCRIPCIÓN Y CURVAS DE LOS BALUNS

4.1. *Simetrizador con stub*

En un primer intento de resolver el problema de la simetría del sistema, se hizo uso de un simetrizador con stub, figura 2. El objetivo era, tener un sistema variable en frecuencia en cada banda de trabajo. Para ello, los monopolos utilizados variaban su longitud, a igual que el stub, de acuerdo a la longitud de onda a la que se deseaba trabajar.

El concepto de funcionamiento, del sistema con stub, consiste en producir un corto circuito, a un cuarto de onda de la frecuencia de trabajo, entre ambos terminales de la antena, tal como puede observarse en la figura 3.

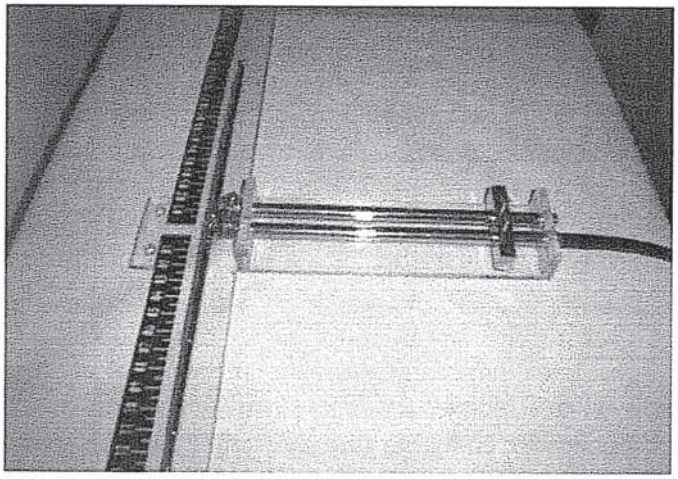


Figura 2: Imagen de perfil y de frente del sistema de antena variable con stub.

De esta manera, en los terminales de la antena, el sistema observa un circuito abierto, evitando que se produzca la corriente de antena.

El sistema en su conjunto fue evaluado en el laboratorio, y de las pruebas realizadas se concluyó

generador como a la carga (sistema radiante), se desbalanceará eléctricamente y, en consecuencia, las corrientes, en cada sección de la línea no serán de igual magnitud.

Un sistema asimétrico, si es lineal, se le puede aplicar ei principio de superposición, en el sentido de que puede ser resuelto, separadamente, como un sistema asimétrico y otro antisimétrico.

En nuestro caso, esto significa suponer que un desbalance eléctrico puede considerarse como la superposición de corrientes iguales, de sentido contrario, y corriente unidireccionales, de igual magnitud. Las primera, satisfacen nuevamente la teroía de líneas de transmisión, llamadas *corrientes de línea,* mientras que las segundas provocarán radiación electromagnética, designándoselas genéricamente como *corrientes de antena.* Estas corrientes no pueden separarse, desde un punto de vista práctico en las líneas abiertas. Supuestamente queel generador alimenta simétricamente a la línea abierta, resulta obvio que es necesarioprestar especial atención a queel sistema esté simétricamente cargado no sólo en los terminales de la carga, sino en toda su extensión.

En un cable coaxil, la energía gerada en el transmisor está confinada en el dieléctrico, limitado por la superficie externa del conductor central y la superficie interna del conductor exterior, por lo que podría pensarse queel desbalance, antes mencionado, no puede producirse por la acción del autoblindaje del sistema. Sin embargo, ello no es así, y debe entenderse que por la superficie externa del coaxil pueden circular corrienes unidireccionales, es decir, corrientes de antenas importantes si el sistema de alimentación se acopla electromagnéticamente al de radiación y/o cualquier otra condición de contorno existente en la instalación y aún lejos de ella.

La diferencia fundamental con la línea abierta es que, en el coaxil, hay una separación natural entre las corrientes de líneas y las de radiación, existentes en un desbalance. A pesar de ello, siendo el coaxil un sistema naturalmente asimétrico, desde el punto de vista eléctrico, puede ser mucho más difícil balancearlo, en la práctica, que a una línea abierta.

Podría suponerse, en consecuencia, que en la práctica, sólo podrían conectacrse, entre sí, sistemas naturalmente simétricos o naturalmente asimétricos. Sin embargo, por diversas razones de tipo tecnológico, o de tipo general, puede ser necesario usar un sistema asimétrico de alimentación con un sistema de radiación simétrico o viceversa. Si esto ocurre, como es en el caso particular del trabajo que aquí se expone, al problema normal de adaptación de impedancias, se le adiciona el problema de la compatibilización de la simetría, el cual se resuelve mediante el uso del transformador *balun.* En nuestro caso particular, como fuera expresado en el resumen e introducción de este escrito, se complica tecnológicamente aún más debido a las frecuencias de operación (fundamentalmente en la región de VHF alta y UHF) y al ancho de banda requerido por el instrumento de medición.

Entonces, cuando se decide un empalme de este tipo, habrá que verificar el ancho de banda relativo, que se requiera , lo que determinará la elección de un *simetrizador o balun de banda angosta* o de un *balun de banda ancha.*

En nuestro caso particular, se ha utilizado como sistema de alimentación un sistema naturalmente o asimétrico, que tienen naturalmente la tendencia a desbalancearse, y la carga o sistema radiante, un dipolo, que es naturalmente simétrico.

5 METODOLOGÍA DE MEDICIÓN DE INTENSIDAD DE CAMPO CON EL INSTRUMENTO PROMAX MC-843E/1

Para medir la intensidad de campo radiada por un sistema radiante, basta con disponer de una antena patrón de medida, como la antena dipolar PROMAX AMC/1, un medidor de nivel de señal o un analizador de espectro y de los factores de corrección de la antena utilizada. Cabe señalar que dada la falta de esta antena patrón es que surgió la necesidad de diseñar un conjunto de antenas dipolares que cubran la gama de frecuencias del instrumento. Se diseñaron cuatro antenas dipolares para cada uno de las cuatro bandas del medidor de intensidad de campo, dado la imposibilidad de cubrir las cuatro bandas con una única antena. La frecuencia a la cual fueron dimensionados los dipolos corresponde con la frecuencia central de cada banda. Se adoptó una relación de esbeltez tal, es decir, una relación de grosor de la antena respecto de su largo, que se obtuviera el factor de mérito Q necesario para cumplir con el ancho de banda requerido. Una vez hecho ésto, hubo que caracterizar no sólo las antenas, sino también los simetrizadotes o baluns necesarios para compensar o balancear el sistema en su conjunto, es decir antena dipolar y coaxil.

La relación entre la intensidad de campo y la tensión que se mide en bornes de la antena constituye lo que se conoce como *factor de antena,* que se designa habitualmente con la letra ***K***, y que es *característico*

respuesta en frecuencia es muy sensible a las vibraciones mecánicas de los contactos.

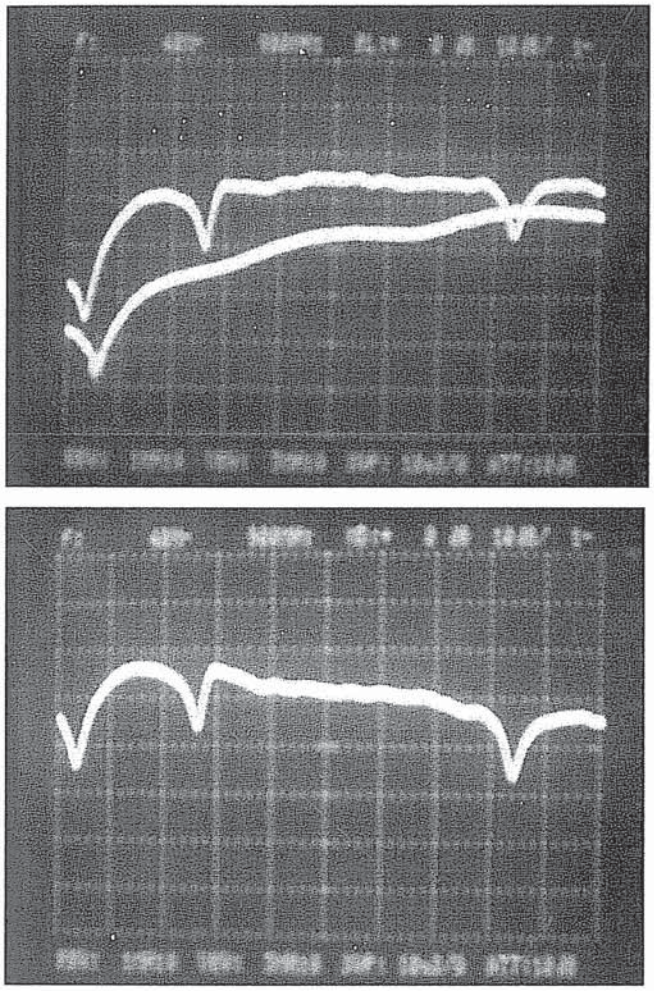


Figura 6: Respuesta del balun en el rango de frecuencia de 40 Mhz a 900 Mhz

5.1 *Balun mediante línea de transmisión*

Debido a la experiencia adquirida en los anteriores ensayos, se decidió plantear un balun que adaptase el sistema asimétrico (cable coaxil), al sistema simétrico (línea de transmisión de conductores paralelos) de forma exponencial.

Es decir, un coaxil que exponencialmente degenera en una línea de transmisión de hilos paralelos, manteniendo siempre la misma impedancia característica de 75 ohms. Éste se muestra en la figura 7.

El principio teórico de esta idea, se basa en que el desbalance producido al conectar dos sistemas de distintas simetrías, es debido a la distribución del potencial en uno de los terminales del sistema asimétrico. Esto se ilustra en la figura 8, donde se observa que, el desbalance se debe a que el eje de simetría del dipolo, no coincide con el eje de simetría, cilíndrica, del coaxil, resultando en que la distribución de las cargas eléctricas en B sea distinta que en B', provocando la aparición de la corriente de antena "Ic".

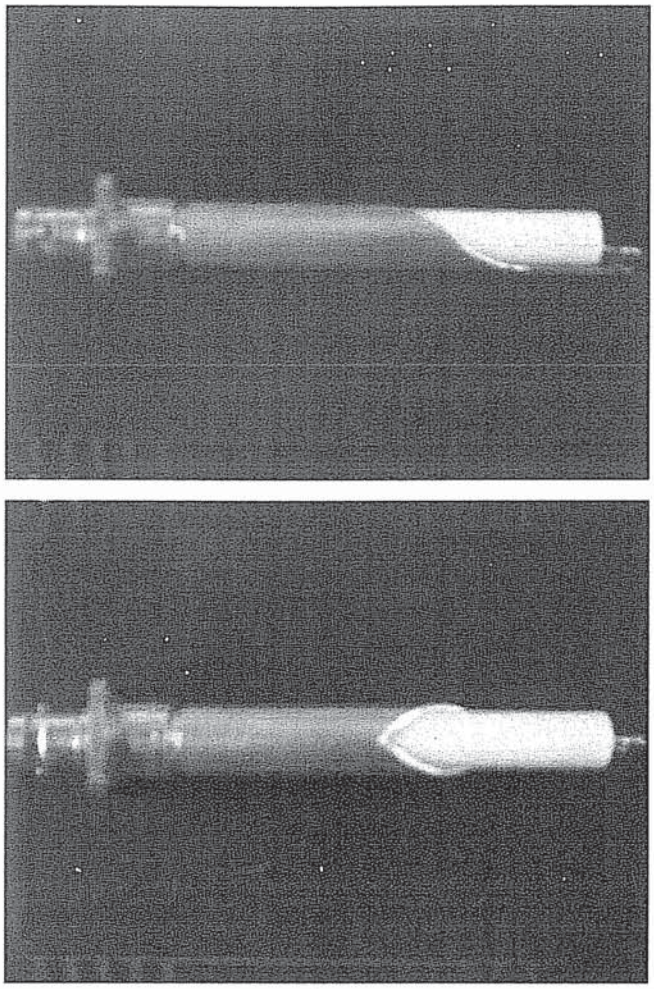


Figura 7: Foto de frente y de perfil del balun mediante línea de transmisión.

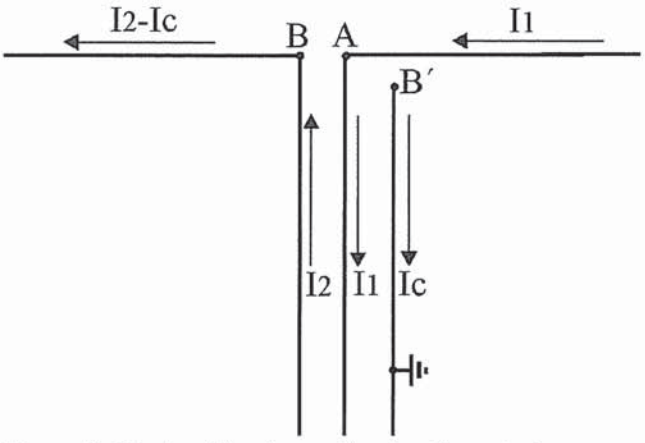


Figura 8: Ilustración de un dipolo alimentado con un cable coaxil.

La idea fue puesta en práctica y los resultados obtenidos, en el laboratorio, mostraron que el principio funciona, arrojando la siguiente respuesta.

Curva característica:

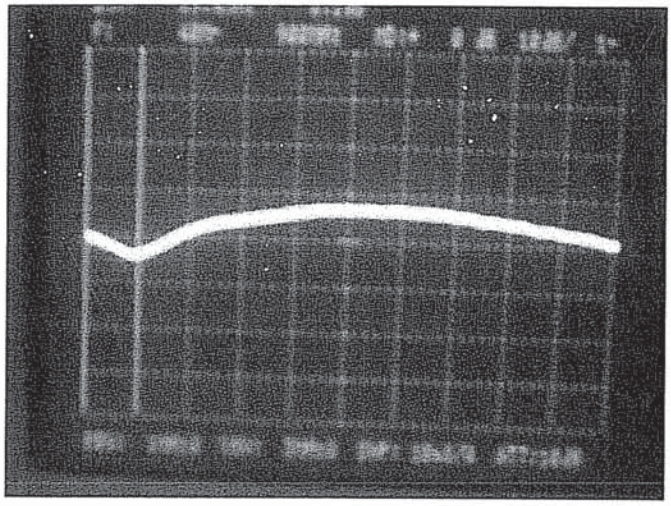


Figura 9: Respuesta absoluta del balun, en el rango de 40 a 900 MHz.

La figura 9 muestra que el balun presenta una respuesta en frecuencia bastante plana, con -32 dB de nivel de onda reflejada en el peor punto de la curva, y -45 dB en el mejor de los casos. Siendo ésta la mejor solución hallada para el funcionamiento del sistema de antenas en el rango de 40 a 900 MHz.

6 DESCRIPCIÓN Y CURVAS DE LA ANTENA

Con el problema del balun resuelto, se procedió a construir el sistema de antena, el cual consta de un cuerpo central con el balun y dos conectores a rosca, que permiten intercambiar varillas de distintas longitudes, para las distintas bandas. Éste se puede observar en la figura 10.

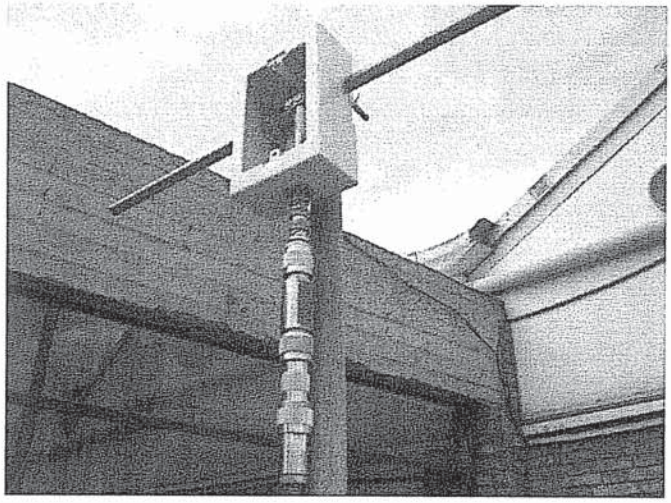


Figura 10: Imágenes del sistema de antena realizado.

Las pruebas realizadas con las antenas, en las distintas bandas, dieron como resultado las siguientes respuestas en frecuencia.

6.1. *Banda Low VHF*

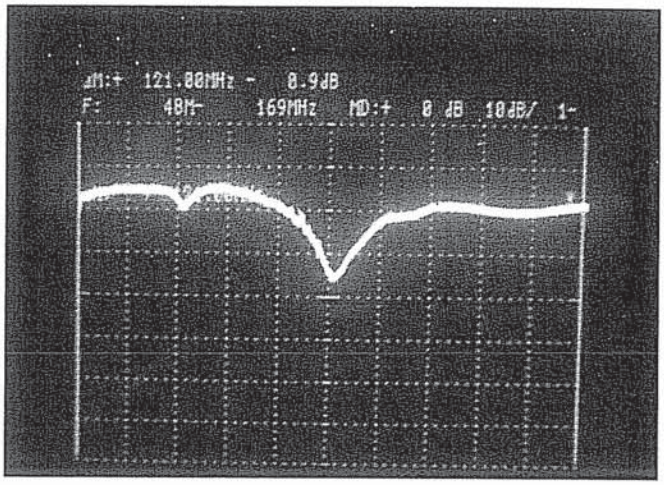


Figura 11: Respuesta absoluta de la banda Low VHF de 48 MHz a 169 MHz.

La figura 11 muestra la respuesta absoluta de la antena en la banda mencionada, con una marcada resonancia en 109,66 MHz y una respuesta bastante plana en el resto de la banda, con -17 dB en el peor de los casos.

6.2. *Banda de FM*

La figura 12 muestra la respuesta absoluta de la antena en la banda de FM, resonando a 97,5 MHz.

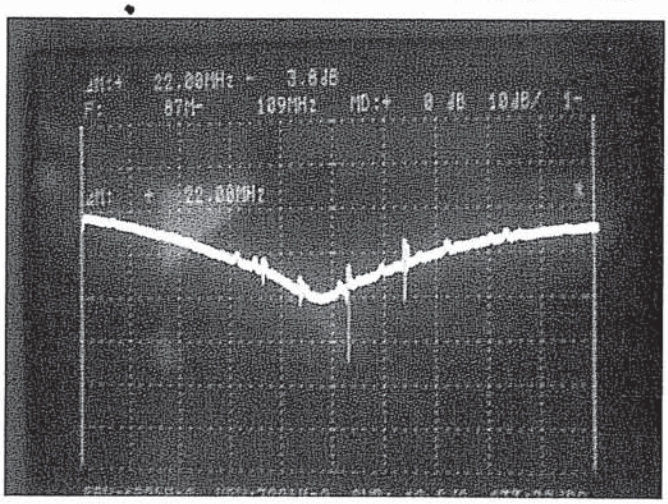


Figura 12: Respuesta absoluta de la banda de FM de 87 MHz a 109 MHz

En esta banda la respuesta en frecuencia no posee resonancias secundarias fuera de la frecuencia central en comparación con el caso anterior.

6.3 Banda High VHF

La figura 13 muestra la respuesta absoluta de la antena, resonando a 310,55 MHz.

En este caso, no se contempló el cable coaxil, RG59, que alimenta a la antena, ya que éste presenta una respuesta, en frecuencia, muy mala en esta banda. En su lugar, se utilizó el cable coaxil del intrumental de medición.

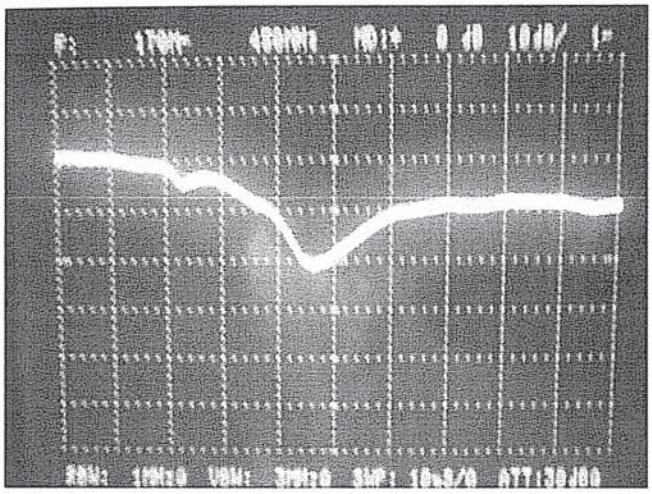


Figura 13: Respuesta absoluta de la banda High VHF de 175 MHz a 448 MHz

En esta banda, si bien la respuesta en frecuencia dista de ser lo ideal, la onda reflejada que aparece en la parte izquierda de la curva (frec. menores a la central) está 20 db atenuada respecto de la onda incidente.

6.4 *Banda de UHF*

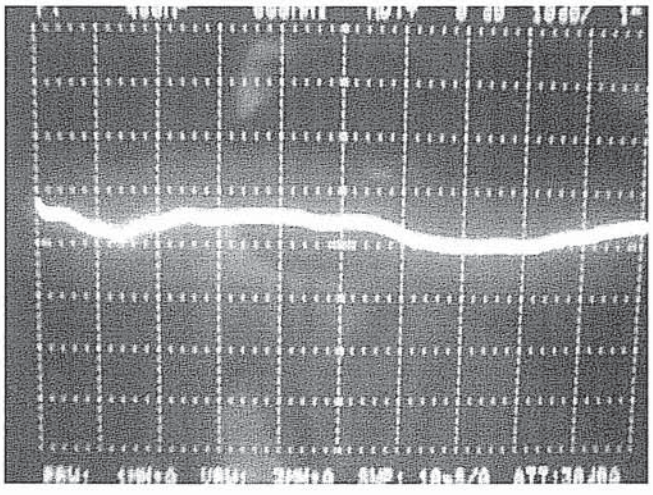


Figura 14: Respuesta absoluta de la banda UHF de 455 MHz a 856 MHz

Finalmente la figura 14 muestra la respuesta, en frecuencia, absoluta de la antena calculada para dicha banda, la cual es bastante plana. Es importante destacar, que ésta no presenta una resonancia marcada, en una frecuencia determinada, ya que esta antena posee un "Q" muy bajo, debido a la frecuencia de trabajo y al grosor de las varillas que componen la antena, respecto de su longitud.

Y en este caso, también se omitió el uso del cable coaxil RG59, por su mala respuesta en frecuencia en esta banda de trabajo.

7 CONCLUSIONES

De acuerdo con los ensayos y resultados obtenidos, y que por razones de espacio sólo han podido mostrarse algunos, se concluye que el simetrizador más apto a ser utilizado conjuntamente con las antenas dipolares de banda ancha diseñadas para cada una de las 4 bandas del instrumento PROMAX MC-843E/1, es el balun con línea de transmisión. Esta solución resultó ser la más adecuada dada su buena respuesta de banda ancha en toda la gama de frecuencias del instrumento, a diferencia de los baluns fabricados con bobinas con núcleo de ferrite Éstos poseen una respuesta mucho más estrecha, en lo que respecta a su ancho de banda, en comparación con el sistema antes mencionado.

8 BIBLIOGRAFÍA

[1] Puliafito, S: "Guías de ondas". Tomo II. Editorial Idearium. 1980.

[2] Puliafito, S: "Radiación electromagnética". Tomo III. Editorial Idearium. 1987.

[3] Jordan, E.; Balmain, K.: "Electromagnetic waves and radiating systems": Prentice may inc. 1968.

[4] Johnson, R. (Editor): "Antenna engineering handbook", Third edition. Mc Graw Hill inc. 1993.

[5] Manual de operación del medidor de intensidad de campo PROMAX MC-843 E/1.

Cálculo de Productos Matriciales en Cluster Beowulf

N. Costa, C. Catania, C. García Garino, O. León & M. Silva
ncosta@arlinkbbt.com.ar, ccatania@itu.uncu.edu.ar, cgarcia@itu.uncu.edu.ar, oleon@itu.uncu.edu.ar & msilva@uncu.edu.ar
LAPIC, Instituto Tecnológico Universitario, Universidad Nacional de Cuyo

RESUMEN: En el presente trabajo se discute el producto de matrices en Clusters Beowulf. Se presenta un algoritmo de índole general, que se emplea a manera de referencia para evaluar las prestaciones de tres casos diferentes de algoritmos que se basan en la descomposición por bloques de las matrices, y que resultan apropiados para el caso de clusters. En el trabajo se muestra que los algoritmos por bloques tienen buen rendimiento y que existen casos en que se alcanza muy buen rendimiento a costa de una mayor utilización de memoria. Los algoritmos de Cannon y Fox, a costa de un rendimiento relativamente menor, muestran un excelente compromiso entre tiempo de ejecución y consumo de memoria..

1 INTRODUCCION

El cálculo matricial es una de las herramientas más utilizadas en el contexto de los métodos numéricos en general y en la simulación de problemas de ingeniería en particular. Una de las operaciones más utilizadas dentro del cálculo matricial es el producto de matrices, el cual es una operación adecuada para su paralelización.

En este trabajo se discute el cálculo matricial en entornos paralelos y, en particular, en cluster de tipo Beowulf Ref. [1]. Con este fin se estudia el producto de matrices cuadradas densas de orden n, para lo cual se presentan varios algoritmos.

Primero se presenta un algoritmo de referencia, relativamente sencillo de analizar, el cual fue desarrollado en un trabajo previo de los autores Ref. [2], que se basa en un esquema simple de paralelización, aunque no apunta a optimizar ni rendimiento ni uso de memoria.

Luego se estudian algoritmos que implementan el producto de matrices en entornos paralelos mediante la descomposición en bloques o submatrices: el primero de ellos se basa en la distribución por bloques estáticos Ref. [3] y también se analizan los algoritmos de Cannon Ref. [3] y Fox Ref. [4][5].

En la sección 2 del trabajo se introduce el problema, y se muestra el pseudocódigo serial y en la sección 3 se presentan los algoritmo paralelos. En el punto 4 se definen los experimentos numéricos que se han llevado a cabo en el Cluster Beowulf de LAPIC, se analizan los resultados obtenidos y finalmente se presentan las conclusiones del caso.

2 ALGORITMO PARA EL PRODUCTO MATRICIAL

2.1 *Producto Matricial*

El algoritmo de resolución 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_{ij} se calcula como:

$$C_{i,j} = \sum_{K=1}^{k=n} A_{i,k} \times B_{k,j} \qquad (1)$$

El cálculo de cualquier elemento de la matriz resultado **C**, no depende de que se haya calculado previamente otro elemento de dicha matriz, por lo tanto este caso es un "buen candidato" para

paralelizar, ya que los cálculos son independientes entre sí.

2.2 *Algoritmo Serial*

```
1  procedure MAT_MULT(A, B, C)
2   begin
3    for i:= 0 to n-1 do
4      for j:= 0 to n-1 do
5        begin
6          C[i, j] :=0;
7          for k =: 0 to n-1 do
8            C[i, j] := C[i, j] + A[i, k] x B[k, j]
9        endfor
10  end MAT_MULT
```

Figura 1. Pseudo código del algoritmo serial de multiplicación de matrices.

3 ALGORITMOS PARALELOS

En este punto se presentan los diferentes algoritmos utilizados en el trabajo: algoritmo de referencia y los distintos esquemas de particionamiento por bloques citados en la introducción: Distribución estática por bloques, Algoritmo de Cannon y Algoritmo de Fox .

3.1 *Algoritmo de asignación por filas y columnas*

Este esquema, implementado por los autores en un trabajo previo Ref. [2], se basa en asignar a los procesadores hijos las matrices A y B, por filas y columnas, respectivamente. Para ello se particiona la matriz A en grupos de filas y se hace lo mismo con B por columnas, distribuyendo luego los pares de grupos filas/columnas entre los procesadores, de forma que cada procesador calcule un grupo de elementos de la matriz resultado.
Este algoritmo es más bien indicado para máquinas paralelas con memoria compartida, pero debido a su simplicidad y buena escalabilidad se lo escoge a manera de referencia.
Para esta experiencia, se adoptó como criterio dividir la matriz A en grupos de filas, que se distribuyen entre los procesadores; pero en el caso de B se pasa una copia completa a cada procesador. Esto se debe a que el algoritmo, aprovecha la organización que hace el lenguaje C de los arreglos en memoria para el caso de A; pero con B sería necesario transformarla en vectores columna para distribuirla, lo cual implicaría una cantidad adicional de cómputo y frente a esto, se ha preferido pasar una copia completa de B a cada procesador.

El algoritmo plantea la existencia de un proceso "padre" que se ocupa de distribuir la matriz A y la B entre los otros procesadores, teniendo en cuenta que si esta división no da exacta, el resto se distribuya también proporcionalmente, como se muestra en la figura 2.

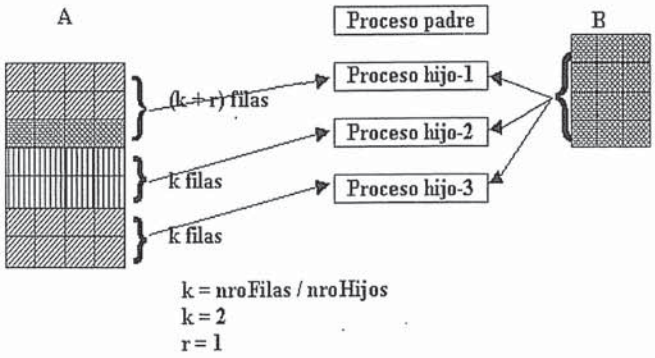


Figura 2. Esquema de distribución de datos en los diferentes procesadores

3.2 *Algoritmos basados en distribución por bloques*

Este tipo de algoritmos, a diferencia del caso anterior, asigna a los procesadores hijos bloques de las matrices A y B, como se muestra en la figura 3. En dicha figura puede verse, además que los procesadores se disponen en forma de grilla.

Proceso 0 $A_{0,0}$ $A_{0,1}$ $A_{1,0}$ $A_{1,1}$	Proceso 1 $A_{0,2}$ $A_{0,3}$ $A_{1,2}$ $A_{1,3}$
Proceso 2 $A_{2,0}$ $A_{2,1}$ $A_{3,0}$ $A_{3,1}$	Proceso 4 $A_{2,2}$ $A_{2,3}$ $A_{3,2}$ $A_{3,3}$

Figura 3. Ejemplo de distribución en una matriz de 4x4 en bloques o submatrices de 2x2 para cuatro procesadores

En general estos algoritmos tienen las siguientes restricciones: el número de procesadores p debe ser igual al cuadrado del número de bloques q y el tamaño de las matrices cuadradas A y B debe ser divisible en partes iguales por q. Una matriz A de n x n se puede considerar como un conjunto de q x q bloques $A_{i,j}$ ($0<=i<q$, $0<=j<q$). Cada bloque es una submatriz de (n/q) x (n/q). Puede observarse que para el ejemplo que se muestra en la Figura 3 resulta $n = 4$, $q = 2$, $p = 4$

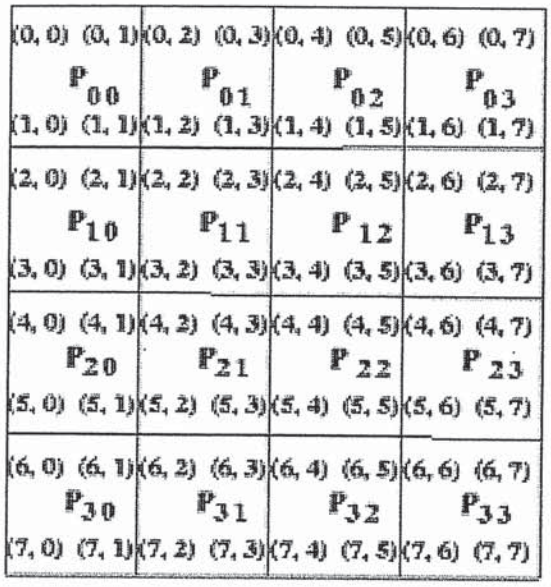


Figura 4. Distribución contigua de una matriz de 8x8 en una grilla de 4x4 procesadores.

La distribución de las matrices A y B en la grilla de procesadores puede realizarse de dos maneras: disponiendo los bloques en forma contigua, como se observa en la figura 4, o de manera cíclica, que no se discute en este trabajo.
En las subsecciones siguientes se discuten diferentes posibilidades para materializar la distribución por bloques, que dan lugar a los diferentes algoritmos que se discuten en el trabajo.

3.3 *Distribución estática*

Las matrices A y B se particionan en P bloques los cuales se distribuyen en los diferentes procesadores, siguiendo el esquema de la figura 3, que constituyen los pasos 1 y 2 del pseudo código de la figura 5.

```
1 Se separan las matrices en bloques
de N/sqrt(p).
2 Se envían sub-bloques de la matriz
A y B a cada proceso.
3 Se envían All_to_All al sub-bloque
de A a todo el grupo de filas y el
sub-bloque de B a todas las columnas.
4 Se realizan los cálculos para
obtener el sub-bloque de la matriz C.
5 Se en envían resultados al proceso
0.
```

Figura 5. Pseudocódigo del algoritmo de distribución por bloques estático

Luego se envía a los procesadores, mediante una comunicación colectiva materializada por la función MPI_AllGather los elementos restantes para completar los productos elementales, lo que constituye el paso 3 del pseudo código.
Una vez que los procesos hijos han terminado todos los cálculos el proceso padre, mediante MPI_Gather, obtiene todos los bloques o submatrices resultantes de mismos para calcular, mediante una suma de los resultados parciales de los hijos la matriz resultante.

3.4 *Algoritmo de Cannon*

Este algoritmo consiste en distribuir los bloques de las matrices A y B de manera contigua en la grilla de procesadores. Como se muestra en el estado inical de la figura 6. Cada procesador solo dispone simultáneamente de un bloque de las matrices A y B, a diferencia del algoritmo basado en la distribución estática.



Figura 6. Etapas del algoritmo de Cannon para una matriz de 2x2

Se produce luego una etapa de acomodamiento en la cual los bloques, siguiendo el procedimiento indicado el paso 3 del pseudocódigo, se reordenan como se observa en figura 6. En esta instancia se pueden calcular los productos parciales en los procesadores hijos a partir de los bloques disponibles en cada uno de ellos.
Posteriormente se procede a desplazar los bloques por medio de rotaciones de filas y columnas, para lo cual los bloques de las filas se desplazan de izquierda a derecha y los bloques de las columnas de abajo hacia arriba, para conformar la etapa 4 del pseudocódigo de la figura 7. La función MPI_Sendrecv_replace, que se basa en comunicaciones punto a punto entre los diferentes procesadores, se utiliza para realizar las operaciones

de rotación de filas y columnas . Para que cada procesador disponga de todos los bloques necesarios para cumplir con (1) se necesitan q etapas.
Una vez que se han completado todos los procesos hijos el proceso padre obtiene todos los bloques o submatrices, como en el algoritmo anterior, para lo cual también se utiliza MPI_Gather.

```
1 Se separan las matrices en bloques
de N/sqrt(p).
2 Se envían sub-bloques de la matriz
A y B a cada proceso.(estado Inicial)
3 Se redistribuyen los sub-bloques
desplazando cada sub-bloque (i,j), i-
filas a la derecha y j-columnas hacia
arriba.
4 En N/sqrt(p) etapas se realizan los
cálculos para obtener el producto
elemental del sub-bloque de la matriz
C
5 Se desplazan las filas de A y las
columnas de B.
6 Se envían resultados al proceso 0.
```

Figura 7. Pseudocódigo del algoritmo de Cannon

3.5 *Algoritmo de Fox*

Este algoritmo, al igual que el de Cannon, sólo dispone un bloque de las matrices A y B simultáneamente en cada procesador hijo.

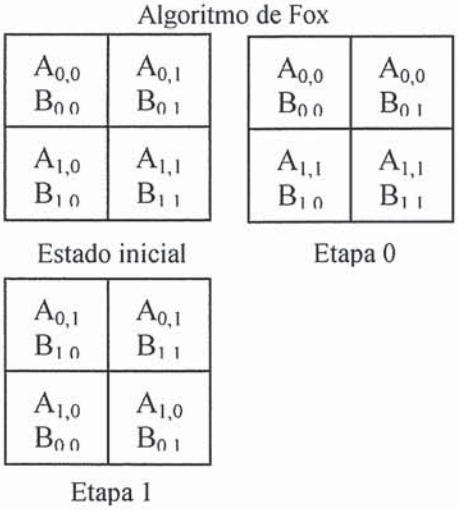


Figura 8. Etapas del algoritmo de Fox para una matriz de 2x2

La diferencia entre los dos casos es la manera en que se asignan los bloques a los diferentes procesadores para calcular los distintos productos elementales. La etapa inicial, ver figura 8, es igual al algoritmo de Cannon., de esta manera se cumplen los pasos 1 y 2 del pseudo código de la figura 9.
Posteriormente se realiza un broadcast del bloque almacenado en la diagonal principal de la grilla de procesadores al resto de los procesadores de la fila correspondiente, como se muestra en el paso 3 del pseudocódigo de la figura 9.
En el paso 4 se desplazan hacia arriba los bloques de cada columna y se calculan los productos correspondientes. Finalmente los resultados son enviados al proceso padre.

```
1 Se separan las matrices en bloques
de N/sqrt(p)
2 Se envía un sub-bloque de matriz A y
un sub-bloque de matriz B a cada
proceso.(estado inicial)
3 En N/sqrt(p) etapas es enviado un
sub-bloque de la matriz A a lo largo
de una fila y se realiza el calculo
del producto elemental.
4 Al finalizar la multiplicación, los
bloques la matriz B son desplazados en
la columna correspondiente hasta
obtener el producto completo para sub-
bloque de la matriz C.
5 Se en envían resultados al proceso
0.
```

Figura 9. Pseudocódigo del algoritmo de Fox

4 EXPERIMENTOS NUMÉRICOS

Se plantean una serie casos de prueba para efectuar la comparación de los distintos algoritmos mencionados en la sección 3.

4.1 *Diseño de los casos de prueba.*

Los casos de prueba se ejecutan sobre uno de los clusters Beowulf de LAPIC, formado por 12 nodos con procesadores P4 HT de 3GHz, 2 MB de cache L2, FSB de 800 Mhz y 1GB de memoria RAM, interconectados a través de una red ethernet de 1Gbit/s.
Todos los algoritmos se han implementado utilizando el lenguaje C y la versión 1 de la biblioteca MPICH Ref. [6].
El programa del algoritmo de referencia fue diseñado por los autores y los códigos de los 3 algoritmos por bloques considerados son modificaciones de los disponibles en la Ref. [7]. Se trabaja con matrices cuadradas densas, de orden n, formadas por tipos de datos reales de 8 bytes. El

orden de las matrices se incrementa en potencias de dos, hasta alcanzar el máximo de memoria disponible.
La asignación de memoria se realiza de manera dinámica. Los valores de las matrices son cargados en tiempo de ejecución con valores generados dentro del mismo código del programa. Los casos de pruebas se ejecutan para 4 y 16 procesadores.
Se busca obtener información referente al tiempo de ejecución y al consumo de memoria.
En lo referente al tiempo de ejecución, se calcula el tiempo total del algoritmo, como se sugiere en la Ref. [2], midiendo el tiempo transcurrido entre el comienzo del primer proceso y el final del ultimo. Además se calcula la sobrecarga asociada a la implementación del algoritmo, originada por la sobrecarga de la biblioteca MPICH, tiempo de comunicación y operaciones asociadas de manejo de memoria. Para realizar la medición de estos tiempos se utilizan funciones provistas por MPICH.
Para el consumo de memoria se calculan, de manera diferenciada, la cantidad de memoria utilizada por el proceso padre y por los procesos hijo.
Para realizar la medición del consumo de memoria, se utilizan funciones de la biblioteca estándar de C.

4.2 *Tiempo de cálculo obtenidos.*

En la figura 10 se muestra los tiempos de ejecución total para todos los algoritmos estudiados, para el caso de 4 procesadores.

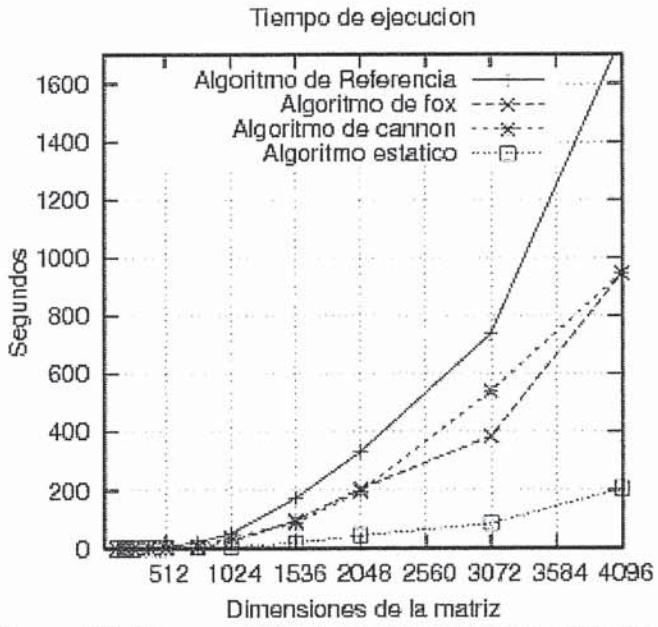


Figura 10. Comparación de tiempo de ejecución de los algoritmos para el caso de 4 procesadores.

En la misma se observa que en todos los casos los algoritmos por bloques tienen menor tiempo total de ejecución que el de referencia.
El algoritmo de distribución por bloques estático supera por un amplio margen a los otros dos.

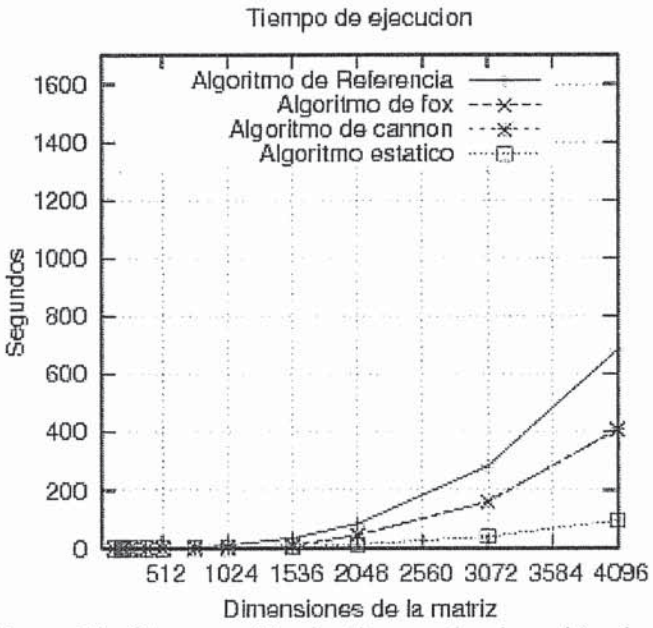


Figura 11. Comparación de tiempo de ejecución de los algoritmos con 16 procesadores.

En la figura 11 se muestran los tiempos de ejecución totales para el caso de 16 procesadores. En la misma se observa una mejora en los tiempos de ejecución para todos los algoritmos considerados y también en este caso el algoritmo de distribución por bloques estático tiene el menor tiempo de ejecución, e incluso se incrementa la diferencia con los restantes algoritmos evaluados.
En cuanto a los tiempos de sobrecarga los algoritmos por bloques son más desventajosos que el algoritmo de referencia, como surge de la figura 12, para el caso de 4 procesadores.
Para los algoritmos de Cannon y Fox, en el caso de los 4 procesadores, el tiempo de sobrecarga aumenta a medida que se incrementa el orden de las matrices. Sin embargo la sobrecarga apenas representa un 2.5% del tiempo total de ejecución para el algoritmo Cannon y un 1.5% para el algoritmo de Fox para matrices de orden 4096.
Por su parte el algoritmo de distribución por bloques estático muestra una sobrecarga del 6% respecto al tiempo de ejecución.

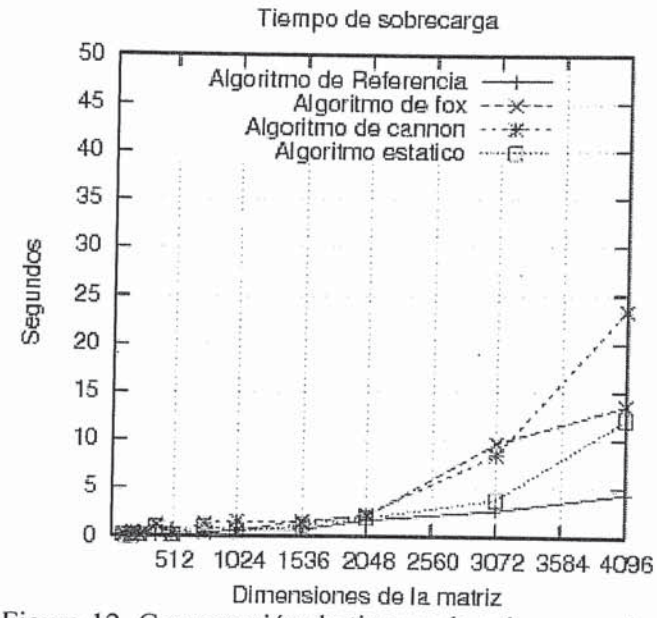


Figura 12. Comparación de tiempo de sobrecarga de los algoritmos para el caso de 4 procesadores.

El caso de prueba en 16 procesadores se muestra en la figura 13, donde se observa que el tiempo de sobrecarga es mayor que en el caso de 4 procesadores.

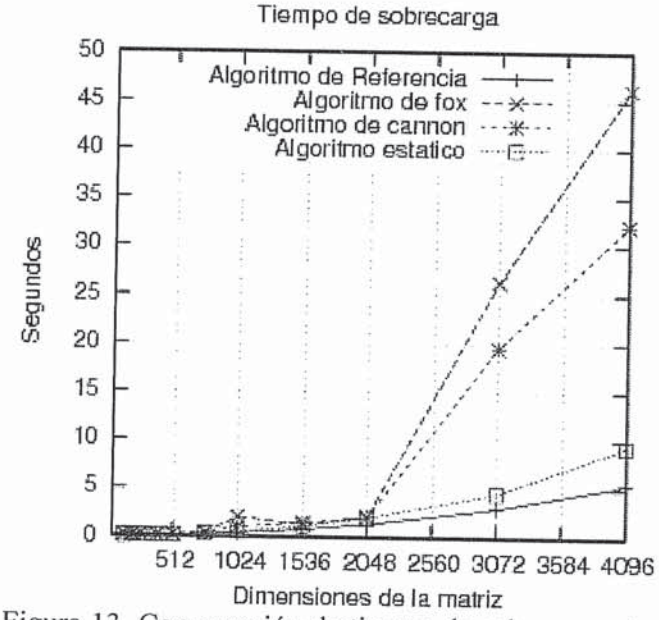


Figura 13. Comparación de tiempo de sobrecarga de los algoritmos para el caso de 16 procesadores.

En este caso la sobrecarga alcanza al 11.5% del tiempo total de ejecución para los algoritmos de Cannon y Fox con matrices de orden 4096. Estos dos algoritmos presentan un crecimiento importante en el tiempo de sobrecarga a medida que aumenta el número de procesadores. El algoritmo de distribución por bloques estático mantiene el tiempo de sobrecarga casi constante, alrededor del 12%.

4.3 *Consumos de memoria obtenidos*

La figura 14 presenta el consumo de memoria del proceso padre para el caso prueba de 4 procesadores. En la misma se observa que el el algoritmo de distribución por bloques estático utiliza mucho más memoria que los otros 2 algoritmos evaluados, llegando a consumir el 75% de la memoria disponible. Este resultado esta justificado por el diseño del algoritmo por bloques estático que necesita almacenar q bloques de las matrices A y B en cada procesador.

Por su parte los algoritmos de Cannon y Fox muestran muy poca diferencia entre si y ocupan alrededor del 50% de la memoria.

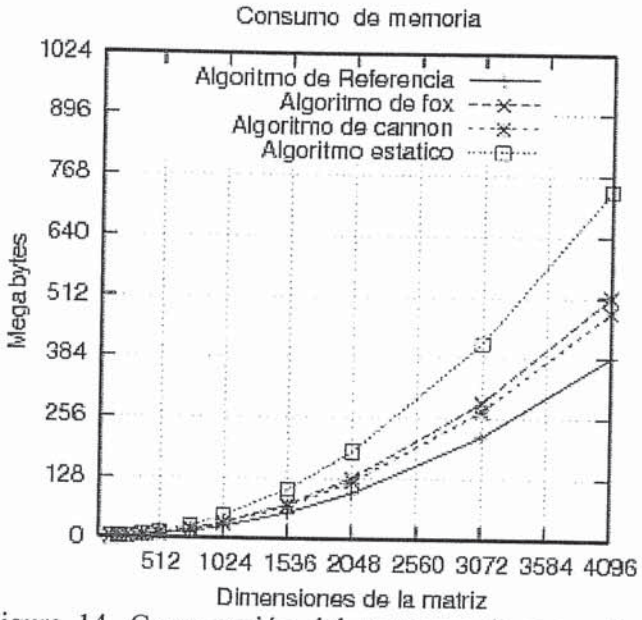


Figura 14. Comparación del consumo de memoria de los algoritmos en el proceso padre para el caso de 4 procesadores.

Si bien el algoritmo de Cannon muestra un menor consumo de memoria, este no resulta significativo. El algoritmo de referencia tiene un consumo de memoria mucho menor.

El consumo de memoria en los procesos hijos se muestra en la figura 15. También en este caso se observa, para el algoritmo de distribución por bloques estático, un consumo de memoria grande similar al caso del proceso padre. Los algoritmos de Cannon y Fox utilizan en los procesos hijos 37% de la memoria disponible. Por su parte el algoritmo de referencia mantiene el consumo de memoria igual al de proceso padre.

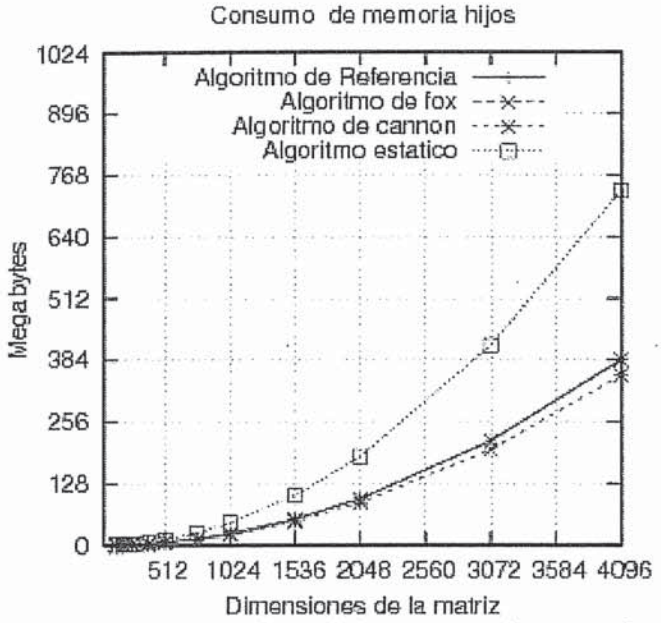


Figura 15. Comparación del consumo de memoria de los algoritmos en los procesos hijos para el caso de 4 procesadores.

Los resultados del consumo de memoria del proceso padre, para el caso de 16 procesadores se presentan en la figura 16, donde se observa que el algoritmo de distribución por bloques estático consume alrededor.del 50% de la memoria disponible, por encima de los algoritmos de Cannon y Fox que están en el orden del 37%, tendencia que confirma el resultado obtenido para el caso de 4 procesadores.

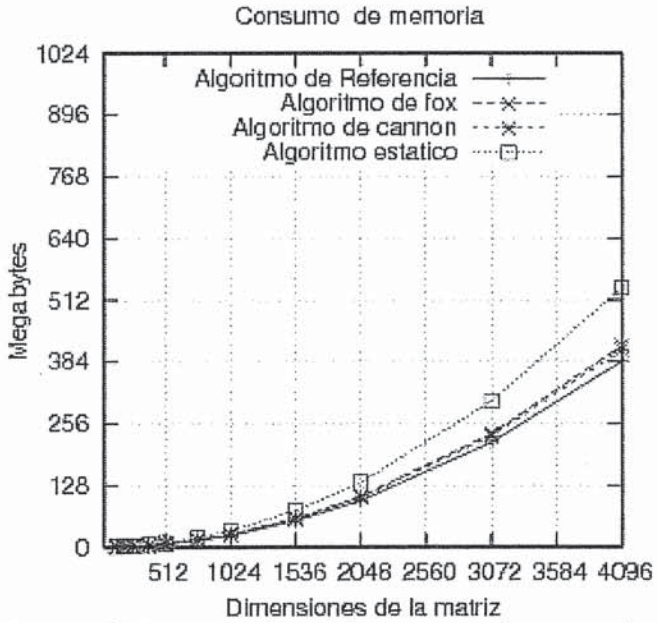


Figura 16. Comparación del consumo de memoria de los algoritmos en el proceso padre para el caso de 16 procesadores.

La figura 17 muestra el consumo de memoria en los procesos hijos para el caso de 16 procesadores, donde se observa que el consumo de los algoritmos de Cannon y Fox es similar. La proporción del consumo de estos algoritmos frente al de distribución por bloques estática se mantiene similar al caso de 4 procesadores.

Los algoritmos de Cannon y Fox al igual que en caso de 4 procesadores disminuyen el consumo de memoria en los hijos respecto del padre, con un porcentaje del 25% del total de memoria disponible, mientras que para el algoritmo de distribución por bloques estático el consumo de padre e hijos es similar.

El algoritmo de referencia, no ofrece ninguna mejora al ser probado en 16 procesadores, consumiendo el mismo 37% tanto para el proceso padre, como para los procesos hijos.

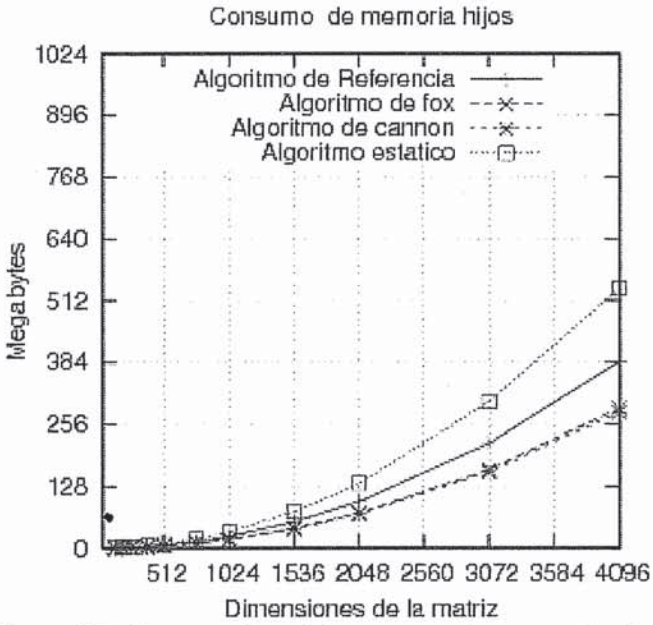


Figura 17. Comparativa del consumo de memoria de los algoritmos en los procesos hijos para 16 procesadores.

4.4 *Análisis de Resultados*

El algoritmo de referencia presenta un tiempo de ejecución comparativamente bueno debido a que la complejidad de implementarlo es muy baja. El tiempo de ejecución escala de 4 a 16 procesadores, dando como resultado un buen rendimiento. Ref. [2]

Un aspecto a mejorar de este algoritmo es el consumo de memoria, que se mantiene constante para el caso de padres o hijos, con independencia del número de procesadores. Esto se debe q que en la implementación del algoritmo se reserva espacio de memoria para las 3 matrices en cada uno de los procesadores, que es una opción inviable para un

orden alto, pero puede constituir una buena solución de compromiso para casos intermedios.
Los algoritmos de Cannon y Fox se comportan de manera muy similar tanto en tiempo de ejecución como en el consumo de memoria. El tiempo de ejecución de ambos resulta ser menor que el del algoritmo de referencia. Debido a que ambos paralelizan muchas de las operaciones en tiempo logarítmico Ref. [5]. A partir de un orden mayor a 2048 se empieza a notar la sobrecarga de la implementación del algoritmo, posiblemente por los tiempos de comunicación.
El consumo de memoria es el área donde estos algoritmos muestran una mayor eficiencia frente a los otros algoritmos observados. Se observa una diferencia entre el consumo de memoria del padre y de los hijos, debido a que solo el padre reserva el espacio de memoria para las 3 matrices y los hijos solo utilizan espacio para los bloques. Los algoritmos de Cannon y Fox, muestran una sobrecarga en el consumo de memoria debido a la necesidad de reacomodar los bloques de la matriz para una transferencia de datos más eficiente entre los procesos.
Al buscar el tiempo de ejecución mas bajo, el algoritmo de distribución por bloques estático resulta optimo a costa un alto consumo de memoria tanto en el proceso padre como en los procesos hijos. Al igual que los algoritmos de Cannon y Fox existe una sobrecarga en el consumo de memoria debido a la necesidad de reacomodar los bloques de la matriz para una transferencia mas eficiente entre los procesos, que en este caso resulta del orden del doble de la memoria utilizada por los algoritmos de Fox y Cannon.
En general puede decirse que el tiempo de sobrecarga del algoritmo de distribución por bloques estático, responde a la complejidad relativamente, pequeña de la implementación del algoritmo, ya que se efectúan pocas transferencias de datos, de tamaño más bien grande, por lo que es una buena opción si se dispone de suficiente cantidad de memoria.

5 CONCLUSIONES

De los experimentos numéricos realizados se desprende que el algoritmo de referencia constituye una buena solución para matrices de tamaño intermedio, ya que es relativamente simple y fácil de implementar en cualquier lenguaje. Posiblemente se pueda aumentar su eficiencia en el consumo de memoria a costa de mayor complejidad.

Los tres algoritmos por bloques estudiados muestran buen rendimiento. Los algoritmos de Cannon y Fox tienen prestaciones más bien similares y constituyen, dentro de la eficiencia que presentan, un muy buen compromiso entre tiempo de ejecución y consumo de memoria. El algoritmo de distribución estática por bloques es el de menor tiempo de ejecución a costa de un mayor consumo de memoria.
Es importante señalar que los algoritmos que se basan en la descomposición por bloques presentan algunas restricciones en lo que respecta al tamaño de las matrices y la cantidad de procesadores
En resumen, si el consumo de memoria no constituye un impedimento, el algoritmo basado en la descomposición por bloques estática es preferible. En otros casos se puede emplear tanto Cannon como Fox. Finalmente, el algoritmo de referencia constituye una opción sencilla, válida para cualquier tamaño de matrices y cantidad de procesadores disponibles.

6 AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la ayuda recibida mediante el Proyecto PICTR 184 subsidiado por el Programa FONCYT de la ANPCYT.

7 REFERENCIAS

[1] Clusters Beowulf: www.beowulf.org
[2] O. León & C. García Garino. Programación Paralela con MPI, Segundo Congreso Internacional CIDI Cuyo, Mendoza, 13 al 15 de Abril de 2005.
[3] A. Grama et al. Introduction to Parallel Computing. Addison-Wesley. 2003
[4] G. C. Fox et. al, Solving problems on concurrent processors, Prentice-Hall, Inc. Upper Saddle River, NJ, USA. 1987
[5] P.S. Pacheco. Parallel Programming With MPI. Morgan Kaufmann. USA. 1997.
[6] MPICH: www-unix.mcs.anl.gov/mpi/mpich1
[7] Centre for Development of Advanced Computing. A Scientific Society under Ministry of Information Technology, Government of India.Disponible en: http://www.cse.iitd.ernet.in/~dheerajb/MPI/Document/hos_cont.html.

Relación actualizada entre la aceleración del suelo y la Intensidad Mercalli Modificada para la zona norte de la Provincia de Mendoza.

E.O. Silva, G. Gioacchini & S.D. Panella
silvaeo@hotmail.com, ggioacchini@frm.utn.edu.ar & spanella@frm.utn.edu.ar
CEREDETEC, Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional

RESUMEN: Mendoza está emplazada en una zona de elevado peligro sísmico generalmente asociada a eventos superficiales de intraplaca, de tipo impulsivo, con variaciones sustanciales de la intensidad en cortas distancias. Como antecedentes se tienen los sismos de marzo de 1861 con magnitud estimada 7.0 a 7,4, el de enero de 1985 (magnitud 6.0) y el de agosto de 2005 (magnitud 5,0). Estos sismos, con focos próximos a la ciudad de Mendoza, provocaron intensidades que llegaron al grado IX a X, VIII y VI respectivamente en la Escala de Mercalli Modificada. En la presentación se muestra la determinación de las relaciones entre la aceleración máxima del suelo y la intensidad de Mercalli Modificada para la zona en estudio. El trabajo contempla a los sismos que han sido sensibles para la población con epicentros, generalmente, ubicados al norte del paralelo 34° S, en la zona norte de la provincia de Mendoza, Argentina. Se comparan fórmulas propuestas por distintos investigadores con la obtenida en base a una cantidad significativa de eventos de registros locales obtenidos en los últimos 10 años. Los resultados son trascendentes para futuros trabajos sobre curvas locales de atenuación, influencia del suelo, estudios de riesgo sísmico etc.

1 INTRODUCCIÓN

Gran parte de la Provincia de Mendoza se encuentra en la zona de mayor peligro sísmico de la República Argentina, especialmente el territorio ubicado al norte del paralelo 34° S., donde habitan aproximadamente un millón de personas. Ha tenido antecedentes sísmicos históricos relevantes como el terremoto del 20 de marzo de 1861, donde un terremoto de foco muy superficial y próximo, al que se le asigna una magnitud entre 7 y 7,4 produjo la muerte del 50 % de la población de la ciudad de Mendoza, que en ese entonces alcanzaba entre 10.000 y 12.000 habitantes. La intensidad medida en la escala de Mercalli Modificada superó el grado IX

Un antecedente reciente ocurrió el 26 de enero de 1985, donde un sismo con las mismas características que el mencionado en el párrafo anterior, pero de magnitud 5,9 - 6, produjo 6 muertes, 260 heridos y dañó severamente 12.000 construcciones. En este caso la intensidad en la Ciudad de Mendoza y alrededores estuvo comprendida dentro del grado VII, aunque existieron zonas de relativamente pequeña extensión donde la intensidad superó el grado VIII.

Más reciente es el sismo de magnitud 5,0 que ocurrió el 23 de agosto de 2005, ocasionando una intensidad VI en el Gran Mendoza con lugares puntuales donde la intensidad se aproximó al grado VII.

Además han ocurrido otros sismos de características similares que ocasionaron pérdidas de vidas y daños materiales importantes en 1903, 1917, 1920 y 1929.

La región se ve, además, sometida a los efectos de diferentes tipos de sismos de muy variadas características. Tanto las distancias epicentrales, como las profundidades de focos son muy diversas y dan lugar a percepciones de muy diferentes características.
A título de ejemplos extremos citamos el terremoto de Caucete del 23 de noviembre de 1977, 9:26:25, GMT; coordenadas: 31,3 S - 67,7 W; profundidad 13 km; Ms = 7,4, cuya duración en la ciudad de Mendoza superó largamente el minuto, alcanzando en proximidades de la misma una intensidad IMM de VII y el sismo del 26 de enero de 1985, 3:06:57,89 GMT; coordenadas: 33.053 S - 68.467 W; profundidad 5 km; Ms = 6,0 - mb = 5,9, que tuvo una duración de 3 segundos en su parte principal (Carmona J. S. 1985).

Estos ejemplos extremos acotan la gama conocida de los terremotos que han afectado seriamente el norte de la Provincia de Mendoza.

El periodo de recurrencia de sismos que ocasionen daños relativamente importantes es de decenas de años, ocurriendo frecuentemente sismos menores que causan diferente grado de alarma entre la población y cuyas intensidades varían entre los grados II y VI en la escala de Mercalli Modificada.

El Servicio de Información Sísmica del Área Sismicidad del CEREDETEC tiene como función primordial dar los parámetros principales de los eventos sensibles significativos en el plazo de una hora. Fundamentalmente se da la hora aproximada de ocurrencia, la distancia al foco, la magnitud del evento, las aceleraciones en las distintas componentes, la duración de la parte principal y la intensidad en el sitio.

Al no existir, generalmente, daños o situaciones características referidas a un grado determinado, la intensidad del evento se asignaba en forma subjetiva de acuerdo a la forma en que las personas percibían el temblor o en forma instrumental midiendo el coeficiente sísmico en sismoscopios destinados al registro de sismos de mediana intensidad. En este último caso se logró la correlación entre el coeficiente sísmico obtenido en ese tipo de sismoscopio y la intensidad mediante la Ec. 1.1 (Silva E. O. 1983):

$$I.M.M. = 1{,}5 + 2{,}5\log(Cs.g) \quad (1.1)$$

Donde:
I.M.M = Intensidad de Mercalli Modificada
Cs = Coeficiente sísmico calculado a partir del registro del sismoscopio
g = Aceleración de la gravedad (980 cm/seg2)
Este último procedimiento da, generalmente, muy buenos resultados siendo usado para estudios posteriores a la ocurrencia de un evento pero adolece de dos inconvenientes:

1. El trabajo de retirar el vidrio ahumado, fijar el registro, esperar su secado, medir y calcular el coeficiente sísmico y finalmente calcular la intensidad lleva un tiempo importante de trabajo en un instrumento diferente del principal, que es el acelerómetro digital, dificultando el trabajo técnico que se ve urgido por la demanda del medio a través del periodismo.

2. El tamaño del registro depende del desplazamiento del péndulo, el que a su vez depende de la relación de periodos entre el movimiento del terreno y el del péndulo, pudiendo en muy pocos casos distorsionarse levemente el resultado.

Con el advenimiento de los acelerómetros digitales es posible extraer en forma rápida y segura los parámetros sísmicos enunciados anteriormente.

2 OBJETIVO

El objetivo del trabajo es lograr calcular instrumentalmente la Intensidad Mercalli Modificada provocada por un sismo, en función del pico de aceleración horizontal máxima medida en ese lugar. La determinación es aplicable a la zona conocida como Gran Mendoza, ubicada al norte de la provincia de Mendoza.

Se presentan los resultados obtenidos instrumentalmente, la curva correspondiente de mejor ajuste y la ecuación que la representa.

3 ANTECEDENTES

Existen numerosas referencias bibliográficas y antecedentes en relación al problema. Veremos algunas de ellas escritas en forma diferente de cómo

aparecen en la bibliografía (Sauter F. 1989) para adaptarlas al trabajo:

Gutemberg y Richter (1956) (Sauter F. 1989), Ec. 3.1

$$I.M.M. = 1{,}5 + 3 \log Ac$$

Ambrasseys (1974) (Sauter F. 1989), Ec. 3.2

$$I.M.M. = 0{,}4444 + 2{,}7778 \log Ac$$

Trifunac y Brady (1975) (Sauter F. 1989), Ec. 3.3

$$I.M.M. = -0{,}4667 + 3{,}3333 \log Ac$$

Sauter (1977) (Sauter F. 1989), Ec. 3.4

$$I.M.M. = -0{,}8986 + 3{,}6232 \log Ac$$

Saragoni propone (Saragoni R. G. 1996), Ec. 3.5.

$$I.M.M. = 0{,}6434 + 2{,}8985 \times \text{Log}\ \ Ac$$

Bolt la establece en (www. Stormloader.com/rman/c1b2c.htm) , Ec. 3.6

$$I.M.M. = -1{,}0862 + 3{,}195 \times \text{Log}\ \ Ac$$

Donde Ac es el promedio del pico máximo de la aceleración horizontal medido en cm/seg^2 e I.M.M. es la intensidad de Mercalli Modificada.

Cuando se representan gráficamente las ecuaciones anteriores se observan diferencias notables entre los valores obtenidos según sea la ecuación.
Algunos autores como Murphy y O'Brien afirmaban en 1977 que existen otros factores tales como la magnitud, la distancia epicentral y la ubicación geográfica del sitio que deben tenerse presente y que por lo tanto las expresiones varían según la región (Sauter F. 1989).

Generalmente los sismos provenientes de focos próximos que afectan la zona y que histórica e instrumentalmente han provocado intensidades mayores o iguales a VI, tienen como particularidad una notable polarización de las ondas en una dirección, como se observa en las figuras Fig. 3.1 (Silva E. O. y otros 2001) y Fig. 3.2 (Carmona J. S. 1985)

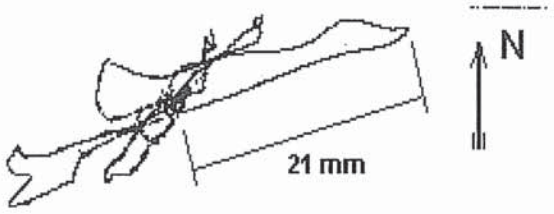


Fig. 3.1 – Registro de sismoscopio para fuertes terremotos. 26 de enero de 1985 – Municipalidad de Godoy Cruz

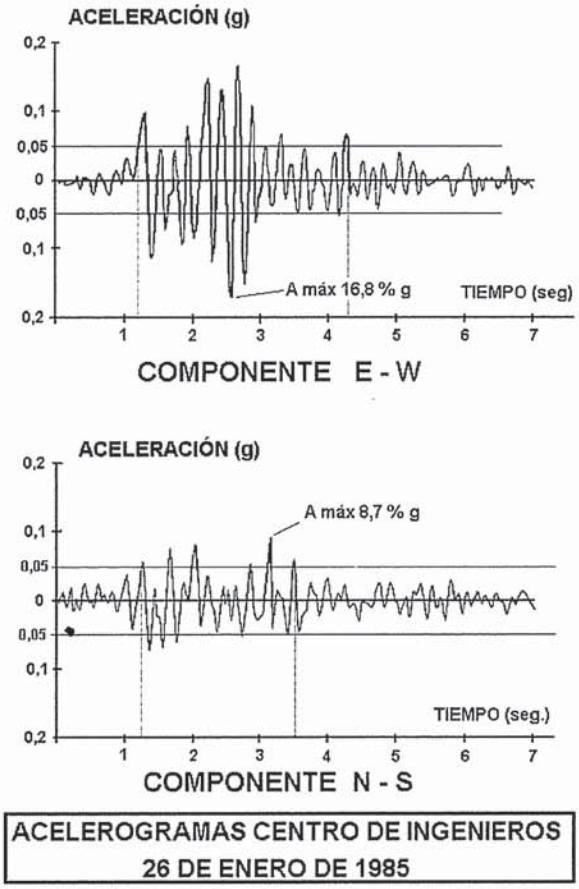


Fig.3.2. Acelerogramas correspondiente a las componentes horizontales. Registro obtenido en un acelerómetro analógico SMAC

En la figura anterior se observa que, además de existir una notable diferencia entre los valores absolutos de los picos de aceleración en las dos componentes horizontales, no existe correspondencia entre máximos. Por ejemplo, cuando se produce el pico máximo de aceleración (0,168 g) en la componente E – W el valor de la aceleración en la componente N – S es, aproximadamente, 0,02 g..

Estas tipologías de registro en el único sismo significativo registrado instrumentalmente hasta agosto de 2005, nos induce a considerar en el estudio, como parámetro principal, el pico de aceleración máxima horizontal no promediada.

Con todos estos antecedentes y contando con un número significativo de registros que permite encarar con racionalidad el problema se ha abordado el desarrollo del trabajo.

4 METODOLOGÍA

El trabajo se basó en 61 observaciones instrumentales. De ellas, 59 corresponden a registros obtenidos en un acelerómetro digital SSA-2 emplazado en el CEREDETEC desde 1995 a la fecha. Las dos restantes son acelerogramas obtenidos el 26 de enero de 1985 en un acelerómetro SMAC en la sede del Centro de Ingenieros de Mendoza y en un acelerómetro SMA-1 en el edificio de la Municipalidad de Las Heras.

El acelerómetro SSA-2 da la aceleración en forma directa en valores de (g), mientras que en los del tipo Etna hay que transformar los valores registrados en función de la sensibilidad del instrumento, pues los da en volts. Se ha comprobado que los valores de aceleración leídos en uno y otro tipo de instrumento son los mismos. Esto permite aplicar la curva presentada en este trabajo a cualquiera de los tipos de instrumentos mencionados instalados en la zona.

Se han tomado para la realización del presente trabajo el pico máximo de aceleración de las componentes horizontales de cada evento.

Para desarrollar la investigación aplicada se han tenido en cuenta las intensidades informadas por el S.I.S. dentro de la hora de ocurrido el evento. En la gran mayoría de los casos, por tratarse generalmente de sismos de corta distancia focal, existe una buena correlación conceptual entre la intensidad asignada subjetivamente o por sismoscopio y la aceleración medida instrumentalmente.

En otros esa correlación no es tan buena debido fundamentalmente a la situación en que se encuentran las personas en el momento en que se ven sorprendidas por el sismo. Trataremos de explicar el fenómeno mediante dos ejemplos:

El primero corresponde a un sismo de magnitud considerable que proviene de un foco relativamente lejano, como ser ubicado en el Norte Chico de Chile. La parte principal del acelerograma dura decenas de segundos que se aproximan o superan el minuto. Por su prolongada duración causa mucha alarma entre la población, pues es percibido nítidamente por casi todas las personas. No obstante su aceleración es relativamente pequeña y es un sismo inofensivo para las construcciones y para las personas a menos que se produzcan situaciones emocionales. Por la alarma que produce se le asigna una intensidad sobrevalorada.

El segundo corresponde a un sismo de pequeña magnitud, por ejemplo 4,5, proveniente de un foco muy próximo a la ciudad de Mendoza, 50 Km. o menos. La parte principal del acelerograma dura entre dos y tres segundos y salvo que la persona esté en reposo, generalmente, no llega a percibirlo, pudiendo ser confundido con una explosión. La aceleración puede ser más importante que la del primer ejemplo y si no se tiene práctica se puede subvalorar la intensidad, que por otra parte varía en forma notable de lugar en lugar.

Por tales motivos en el estudio no se ha tenido en cuenta la duración efectiva o de la parte principal de los eventos.

En dos o tres eventos de intensidades comprendidas entre los grados III y V se corrigió la intensidad asignada en los primeros momentos.

En un primer intento solamente se tuvieron en cuenta los valores de aceleración registrados en acelerómetros digitales. En todos los casos corresponden a sismos que no provocaron daños en el lugar de emplazamiento del instrumento. Se comprobaron ecuaciones con diferentes tipos de curvas: lineal, potencial y logarítmica, comprobando que para bajos valores de intensidad, hasta V o VI, la que mejor se ajustaba ya era la logarítmica Ec.4.1, ver Fig. 4.1, con un valor R2 = 0,905

$$I.M.M. = 2{,}82 \log Ac_{máx}\,(g) + 9{,}5224 \quad (4.1)$$

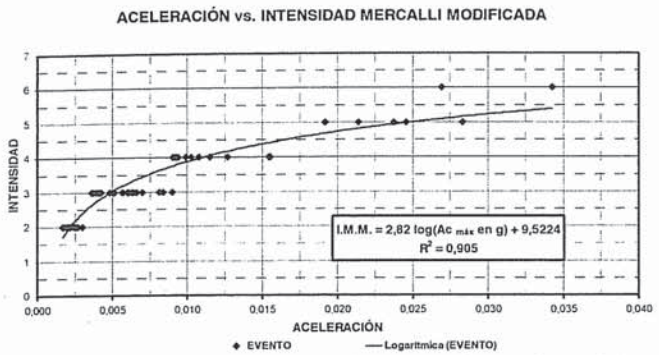


Fig. 4.1 – Relación logarítmica entre la aceleración y la intensidad hasta grado VI

En orden decreciente se adaptó la curva potencial Ec 4.2, ver Fig. 4.2, con un valor R2 = 0,9048

$$I.M.M. = 20{,}61 \times [Ac_{máx} en(g)]^{0{,}3702} \qquad (4.2)$$

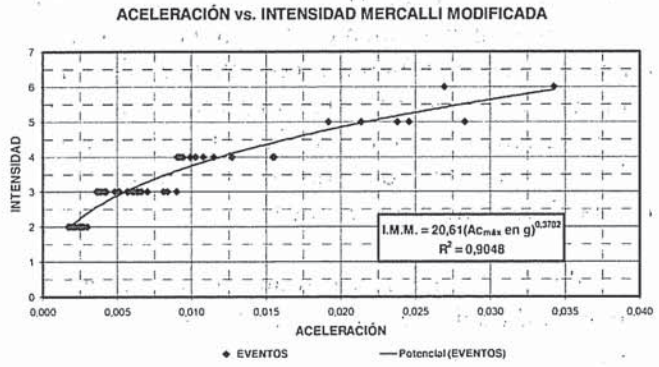


Fig. 4.2 – Relación potencial entre la aceleración y la intensidad hasta grado VI

Finalmente quedó la expresión lineal Ec 4.3, ver Fig. 4.3 con un valor R2 = 0,858

$$I.M.M. = 128{,}11[\text{Acmáx en }(g)] + 2{,}1748 \qquad (4.3)$$

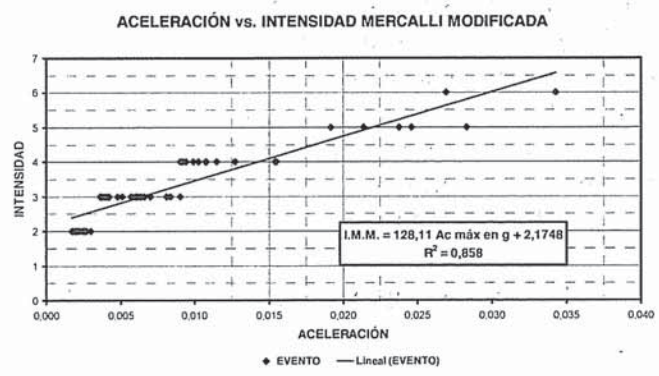


Fig. 4.3 – Relación lineal entre la aceleración y la intensidad hasta grado VI

Se extrapoló para aceleraciones mayores y se descartaron por inconsistentes tanto la lineal como la potencial, no quedando duda que debe considerarse una expresión logarítmica como la proponen todos los autores. Así por ejemplo, para un pico de aceleración de 1 g la Ec. 4.2 arroja un valor de intensidad mayor que 20 y la Ec. 4.3 supera el valor 130.

En cambio la Ec. 4.1 da un valor de intensidad de 9,52

Luego de este análisis se incorporaron dos registros obtenidos el 26 de enero de 1985:

Uno tomado en un acelerómetro SMAC instalado en una zona donde la intensidad estuvo comprendida entre los grados VII y VIII, con un pico de aceleración máxima en la componente Este – Oeste de 0,168 g (Carmona J. S. 1985) Fig. 4.5. Conviene aclarar que existe una diferencia en el mapa entre la ubicación del acelerómetro SMAC y la isosista que encierra el grado VII, pero que en realidad en ese punto la intensidad alcanzó o superó levemente el grado VII.

El otro corresponde a un acelerómetro analógico SMA-1 instalado en la Municipalidad de Las Heras, donde la intensidad superó el grado VIII sin llegar a IX.. En este instrumento el pico máximo de aceleración llegó a 408,47 gal, o sea 0,42 g, aproximadamente, también en la componente E – W, (INPRES 1985) Fig. 4.4. y Fig. 4.5. El registro considerado corresponde al acelerómetro ubicado en el sector norte del mapa y dentro de ese pequeño sector encerrado por la isosista correspondiente a VIII

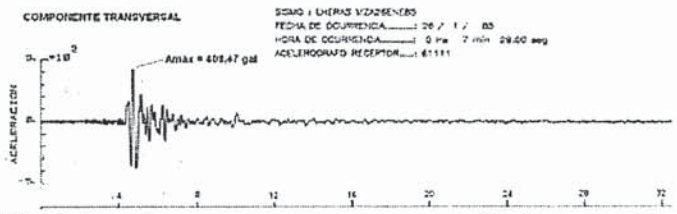


Fig.4.4. Acelerograma correspondiente a la componente horizontal E – W

Registro obtenido en un acelerómetro analógico SMA– 1

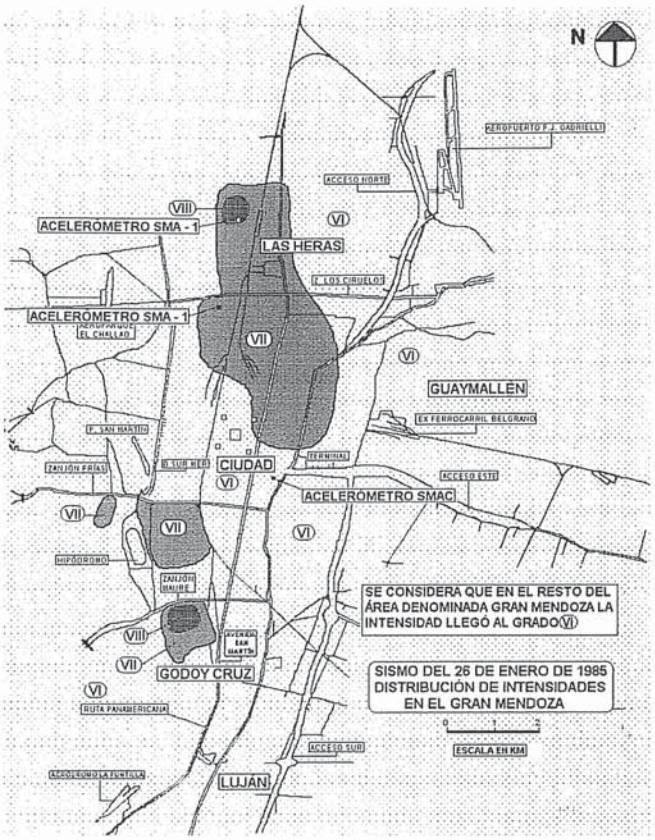


Fig. 4.5 – Isosistas 26 de enero de 1985 y ubicación acelerómetros

En este caso se obtiene la Ec. 4.4 y Fig. 4.7.

$$I.M.M. = 2{,}844 \times \log[Ac_{máx}\,en(g)] + 9{,}5787 \quad (4.4)$$

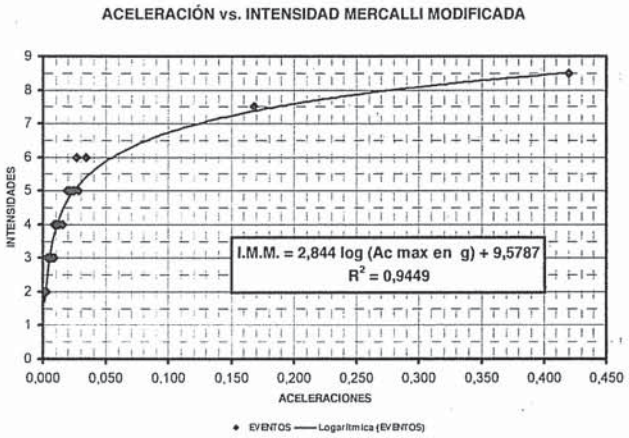


Fig. 4.7 – Relación logarítmica final entre la aceleración y la intensidad

En la Fig. 4.8 se observan las curvas logarítmicas que relacionan aceleración máxima con Intensidad Mercalli Modificada propuestas por diferentes autores, resaltando en negro la emergente de este trabajo.

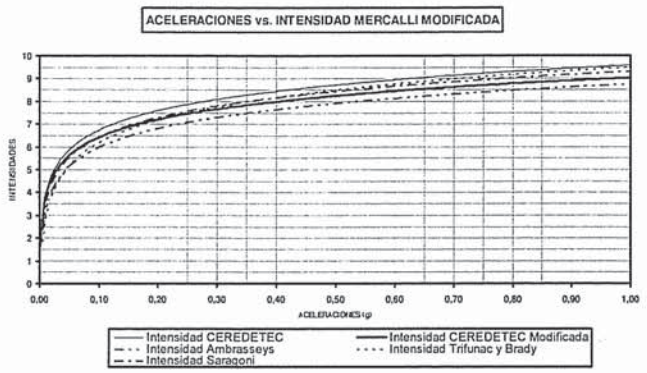


Fig. 4.8 – Relaciones de Aceleración Máxima con Intensidad Mercalli Modificada según diferentes autores.

El 23 de agosto de 2005 se produce un sismo de muy corta distancia focal. Epicentro con coordenadas 32,81°S 68,77°W con una profundidad de foco de 10 km. y magnitud Md 5,0. Geográficamente el epicentro se ubica en la zona del Borbollón. En un acelerómetro ubicado a 15,7 km del epicentro se registra un pico de aceleración máxima de 0,446 g, que provoca en el lugar de registro daños compatibles con una intensidad VI a VII.

Al incorporar los datos instrumentales de este registro se modifica la curva propuesta en forma apreciable, obteniendo la que se muestra en la Fig. 4.9.

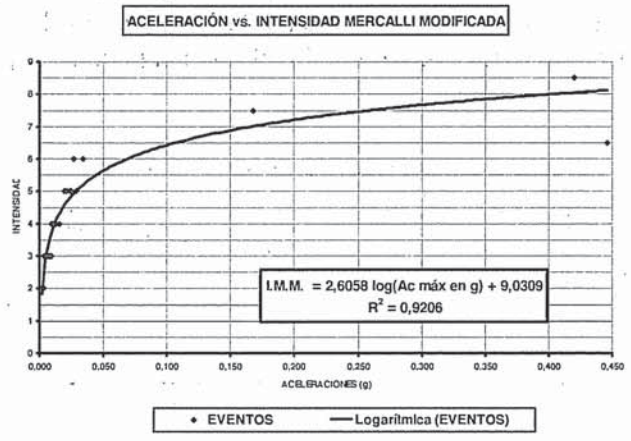


Fig. 4.9 – Relación de Aceleración Máxima con Intensidad Mercalli Modificada considerando el sismo del 23 de agosto de 2005.

La ecuación que representa esta curva es:

$$I.M.M = 2{,}6058 \times \log[Ac_{máx}\,en(g)] + 9{,}0309 \quad (4.5)$$

5 CONCLUSIONES

Los registros y datos analógicos utilizados en la elaboración del presente trabajo provienen de instrumentos emplazados en zonas donde, en el caso del 26 de enero de 1985, se comprobaron intensidades bien definidas de acuerdo a la descripción establecida para los grados VII y VIII de la Escala de Intensidades de Mercalli Modificada.

El trabajo ha permitido formular una ecuación y el correspondiente gráfico que permite asignar el valor de intensidad sísmica medida en la escala mencionada, para la zona norte de la Provincia de Mendoza, en función del pico de aceleración máxima registrada en las componentes horizontales en un acelerómetro digital, despersonalizando la determinación y facilitando notablemente las tareas inmediatas después de ocurrido un evento.

$$I.M.M = 2{,}6058 \times \log[Ac_{máx}\,en(g)] + 9{,}0309 \quad (5.1)$$

Para quienes operen acelerómetros digitales en el área bajo estudio, creemos deben usar el gráfico de la Fig. 5.1 a fin de determinar en forma expeditiva la I.M.M. en el caso de sismos menores. Es prácticamente la misma expresión propuesta en la ecuación (5.1) para relacionar la intensidad con la aceleración, pero más extendida en el rango de las aceleraciones menores a fin de una rápida y mejor visualización.

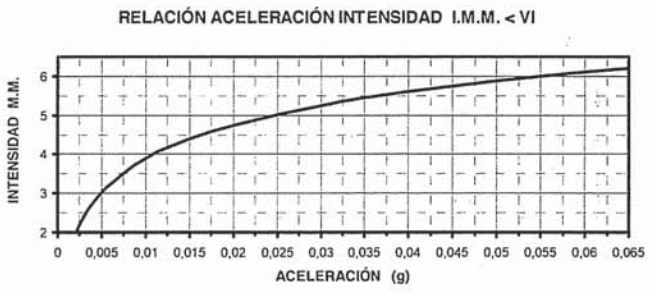


Fig. 5.1 – Gráfico para determinación de intensidades con bajas aceleraciones

O en base a los valores contenidos en la Tabla 1

Tabla 1 – Relaciones entre aceleración máxima e Intensidad Mercalli Modificada

PICO ACELERACIÓN MÁXIMA (g) EN REGISTROS	INTENSIDAD MERCALLI MODIFICADA A ASIGNAR	ACELERACIÓN TEÓRICA PARA EL GRADO
0,0033 < Ac	II	0,0022
0,0033 < Ac. < 0,0076	III	0,0049
0,0076 < Ac < 0,017	IV	0,0109
0,017 < Ac < 0,035	V	0,0245
0,035 < Ac < 0,08	VI	0,0552

En dos ocasiones se han asignado intensidades VI a sismos que en realidad han tenido una intensidad comprendida entre V y VI:
El ocurrido el 18 de junio de 2002, con un pico de aceleración máxima de 0,02694 g, que produjo daños en el edificio de la Legislatura de la Provincia de Mendoza, demostrando evidentemente que ese edificio tenía elevada vulnerabilidad sísmica.

El percibido el 24 de septiembre de 2002, con un pico de aceleración de 0,03426 g, provocó gran alarma y cortes de energía eléctrica en varios sectores del Gran Mendoza, sin que se tuvieran noticias sobre daños

De acuerdo a la expresión obtenida en este trabajo el grado VI bien definido recién se alcanza cuando la aceleración llega a 0,065 g.

REFERENCIAS

[1] Silva, E. O. (1983) "Desarrollo de un Sismoscopio para el Registro de Sismos de Mediana Intensidad - Red de Sismoscopios - Coeficientes Sísmicos y Efectos frente a Sismos Típicos". Memorias de las III Jornadas de Ingeniería Estructural - 10 al 12 de agosto de 1983 - Tomo II - Título 24.

[2] Carmona, J.S. - (1985) - Terremoto del 26 de enero - Sus requerimientos a los edificios de Mendoza - Revista Centro - N° 67 - Año 28 - pág. 40 a 42.

[3] Sauter, F. - (1989) - Fundamentos de Ingeniería Sísmica -1- Introducción a la Sismología - Editorial Tecnológica de Costa Rica, pág 121 a 123.

[4] Silva, E.O. – Tornello, M.E. – Frau, C.D. – Galdame, I. A. (2001) – Correlaciones entre Coeficientes Sísmicos obtenidos en

Sismoscopios para Fuertes Terremotos y Aceleraciones medidas en Acelerómetros Digitales - Segundo Congreso Iberoamericano de Ingeniería Sísmica.

[5] INPRES, (1985) "El Terremoto de Mendoza, Argentina, del 26 de Enero de 1985".

[6] Saragoni R. G. (1996) "Seismic risck evaluation for the design of large dams in Chile". Chilean National Committee On Large Dams.

[7] www.stormloader.com/rman/c1b2c.htm

Diagnóstico, análisis y propuestas de mejora en la gestión de las organizaciones y empresas mendocinas.

M. E. Pósleman de Sícoli, A. D. Cantú, J. L. Moreno & P. Acosta
mposlema@uncu.edu.ar & acantu@uncu.edu.ar
Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Cuyo

RESUMEN: Toda organización es un conjunto de recursos y esfuerzos orientados a la consecución de determinados objetivos. Estos recursos están conformados principalmente por un conjunto de personas, instalaciones, infraestructura y otros activos, con una disposición determinada de responsabilidades, autoridades y relaciones. En la actualidad, las organizaciones deben enfrentar grandes desafíos, producto de la globalización, mayor competitividad, tecnología creciente y cambios de contexto o en el entorno. Para poder enfrentar esta problemática, las mismas deben desarrollarse y mejorar, lo que las lleva a introducir cambios en la forma de gestionar sus procesos. Estos cambios se traducen en la incorporación de una gestión organizacional efectiva como forma de llevar adelante sus negocios, debiendo tomar una actitud proactiva y estableciendo una estrategia que les permita ser más competitivas, preservando e incrementando sus activos. Se presenta en este trabajo un análisis de organizaciones mendocinas, realizado a través de la implementación de encuestas a personal perteneciente a las mismas, y una serie de propuestas metodológicas para mejorar la gestión de sus procesos principales basadas en los resultados obtenidos.

1 INTRODUCCIÓN

Toda organización es un conjunto de recursos y esfuerzos orientados a la consecución de determinados objetivos. Estos recursos están conformados principalmente por un conjunto de personas, instalaciones, infraestructura y otros activos, con una disposición determinada de responsabilidades, autoridades y relaciones. En la actualidad, las organizaciones deben enfrentar grandes desafíos, producto de la globalización, mayor competitividad, tecnología creciente y cambios de contexto o en el entorno. Para poder enfrentar esta problemática, las mismas deben desarrollarse y mejorar, lo que las lleva a introducir cambios en la forma de gestionar sus procesos y negocios, a través de una actitud proactiva y estableciendo una estrategia organizacional que les permita ser más competitivas, preservando e incrementando sus activos. A la gestión organizacional la podemos definir como aquel conjunto de diligencias conducentes al logro de un negocio o de un deseo cualquiera, pero quizás la definición que mejor se adapta al concepto moderno, es aquella que contempla al conjunto de acciones destinadas a actuar sobre las variables que puedan

otorgar una ventaja competitiva o que puedan producir un mejoramiento en la actividad principal o negocio de la organización. Tomando como referencia estas particularidades y los antecedentes disponibles sobre la temática, podemos agrupar a las variables organizacionales en: recursos humanos, procesos, económico financieras y suministros.
Estas variables organizacionales se indican en la Fig. N°1, donde además se esquematiza cómo se vinculan entre sí y con los demás componentes clave, como son los factores externos e internos, una gestión estratégica y la calidad organizacional.



Fig. N.1: Variables organizacionales

La gestión de estas variables está orientada a alcanzar determinados objetivos que la organización debe desarrollar para poder mejorar su desempeño, fijados en base a un acertado análisis estratégico, el cual define y orienta las acciones a implementar para alcanzar estos objetivos. Este sistema de gestión debe estar basado en conceptos de calidad, los cuales constituyen la base fundamental para el desarrollo del negocio principal de la organización, focalizando sus acciones en la atención al cliente. Todos estos factores, llamados "factores internos", deben estar vinculados entre sí por un flujo de información y comunicación, y constituyen las variables sobre las cuales la organización puede actuar y tener influencia, buscando en base a éstas, una mejora del desempeño global. Pero al constituir las organizaciones sistemas abiertos que interactúan con el medio, se deben contemplar todos los factores externos que pueden afectar el resultado del negocio principal, variables que la organización no puede modificar pero que debe tener en cuenta como oportunidades ó amenazas que el medio presenta.

2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Atendiendo a la amplitud de la temática planteada y con el fin de establecer un marco lógico y razonable para el desarrollo del presente trabajo, es que se han planteado los siguientes objetivos:

- Analizar el proceso de gestión de las organizaciones locales, centrado en aspectos estratégicos, recursos humanos, procesos productivos, comunicación, insumos, etc. a través de la implementación de herramientas de gestión e investigación.
- Obtener un marco conceptual acerca de la naturaleza de las organizaciones locales y sus modalidades actuales de gestión.
- Determinar áreas de gran desarrollo y otras de gran debilidad de las organizaciones actuales, identificando potencialidades y deficiencias comunes.
- Proponer acciones y una metodología de trabajo que permitan hacer efectiva la mejora de los sistemas de gestión, teniendo en cuenta los aspectos culturales y humanos de las organizaciones.

3 MÉTODOLOGÍA IMPLEMENTADA PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO

A diferencia de otros lugares, en Mendoza es escasa la información disponible respecto al estado actual de las organizaciones locales, principalmente en cuanto a su modalidad de gestión. Es por ello que se buscó, a través de la implementación de herramientas específicas, definir la "salud global" de cada organización, en base a la evaluación del estado o grado de desarrollo de diversas variables tales como la claridad en la definición de sus objetivos estratégicos, sistemas de comunicación, estructura organizacional, coordinación entre áreas, clima laboral, calidad, procesos críticos, formación de los recursos humanos, estilos de dirección, evaluación de la satisfacción de clientes, etc.
La hipótesis de trabajo del presente proyecto considera que por medio de un acertado diagnóstico y análisis organizacional se puede obtener valiosa información para introducir mejoras en la gestión de empresas u organizaciones, sustentadas en herramientas y metodologías de simple aplicación.
Se buscó con la metodología implementada para el desarrollo del trabajo, lograr relevar un número mínimo de pequeñas y medianas organizaciones cuya muestra fuera representativa de la actividad en nuestro medio, que la información fuera

suministrada por los mandos medios ya que generalmente estos forman parte del sector más ejecutivo u operativo de las mismas, identificar potencialidades y debilidades específicas de estas y desarrollar, a través de la información obtenida, un diagnóstico organizacional particular de las entidades relevadas.

Para la identificación y selección del grupo de organizaciones, se contactaron a propietarios, gerentes, administradores, jefes de área, responsables de sector, tanto de empresas privadas como públicas, interesados en la temática y en las potencialidades del proyecto. Se determinó una clasificación y ordenamiento lógico de las organizaciones a relevar, de acuerdo a la tipología o características distintivas de las mismas, empresas privadas, empresas públicas, consultoras o estudios profesionales, empresas de servicios o de productos, y empresas con más o con menos de 20 personas.

4 HERRAMIENTAS UTILIZADAS PARA LA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Las herramientas utilizadas para la recopilación de la información requerida por el trabajo fueron sencillas encuestas cuyo contenido está direccionado hacia la temática analizada.

4.1 Encuesta para el análisis del funcionamiento de la organización

El objetivo de esta evaluación, es la verificación del cumplimiento de los Principios Clásicos de Administración según Fayol (1916) Ref. [1], a los que éste consideraba necesarios para que una organización tuviera buen funcionamiento. Se confeccionó el siguiente cuestionario:

1- División del trabajo. ¿Se trabaja con tareas específicas dentro de la organización, con especialización de las funciones para trabajar más y mejor?

2- Autoridad y responsabilidad. ¿La autoridad cuenta con el derecho a mandar y el poder de hacerse obedecer, aceptando la responsabilidad por los resultados?

3- Disciplina. ¿Existe disciplina dentro de la organización, obediencia, lealtad y esfuerzo?

4- Unidad de mando. ¿El personal recibe órdenes siempre de un solo superior?

5 - Unidad de dirección. ¿Existe una sola unidad de mando, con un solo programa de acción para cumplir los objetivos propuestos, coordinando esfuerzos?

6- Subordinación de lo individual a lo general. ¿Los objetivos de las distintas unidades o áreas están alineados con los objetivos generales de la organización?

7- Remuneración del personal. ¿La remuneración del personal se considera equitativa e incentivadora, tanto para el personal como para la empresa?

8- Centralización. ¿Se puede considerar a la organización como "centralizada" en lo que respecta a la delegación de autoridad?

9- Jerarquía o cadena escalar. ¿Cada persona sabe claramente quién es su jefe y quiénes sus subordinados?

10- Orden. ¿Existe "orden" tanto material como humano dentro de la organización?

11- Equidad. ¿Existe equidad en el trato con el personal, para lograr que éste trabaje con su máxima capacidad?

12- Estabilidad del personal. ¿Existe la carrera profesional dentro de la organización, para evitar la rotación de personal?

13- Iniciativa. ¿Se apoya la iniciativa dentro del personal para concebir y ejecutar tareas?

14- Espíritu de equipo. ¿Existe unión y armonía entre las personas que integran la organización?

4.2. Encuesta para la evaluación sobre administración estratégica de la organización

El objetivo de esta evaluación es conocer el grado de aplicación de los criterios de administración estratégica a la gestión de la organización Ref. [2], Ref. [3], a través del siguiente cuestionario:

1. ¿Existe en la empresa una declaración formal de la Misión, Visión, Política y Valores?

2. ¿Posee un proceso formalizado de planificación estratégica en su empresa?

3. ¿Existe un análisis formal de las principales fortalezas o factores estratégicos críticos de la empresa para poder potenciar los mismos?

4. ¿Se tienen en cuenta al formular los objetivos el entorno de la empresa, el mercado, los competidores, los clientes, los nuevos productos?

5. ¿Se plantean objetivos a corto, mediano y largo plazo?

6. ¿Las personas de su empresa están informadas y saben lo que se espera de ellas?

7. ¿El planteamiento de los objetivos se realiza mediante una labor de equipo, con coordinación entre personas y departamentos?

8. ¿Los objetivos de las distintas unidades o áreas están alineados con los objetivos generales de la organización?
9. ¿Se toman las medidas necesarias para cumplir los objetivos propuestos?
10. ¿Se transmite y se da a conocer los objetivos planteados a todas las áreas de la empresa, otorgando los recursos necesarios para alcanzarlos?
11. ¿Están claros los objetivos que persigue la empresa, se los conoce en toda la organización?
12. ¿Posee algún sistema formalizado de seguimiento y control de metas y objetivos propuestos?
13. ¿Existe un proceso periódico de análisis de los resultados y revisión de los objetivos alcanzados?

4.3. *Análisis de "salud" organizacional integral*
El principal objetivo de esta evaluación es conocer el estado general de la organización, en base a 18 variables principales o aspectos relevantes en la gestión, tales como objetivos, comunicación, coordinación, clima, calidad, mejoras, control, funciones, decisiones, problemas, negociaciones, delegación, reuniones, confianza, conflictos, disciplina, formación y clientes. Estas variables se califican con una escala que va de 1 (peor) a 5 (mejor), en base a preguntas específicas sobre cada aspecto. Ref. [4].

5 RESULTADOS OBTENIDOS

5.1 *Resultados de encuesta para el análisis del funcionamiento de la organización*

Tabla N° 1: Porcentaje de cumplimiento de los principios organizacionales del total de la muestra.

		EVALUACIÓN	
	TEMAS	SI	NO
1	DIVISIÓN DEL TRABAJO	65%	35%
2	AUTORIDAD Y RESPONSABILIDAD	86%	14%
3	DISCIPLINA	78%	22%
4	UNIDAD DE MANDO	46%	54%
5	UNIDAD DE DIRECCIÓN	57%	43%
6	SUBORDINACIÓN	76%	24%
7	REMUNERACIÓN DEL PERSONAL	43%	57%
8	CENTRALIZACIÓN	70%	30%
9	JERARQUÍA	86%	14%
10	ORDEN MATERIAL Y SOCIAL	57%	43%
11	EQUIDAD	68%	32%
12	ESTABILIDAD DEL PERSONAL	24%	76%
13	INICIATIVA	76%	24%
14	UNIÓN DEL PERSONAL	70%	30%

En la tabla N° 1, se presenta el porcentaje de cumplimiento de los principios organizacionales de acuerdo a un total de 37 organizaciones componentes de la muestra.

5.2. *Resultado de la evaluación sobre administración estratégica de la organización*
En la tabla N° 2 se presenta el porcentaje de cumplimiento de las preguntas sobre administración estratégica según el total de 29 organizaciones encuestadas.

Tabla N° 2: Porcentaje de cumplimiento de las preguntas sobre administración estratégica.

ASPECTOS A EVALUAR	SI	NO
1. ¿Existe en la empresa una declaración formal de la Misión, Visión, Política y Valores o Principios Rectores?	62%	38%
2. ¿Posee un proceso formalizado de planificación estratégica en su empresa?	52%	48%
3. ¿Existe un análisis formal de las principales fortalezas o factores estratégicos críticos de la empresa para poder potenciar los mismos?	31%	69%
4. ¿Se tienen en cuenta al formular los objetivos el entorno de la empresa, el mercado, los competidores, los clientes, los nuevos productos?	90%	10%
5. ¿Se plantean objetivos a corto, mediano y largo plazo?	79%	21%
6. ¿Las personas de su empresa están informadas y saben lo que se espera de ellas?	45%	55%
7. ¿El planteamiento de los objetivos se realiza mediante una labor de equipo, con coordinación entre personas y departamentos?	45%	55%
8. ¿Los objetivos de las distintas unidades o áreas están alineados con los objetivos generales de la organización?	69%	31%
9. ¿Se toman las medidas necesarias para cumplir los objetivos propuestos?	62%	38%
10. ¿Se transmite y se da a conocer los objetivos planteados a todas las áreas de la empresa, otorgando los recursos necesarios para alcanzarlos?	34%	66%
11. ¿Están claros los objetivos que persigue la empresa, se los conoce en toda la organización?	34%	66%
12. ¿Posee algún sistema formalizado de seguimiento y control de metas y objetivos propuestos?	45%	55%
13. ¿Existe un proceso periódico de análisis de los resultados y revisión de los objetivos alcanzados?	38%	62%

5.3. *Resultados de la evaluación sobre "salud organizacional"*
Sobre un total de 39 organizaciones componentes de la muestra, se detalla en la Tabla N° 3 el resultado obtenido, de acuerdo a la escala de evaluación propuesta y según el siguiente criterio:
Nivel 5: excelente
Se logran los objetivos, las cosas van bajo control y sometidas a un sistema de mejora continua. Las

variables son medibles, cuantificables, cumplen los objetivos prefijados, aportan beneficios y los clientes internos y externos sienten satisfacción. Buenas comunicaciones y Desarrollo de una labor de equipo. Las tareas y funciones claras, se cuenta con procedimientos. Se tiene muy claro el concepto "yo gano / tu ganas". La empresa esta orientada a satisfacer al cliente y aumentar la competitividad.

Tabla Nº 3: Evaluación de las variables organizacionales

		EVALUACIÓN				
	ASPECTOS	5	4	3	2	1
1	OBJETIVOS	33%	5%	31%	28%	3%
2	COMUNICACIÓN	28%	38%	15%	5%	13%
3	COORDINACIÓN	28%	13%	28%	23%	8%
4	CLIMA	26%	36%	28%	3%	8%
5	CALIDAD	13%	18%	36%	13%	21%
6	MEJORAS	15%	31%	31%	18%	5%
7	CONTROL	23%	23%	33%	10%	10%
8	FUNCIONES	18%	31%	21%	28%	3%
9	DECISIONES	18%	10%	38%	28%	5%
10	PROBLEMAS	13%	49%	26%	13%	0%
11	NEGOCIACIÓN	8%	31%	31%	23%	8%
12	DELEGACIÓN	18%	28%	38%	13%	3%
13	REUNIONES	15%	21%	21%	38%	5%
14	CONFIANZA	10%	33%	38%	10%	8%
15	CONFLICTOS	33%	46%	15%	5%	0%
16	DISCIPLINA	36%	10%	46%	3%	5%
17	FORMACIÓN	13%	26%	10%	36%	15%
18	CLIENTES	46%	5%	33%	15%	0%

Nivel 4: muy bueno

Caracterizado por no actuar, no hacer nada frente a los grandes problemas que no se resuelven. Hay conformismo y quejas sin respuestas. La coordinación falla y hay cosas que debieran mejorar. La calidad funciona con un sistema especialmente referido al producto o servicios pero hay áreas que parecen ajenas al sistema. Las funciones están determinadas por el organigrama y por la descripción correspondiente pero no se revisan periódicamente y están desfasadas. En general hay un clima de confianza. Hay problemas, reclamos de algunos clientes frente a los cuales la empresa se disculpa pero no se hace nada para darle solución.

Nivel 3: satisfactorio

Bloqueo de la comunicación. Las personas no tienen información clara y actúan suponiendo entender lo que se espera de ellas. Confusión, poca cooperación y objetivos que no se alcanzan. Las mejoras las hace cada uno dentro de lo que se puede pero no hay un plan concreto. Hay una cierta confianza y se espera que las personas cumplan. La calidad fluye en líneas generales. Los clientes no se integran a la organización

Nivel 2: insatisfactorio

Apuros, nervios, estrés, reproches y tensiones que caracterizan a toda la organización. Se trabaja con todo "para ayer". Las personas cumplen con lo que se les pide pero desconocen el alcance y limitaciones de sus funciones. Se actúa en base a indicaciones y no hay un sistema de comunicación ni de información claros. Se controla lo básico para que funcione todo el proceso de forma medianamente aceptable. Hay problemas con los clientes, reclamos, quejas, muchas de las cuales se arrastran y no se solucionan.

Nivel 1: deficiente

Tensiones, discusión, enfrentamientos y quejas de proveedores y clientes internos y externos. La comunicación es parcial y limitada y no hay una coordinación clara. Faltan métodos, sistemas y las personas están ajenas al tema. Prácticamente no hay ninguna política de gestión.

En la figura Nº 2, se indica el promedio general de toda la muestra, obtenido según la evaluación realizada.

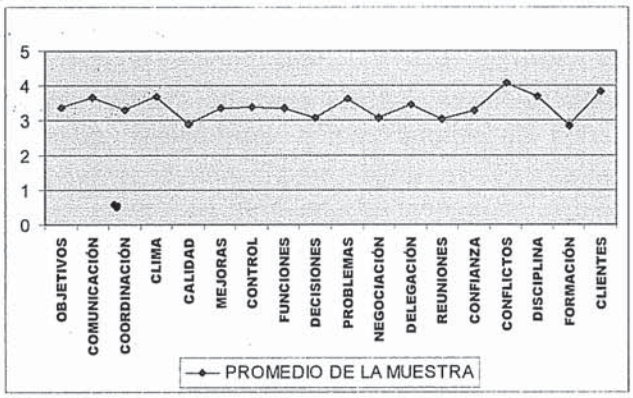


Fig. Nº 2: Gráfico de líneas indicando el promedio general de evaluación del total de la muestra.

6 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

6.1 *Análisis de los resultados de la evaluación del funcionamiento de la organización.*

Teniendo en cuenta los valores resultantes de la evaluación, se puede realizar el siguiente análisis:

1. Se obtuvo un alto porcentaje de resultados positivos en los principios de autoridad y responsabilidad (86%), jerarquía (86%) y disciplina (78%), lo cual deja en evidencia que está bien identificada dentro de las organizaciones la autoridad suprema y la línea de mando a seguir.

2. El principio de iniciativa (76%) establece que desde el interior de la organización se apoyan las propuestas innovadoras del personal para concebir y ejecutar tareas.
3. Quedan evidenciadas notables deficiencias en el principio de Estabilidad del Personal, con el 76% de respuestas negativas lo cual indica que las personas no tienen expectativas o no contemplan la posibilidad de realizar su carrera laboral en las diversas empresas a las que pertenecen, aumentando con esto la rotación del personal.
4. El resto de los principios, con un porcentaje mayor al 50% de respuestas positivas, está evidenciando que en general se cumplen con los principios teóricos básicos de administración dentro de cada organización evaluada.
Debe tenerse en cuenta que estos principios no son absolutos ni rígidos, por lo cual deben adaptarse a la realidad de cada organización. Estos dan una idea general del estado de las mismas frente a los conceptos establecidos como clásicos para su buen funcionamiento.

6.2 *Análisis de los resultados de la evaluación sobre administración estratégica de la empresa*
Realizando un análisis de los puntos relevados sobre la aplicación en los sistemas de gestión de los criterios de administración estratégica, se puede concluir:
1. Existe en general en un gran porcentaje de las organizaciones evaluadas, una declaración formal de misión, visión o políticas (62%), pero en la mayoría de ellas (69%) no se realiza un análisis formal de las principales fortalezas o factores estratégicos para poder potenciarlos y obtener mejores resultados en sus negocios. Esto es contradictorio, ya que a la hora de establecer la misión, visión y políticas de gestión, estás deberían estar fundadas en base a los factores estratégicos internos de la organización.
2. Lo que sí realizan la mayoría de ellas (90%) es un análisis del entorno en el cual desarrollan sus actividades, competidores, clientes y mercados.
3. Se plantean en general objetivos a corto, mediano o largo plazo (79%), pero estos no son claramente informados a todos los involucrados, no se los conoce en toda la organización, ni están establecidos por medio de trabajo en equipo, lo que llevaría a que dichos objetivos fueran más realistas, consensuados y promoverían el compromiso de los participantes.
4. A pesar de que en casi la mitad de las organizaciones existe un sistema formalizado de seguimiento y control de los objetivos (45%), éstos no son revisados ni evaluados en períodos establecidos, lo que dificulta la retroalimentación de los resultados y el aprendizaje (62%).

6.3 *Análisis de los resultados de los cinco niveles de "salud organizacional"*
De los puntos evaluados, se pueden destacar con resultado positivo y un gran porcentaje (mayor al 65%) entre las calificaciones 5 y 4, el análisis sobre clientes, comunicación, problemas y conflictos.
Estos puntos destacan los esfuerzos de los integrantes de las diferentes organizaciones por orientarse hacia el cliente, establecer buenas comunicaciones tanto internas como externas, trabajar con un buen clima de confianza y resolver los problemas o conflictos con una labor de equipo.
Cabe destacar en cambio los puntos con más bajo nivel de evaluación como los de reuniones, disciplina y formación.
De acuerdo a la evaluación realizada, las reuniones no están planificadas, son largas y sin métodos, lo que las convierte en poco efectivas.
Respecto al tema disciplina, se ve a ésta como algo impuesto y de variable interpretación y aplicación.
En formación, ésta es escasa y sin un plan estudiado de formación de los recursos humanos.

7 PROPUESTAS DE MEJORAS A IMPLEMENTAR EN LAS EMPRESAS

En base a los resultados obtenidos, se busca con este proyecto proponer acciones y actividades sencillas y realizables a implementar en las distintas organizaciones, como un aporte para producir un mejoramiento en la gestión de las mismas.

7.1 *Mejoras en el área de administración estratégica*
La gestión organizacional debe estar basada y fundada en una estrategia previamente estudiada y consensuada entre todos los integrantes de la organización, partiendo del establecimiento de metas claras, alcanzables y entendidas por todos, logrando el compromiso y la participación efectiva.
Uno de los principales requerimientos para implementar en forma efectiva una estrategia organizacional es que la gente se sienta incluida en este proyecto, sea artífice del cambio, involucrándose y participando activamente del mismo.

Pero para poder lograr este compromiso e involucramiento, deben sentirse identificadas con la organización, lo que obliga a que la misma tenga una marcado perfil, políticas claras y características distintivas basadas en valores éticos, estratégicos y en la forma de desarrollar sus negocios.

Para que esto sea posible, las organizaciones deben tener claro y dar a publicidad sus valores organizacionales y principios rectores, los que establecen las bases para la definición de la cultura, la misión y visión de la organización.

Para definir las principales etapas a cumplir en la implementación de una gestión estratégica, podemos enumerar:

1- Definición de la organización por medio del desarrollo de la misión y visión, saber y definir lo que la organización es y desea alcanzar en un futuro. Esta servirá como fundamento para las decisiones fundamentales que el equipo de administración tomará y es importante porque proporciona un marco de referencia para todas las decisiones de planeamiento importantes.

2- Análisis de la dinámica del entorno o análisis externo, poniendo en evidencia las oportunidades y amenazas que el medio presenta a la organización y la evaluación e identificación del entorno, el medio donde desarrolla sus actividades y los principales agentes del sector, clientes y competidores.

3- Identificación de las posibilidades y limitaciones de la organización o análisis interno, como el estudio de los aspectos fuertes que deben ser potenciados y los débiles que deben ser mejorados.

Esta evaluación se realiza fundamentalmente por medio del análisis F.O.D.A., el cual corresponde a la evaluación de las Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas en el interior de la organización.

4- Formulación y selección de la estrategia óptima, definiendo caminos de acción, herramientas o métodos para obtener resultados beneficiosos. Contemplar el desarrollo de las actividades para alcanzar los objetivos propuestos, teniendo en cuenta la planificación de las mismas destinadas a definir cómo, cuándo, por quién y de qué forma se va a realizar el trabajo.

5- Definición de objetivos y metas, como los parámetros o estándares que la organización se propone alcanzar para lograr un mejoramiento o diferenciación sustancial.

Los objetivos son declaraciones de resultados específicos medibles que se deben lograr dentro del marco de tiempo del plan, y constituyen los logros más importantes para ese periodo, representando las posiciones futuras que la organización desea alcanzar. Es necesario limitar el número de objetivos a plantear, para así concentrarse en pocos logros vitales e importantes. En general se puede hablar de cinco a diez objetivos como máximo por área o sección.

6- Establecimiento de los criterios que se utilizarán para la implementación de la estrategia y la medición de los resultados, obteniendo evidencia objetiva de las mejoras alcanzadas por medio de herramientas o indicadores adecuados.

7- Establecimiento de un mecanismo de retroalimentación y aprendizaje, que permitirá a la organización adquirir experiencia en los procesos de cambio organizacional, un mejoramiento continuo de sus procesos productivos y poner en evidencia la necesidad de implementar ajustes en la manera de administrar sus procesos.

7.2 *Propuestas generales para mejorar la gestión organizacional*

En base a los diversos puntos o perspectivas planteados en las evaluaciones, se proponen acciones o recomendaciones generales a implementar para mejorar el sistema de gestión de la organización, como una forma de aplicar "buenas prácticas de gestión":

- Definir la Misión, Visión y Objetivos Estratégicos.
- Fijar objetivos consensuados a largo, mediano y corto plazo.
- Priorizar áreas, procesos, productos o proyectos críticos.
- Reflejar el camino de la comunicación en el organigrama de la organización.
- Establecer reuniones de grupos de trabajo coordinadas, efectivas, con frecuencia periódica y participación de todos los involucrados.
- Comunicar a todo el personal las políticas de recursos humanos, evaluación del desempeño e incentivos.
- Fijar una política de calidad, darla a publicidad general y disponer los recursos necesarios para alcanzar los objetivos propuestos.
- Trabajar en forma coordinada con clientes y proveedores.
- Establecer y comunicar claramente líneas de autoridad, funciones y responsabilidades.
- Trabajar con un enfoque en procesos.
- Evitar los conflictos personales y actuar con objetividad.

- Fomentar los estilos de dirección basados en la coordinación y delegación.
- Implementar una metodología de reuniones, horarios, actas, responsables.
- Utilizar herramientas de planificación, análisis, interpretación y control para la toma de decisiones.
- Definir las competencias laborales necesarias para cada puesto o rol.
- Priorizar a los clientes estratégicos.

8 CONCLUSIONES

El Desarrollo Organizacional exige dos tipos de cambios: estructurales (cambio en los procesos, en los productos, en la estructura, en la organización) y de comportamiento (cambio en el ambiente de trabajo, desarrollo de equipos o grupos de trabajo, retroalimentación de información, enfoque al cliente y al mercado, etc.)

La organización debe mantenerse vigente, competitiva y aceptada, adaptándose a las condiciones ambientales en permanente cambio. Poseer una estructura flexible con cargos redefinibles, descentralizada, implementar el autocontrol y respetar las personas, la ética y el medio ambiente. Pero para poder obtener una ventaja competitiva, debe considerar, evaluar y gestionar todos aquellos parámetros y variables que pueden producir un resultado exitoso en la organización, tomando como principio rector el que dice que "*lo que no se mide no se puede controlar, lo que no se puede controlar no se puede gestionar y lo que no se puede gestionar no se puede mejorar*". Como actividad específica de transferencia de los conocimientos adquiridos en el desarrollo del proyecto, se entregará a cada empresa relevada, un análisis que considere sus debilidades y fortalezas tomados en base a los resultados de su propia auto evaluación y a la comparación con el promedio de todas las organizaciones participantes (tal como se muestra en la figura N° 2), obtenido como resultado de la evaluación sobre "Salud Organizacional", complementado por un informe que contenga recomendaciones particulares para una mejor gestión de sus procesos centrales.

Quedará que cada organización plantee en el interior de la misma, algunos interrogantes en base al análisis de la información entregada:

- ¿Qué hemos descubierto sobre nuestra organización en base a este análisis?
- ¿Cuáles son los puntos o sectores más críticos?
- ¿Cuáles son nuestras expectativas de mejora y cambio?
- ¿Qué aportes podemos realizar para el mejoramiento de la organización?
- ¿Qué cosas podemos coordinar entre los involucrados para mejorar y cambiar?
- ¿Qué objetivos, acciones y/o planes de mejora se pueden proponer concretamente?
- ¿Cuáles son las barreras a superar para cambiar?

9 BIBLIOGRAFÍA

[1] M. Campero Q., F. Alarcón C., "Administración de Proyectos Civiles", Ediciones Universidad Católica de Chile, 2da. Edición. 2003.

[2] A. Cantú, "Modelo para la implementación efectiva de la administración estratégica". Tesis de Magíster. Maestría en Calidad y Gestión de Empresas. Facultad de Ingeniería. UNCuyo. 2002.

[3] J. Hermida, R. Serra, E. Kastika, "Administración & Estrategia". Grupo Editorial Norma, 2004.

[4] A. Senlle, "Cómo evaluar su calidad". Ediciones Gestión 2000. 1999.

Reconocimiento de vehículos terrestres mediante visión artificial y una red neuronal perceptrón

J. A. Laporte & J. F. Fernandez

jlaporte@frm.utn.edu.ar & jfernandez@frm.utn.edu.ar
IRESE, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza,(5500) Mendoza, Argentina

H. D. Patiño

dpatino@inaut.unsj.edu.ar
Instituto de Automática (INAUT), Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Juan, (5400) San Juan, Argentina

RESUMEN: El presente trabajo propone un sistema de reconocimiento automático de diferentes clases de vehículos automotores terrestres basado en visión artificial y redes neuronales artificiales perceptrón. El sistema emplea patrones generados a través del procesamiento de una imagen del vehículo tomada por una cámara de visión artificial, colocando la misma en una posición fija en un lugar apropiado. La generación de tales patrones se basa en la medición sin contacto del largo y alto promedio del vehículo. Los mismos se obtienen (efectuándose previamente el reemplazo del fondo de la imagen original por un fondo blanco) al promediar las distancias, sobre segmentos rectos, para los píxeles correspondientes a la primera y última diferencia entre los niveles de grises del vehículo y el fondo blanco.El sistema de reconocimiento desarrollado puede discriminar cuatro tipos de patrones, pertenecientes a diferentes clases de vehículos: automóviles, camionetas, camiones y ómnibus de pasajeros. Los resultados obtenidos en simulación muestran la factibilidad práctica de la implementación del sistema y prueban un buen desempeño en la tarea de reconocimiento.

1 INTRODUCCIÓN

Motivación y objetivos de este trabajo.

El conocimiento del número y tipo de vehículos de autotransporte terrestre que circula por un determinado lugar de inspección, a una determinada hora, o durante un determinado intervalo de tiempo, es de vital importancia para distintos entes del sector publico y privado como ser:

- Ingeniería de tránsito: ella esta interesada en el diseño, planificación y puesta en marcha de estrategias adecuadas, tanto en el ámbito urbano como rural, para la regulación y control de tránsito vehicular, en forma tal de que en una primera instancia se conforma con evitar la congestión vehicular y en una segunda instancia, mucho más

ambiciosa, la de optimizar la circulación vehicular en forma tal de abreviar los tiempos muertos ocasionados por las esperas al detenerse los vehículos, minimizar el consumo de combustible provocado por los sucesivos arranques a bajas velocidades disminuyendo la contaminación que esta asociada, etc. En zonas urbanizadas el tráfico también está tomando características dinámicas tales, que los sistemas tradicionales de control con semáforos no pueden regular adecuadamente el flujo vehicular, el cual es muy variante dependiente de las actividades propias de cada región. Es por ello que este problema ha adquirido una relevante importancia en cuanto a su estudio y análisis debido a la necesidad de encontrar soluciones de bajo costo. Para ello se están incorporando nuevas tecnologías en los sistemas automáticos de control (Fu-Sheng Ho y P. Ioannou, [1]; Raza H. y P. Ioannou, [2]).

Uno de los puntos fundamentales en la solución de esta problemática es la obtención del *grado de ocupación* de una arteria, el cual puede emplearse para establecer políticas avanzadas de descongestionamiento y control del flujo vehicular. Dichas políticas pueden incorporarse en los dos niveles jerárquicos del sistema de control, tanto en el nivel superior de control (unidad central de operación) como en los sistemas de señalización vertical luminosos (unidades locales de control). De esta manera puede lograrse un sistema de control más autónomo e inteligente. Actualmente, a fin de obtener información sobre el comportamiento del flujo vehicular se están empleando diferentes tipos de elementos de medición colocados adecuadamente en lugares estratégicos de la calzada. Estos son los encargados de generar una señal que será utilizada para realizar la identificación del tipo de vehículo y la cantidad de los mismos que se desplazan en un determinado momento y lugar. Esta información y su procesamiento resultan estratégicos en el desarrollo de políticas y planes avanzados de descongestionamiento y control del flujo vehicular.

-Vialidades Provinciales y Nacionales: ellas están interesadas en una correcta conservación de la capa asfáltica de los viaductos provinciales y nacionales, para lo cual efectúan controles de pesaje por eje, únicamente en vehículos de carga terrestre a granel, ya que una indebida distribución de carga en los mismos, provoca un deterioro prematuro en el citado viaducto. En el caso del puesto fronterizo con Chile que tiene la D.N.V. en la provincia de Mendoza, se efectúa además un cobro de peaje, según el tipo de vehículo.

-Concesionarios de rutas nacionales y provinciales: los mismos tienen puesto de peaje, en los cuales la tarifa aplicada (para un puesto determinado) depende exclusivamente del tipo de vehículo.

-Organismos de contralor de los concesionarios de rutas nacionales y provinciales: como estos últimos reciben un subsidio del estado por vehículo que ha circulado por los puestos de peaje, surge la necesidad de verificar la cantidad de los mismos.

-Aduanas: una de sus funciones es controlar el tipo de vehículo que ingresa y egresa por nuestras fronteras.

-Direcciones de turismo: Una de las formas de evaluar el flujo de turistas, es contabilizar los ingresos o egresos de algunos tipos de vehículos , durante un intervalo de tiempo, en un determinado lugar.

En el presente trabajo se propone un sistema de identificación y clasificación para diferentes clases de vehículos usando visión artificial y redes neuronales artificiales, empleando como principal referencia a Laporte y Patiño, [3] y [4]. Para ello se utiliza visión artificial, la cual se emplea para realizar la identificación y clasificación de cuatro clases de vehículos: automóviles, camionetas, camiones y ómnibus de pasajeros. Para realizar dicha tarea se propone una red neuronal de aprendizaje supervisado tipo perceptrón multicapa.

2 INTRODUCCIÓN AL RECONOCIMIENTO DE PATRONES

Un patrón puede representarse por un vector $\mathbf{z}$ de l componentes. Cada una de una de ellas corresponde a una medición numérica efectuada sobre una determinada variable. Podemos obtener un vector $\mathbf{x}$, de dimensión n, el cual represente las características de $\mathbf{z}$. Normalmente, se trata que la magnitud de n sea lo menor posible. Un conjunto de patrones que comparte una o más características comunes, se denomina clase de patrón o cluster. En muchas aplicaciones, lo que se pretende es encontrar en forma automática, el baricentro de la clase denominado centro del cluster.

La Fig. 1, muestra un conjunto de algunas mediciones numéricas, compuestas por vectores cuyas componentes son x_1 y x_2.

Puede apreciarse claramente que hay dos clases (A_1 y A_2), siendo sus respectivos centros de clústeres C_1 y C_2.

En el presente trabajo, se propone un sistema capaz de realizar la clasificación automática de patrones

empleando un vector de dos componentes que representan el largo y alto promedio de un vehículo medido en píxeles de una imagen obtenida por visión artificial. Para ello se entrena una red neuronal perceptrón multicapa (Haykin, [5]), la cual tiene la capacidad de encontrar automáticamente los centros de las clases correspondientes a cada tipo de vehículo.

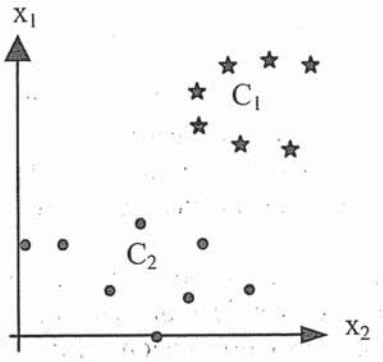


Figura 1. Componentes de las clases A_1 y A2

3 USO DE LA VISIÓN ARTIFICIAL

3.1. Características de una imagen digital

Para que la imagen de un objeto pueda ser tratada por medio de un microprocesador, debe ser sometida previamente a dos procesos: *muestreo* (el que consiste en la digitalización espacial de la imagen) y *cuantificación del nivel de gris* (el que consiste en digitalizar la intensidad de la imagen) (González, Woods, [6]). En este trabajo, se emplearon imágenes digitales de 865 x 311 píxeles con 256 niveles de grises.
Mediante los procesos de muestreo y cuantificación, se puede representar a una imagen mediante una matriz numérica, de manera tal de poder efectuar transformaciones matemáticas en dicha imagen, y de esta forma realizar operaciones, entre otras como la detección de bordes.

3.2 Detección de Bordes

Un borde en una imagen es aquella frontera entre dos regiones con niveles de grises relativamente distintas. Mientras más distintos sean estos niveles de grises, más marcado será ese borde.
En la Fig. 2 se muestra una imagen digital de una banda clara sobre un fondo más oscuro, considerándose además que la transición en los niveles de grises entre las regiones es gradual. En la misma se ha trazado una línea de exploración horizontal (L-L), indicándose como varia el nivel de gris y su primera derivada a lo largo de esta línea.
Se puede apreciar que la ubicación de los bordes existentes entre la región central clara y sus vecinas más oscuras, coincide con la ubicación de los máximos valores absolutos de la primera derivada.
Se puede utilizar un método aproximado para calcular esta derivada, como el que se describe a continuación: en vez de calcular la derivada del nivel de gris para un determinado píxel, lo que se hace es calcular el incremento del nivel de grises en un entorno de él. Dado los píxeles 1, 2 y 3, ubicados sobre la línea L-L, siendo Z_1 y Z_3 los niveles de gris de 1 y 3, se cumplirá que cuando exista alguna de las dos siguientes condiciones, se verificará que:

$Z_3 - Z_1 = 0$ Ambos píxeles están en la misma región.
$Z_3 - Z_1 \neq 0$ Los píxeles están en regiones distintas, es decir que entre ambas existe un borde.

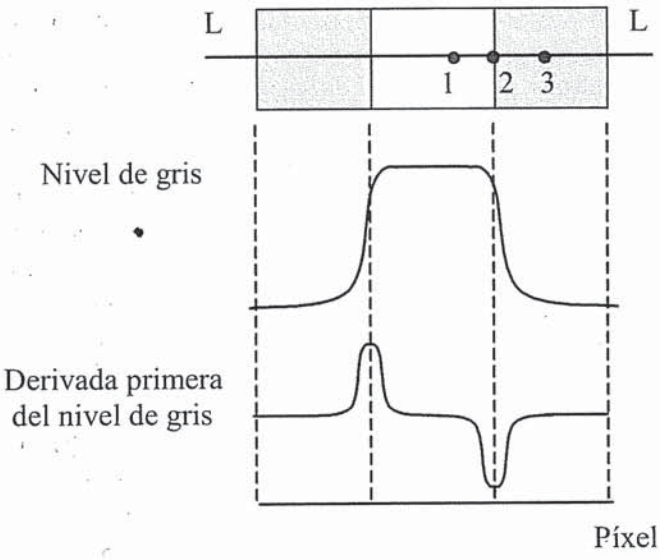


Figura 2. Distribución del nivel de gris y su derivada primera en una imagen con bordes

Una forma de evaluar la diferencia entre Z_1 y Z_3, es utilizar la máscara indicada en la Fig. 3, ubicando el valor cero de la misma en el píxel 2 y resolviendo la Ec. (1).

-1	0	1

Figura 3. Máscara para la detección de bordes

$$Z'_2 = (-1)\,Z_1 + 0.\,Z_2 + 1.Z_3 = \sum_{i=1}^{3} w_i\,Z_i \qquad (1)$$

Aplicando este método para todos los píxeles ubicados sobre la línea exploratoria L-L, (es decir que la máscara se irá desplazando a lo largo de ella) la ubicación de los bordes estará dada por la ubicación de aquellos píxeles, para los cuales se verifica la Ec. (2):

$$Z_i' \neq 0 \qquad (2)$$

La máscara de la Fig. 3 recibe el nombre de *Operador de Sobel* y es la que se utiliza en el presente trabajo para la detección de bordes en vehículos terrestres.

3.3 Formulación del problema

La detección de un vehículo que circula por una determinada arteria se lleva a cabo por una cámara de visión artificial colocada adecuadamente en los sectores de particular interés en forma tal que solo un vehículo pueda ser detectado y registrado. Dicha cámara de visión artificial toma una imagen, generando una figura característica del tipo de vehículo a ser clasificado. Antes de realizar la identificación y clasificación se realiza un preprocesamiento de la imagen que consiste en la detección de bordes del vehículo y la aplicación del operador de Sobel con el objeto de extraer sus características principales (largo y alto promedio), para ser presentadas a la red neuronal.

4 IDENTIFICACION Y CLASIFICACION

En la clasificación de vehículos se utilizó una red perceptrón multicapas (Haykin, 1999). Este tipo de red corresponde al grupo de redes que emplean un aprendizaje del tipo supervisado, las cuales son muy adecuadas para la clasificación de patrones.

4.1 Obtención del vector característico de un patrón

Previo al procesamiento de la imagen, se reemplaza el fondo de la misma por otro blanco, por lo que se trabajara solo con la imagen del vehículo aislado. Con cada una de las imágenes anteriores, lo primero que se realiza es "trazar" una línea vertical que atraviese al vehículo (distante en b=21 píxeles del margen derecho de la imagen) (Fig. 4), realizándose los siguientes pasos:

a) De la línea "trazada" lo que se hace es "extraer" los niveles de grises de todos los píxeles que la componen



Figura 4. Línea virtual trazada para la evaluación del alto del vehículo

En la Fig. 5, se muestran como varían dichos niveles de grises, según la posición del píxel que se trate. En la misma se observa que las amplitudes extremas corresponden a los cambios entre los niveles de grises entre el fondo de la imagen (que es blanco) y los bordes oscuros horizontales del vehículo.

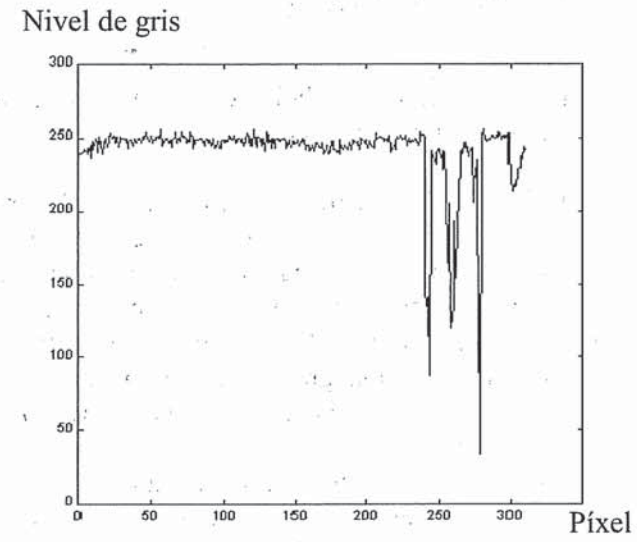


Figura 5. Línea que atraviesa el techo

b) Los valores de los niveles de grises anteriores, se normalizan (esto es: a cada uno de los niveles, se los divide por el máximo de ellos, el cual es 255) y se les aplica (para suavizar el gráfico mostrado en la Fig. 5) dos veces consecutivas la máscara de la Fig. 6.

1/3	1/3	1/3

Figura 6. Máscara para suavizar el gráfico de Fig. 5

Para acentuar más esta diferencia, (es decir resaltar las amplitudes en los extremos) se aplica al conjunto

de píxeles anteriores, un filtro de Sobel, para después, normalizar, según se indica en la Fig.7.

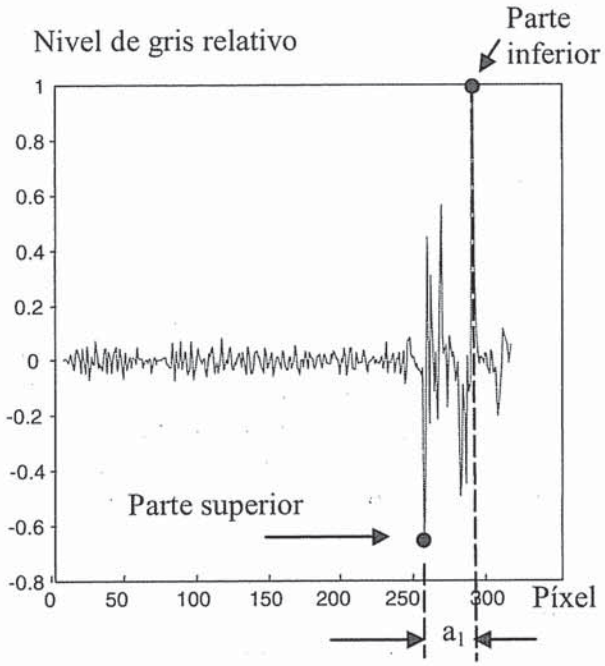


Figura 7. Filtrado de Sobel normalizado aplicado a la línea que atraviesa el techo

c) De la Fig. 7 se extrae la ubicación del píxel correspondiente a la parte superior del vehículo (primera gran amplitud negativa). Esto se logra, en forma aproximada, tomando el primer máximo negativo. La ubicación del píxel correspondiente a la parte inferior (última gran amplitud positiva), se logró, también en forma aproximada, tomando el último máximo positivo.

d) Efectuando la diferencia de dichas ubicaciones, se calcula la altura del vehículo a_1 a la distancia b. Con este dato (habiendo predefinido un determinado número de muestras, que en este caso fue 10) se calcula el espaciamiento entre las líneas "extractoras" de píxeles que atravesarán el vehículo desde la parte anterior a la posterior, según se indica en la Fig. 8.



Figura 8. Líneas virtuales trazadas para la evaluación del largo del vehículo

e) Repitiendo los paso a) hasta el d), se calculan los largos de cada una de estas últimas líneas, para luego promediarlas, obteniendo un largo promedio representativo de cada vehículo.

f)De una manera similar a los pasos a) hasta e) se pueden hallar la altura promedio para cada uno de los vehículos.

En la Tabla 1 se indican el largo y alto promedio del grupo de vehículos que servirán de entrenamiento a la red neuronal, mientras que en la Tabla 2 se indican el largo y alto promedio del grupo de vehículos que servirán para probar el desempeño de dicha red.

Tabla 1. Largo y alto promedio (píxeles) de los vehículos utilizados para el entrenamiento de la red

Vehículo	Imagen	Largo Promedio	Alto Promedio
Automóvil	E_1	193	52
Automóvil	E_2	216	50
Automóvil	E_3	202	54
Camioneta	E_4	237	72
Camioneta	E_5	242	55
Camioneta	E_6	271	85
Camioneta	E_7	248	60
Camión	E_8	372	122
Camión	E_9	339	148
Camión	E_{10}	348	110
Colectivo	E_{11}	512	139
Colectivo	E_{12}	592	188
Colectivo	E_{13}	680	181

Tabla 2. Largo y alto promedio (píxeles) de los vehículos utilizados para la evaluación de la red

Vehículo	Imagen	Largo Promedio	Alto Promedio
Automóvil	P_1	192	57
Automóvil	P_2	197	54
Automóvil	P_3	190	56
Automóvil	P_4	218	50
Camioneta	P_5	243	69
Camioneta	P_6	253	60
Camioneta	P_7	251	63
Camión	P_8	338	121
Camión	P_9	330	95
Colectivo	P_{10}	663	193
Colectivo	P_{11}	709	191
Colectivo	P_{12}	598	186
Colectivo	P_{13}	514	144

5 RECONOCIMIENTO DE VEHÍCULOS USANDO REDES PERCEPTRÓN

El objetivo de la red perceptrón multicapas es que cada vez que en su entrada se le presente un patrón(**x**) (largo y alto promedio de un vehículo), aprenda en forma supervisada, a relacionar la neurona activada de la capa de salida con el tipo de vehículo del cual se trata. En esta forma esta red se comporta de modo tal que al presentarle en su entrada un patrón (**x**) (largo y alto promedio de un vehículo), se active una neurona en su capa de salida, y según de cual se trate, indicará directamente de que vehículo se trata (Fig. 9).

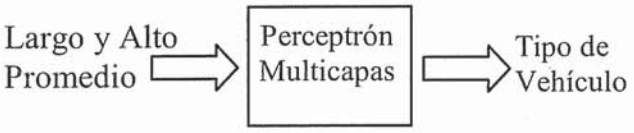


Figura 9

5.1 Características de la red perceptrón

La estructura del perceptrón multicapas (Fig. 10) empleada consta de 3 capas: una de entrada constituida por tres neuronas (las que están asociadas con el largo x_1 promedio y el alto promedio x_2 del vehículo), una oculta constituida por cinco neuronas y una de salida constituida por 4 neuronas. Cada una de estas neuronas poseen sus correspondientes pesos sinápticos y biases (estás últimas no se muestran en la Fig. 10). Las salidas ponderadas de las neuronas de la primera, segunda y tercera capa son entradas a funciones de activación del tipo tangente hiperbólica. Durante la etapa de entrenamiento, se impone la condición que (ver Fig. 10) cuando a la red se le presenten:

Automóviles, debe activarse en la capa de salida la neurona 1 ($y_{3,1}$).

Camionetas, debe activarse en la capa de salida, la neurona 2 ($y_{3,2}$).

Camiones, debe activarse en la capa de salida, la neurona 3 ($y_{3,3}$).

Colectivos, debe activarse en la capa de salida, la neurona 4 ($y_{3,4}$).

5.2 Parámetros de aprendizaje en el perceptrón

Los patrones utilizados para el entrenamiento de esta red, se muestran en la Tabla 3.

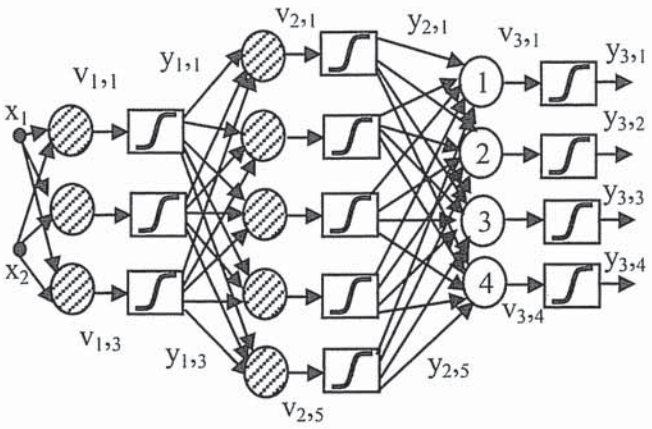


Figura 10. Estructura de la red perceptrón

Tabla 3. Relación entre las neuronas de la salida del perceptrón y las muestras de entrenamiento

Vehículo	Imagen	Neurona de la salida que se desea activar
Automóvil	E1	1
Automóvil	E2	1
Automóvil	E3	1
Camioneta	E4	2
Camioneta	E5	2
Camioneta	E6	2
Camioneta	E7	2
Camión	E8	3
Camión	E9	3
Camión	E10	3
Colectivo	E11	4
Colectivo	E12	4
Colectivo	E13	4

El valor inicial de los elementos de la matriz de los pesos sinápticos y los biases se fijan aleatoriamente en –0,1 y 0,1, siendo:

- Para la capa de entrada:

$$w_1 = \begin{bmatrix} 0,1 & -0,1 \\ -0,1 & 0,1 \\ -0,1 & -0,1 \end{bmatrix} \qquad b_1 = \begin{bmatrix} -0,1 \\ -0,1 \\ -0,1 \end{bmatrix}$$

- Para la capa oculta:

$$w_2 = \begin{bmatrix} 0,1 & 0,1 & 0,1 \\ -0,1 & -0,1 & -0,1 \\ -0,1 & -0,1 & 0,1 \\ 0,1 & 0,1 & 0,1 \\ 0,1 & -0,1 & 0,1 \end{bmatrix} \qquad b_2 = \begin{bmatrix} 0,1 \\ -0,1 \\ -0,1 \\ -0,1 \\ -0,1 \end{bmatrix}$$

- Para la capa de salida:

$$w_3 = \begin{bmatrix} -0,1 & -0,1 & 0,1 & 0,1 & -0,1 \\ 0,1 & 0,1 & -0,1 & -0,1 & 0,1 \\ -0,1 & -0,1 & -0,1 & -0,1 & -0,1 \\ -0,1 & -0,1 & -0,1 & 0,1 & -0,1 \end{bmatrix} \quad b_3 = \begin{bmatrix} 0,1 \\ 0,1 \\ -0,1 \\ 0,1 \end{bmatrix}$$

La velocidad de aprendizaje (η) es constante y vale 0,011.

La cantidad máxima de épocas (n) utilizada en el entrenamiento es 2000.

El coeficiente de la función tangente hiperbólica (α) tiene el mismo valor para las tres capas y es de 1,5.

El algoritmo de entrenamiento de la red perceptrón, puede ser expresado por los siguientes pasos:

Paso 1.

- Puesta inicial a 0 del número de épocas (n).
- Inicialización de los de los pesos sinópticos.
- Puesta inicial a 0 del error cuadrático medio [$Ec_{(0)} = 0$].

Paso 2. Se incrementa en una unidad el número de épocas.

Paso 3. Se toma en forma aleatoria un vehículo de entrenamiento y, según la Tabla 3, se asigna valores a las salidas de la última capa del perceptrón ($\mathbf{y}_d$).

Paso 4. Se calcula cada una de las salidas de cada capa según la Ec. (3).

$$\left.\begin{aligned} \mathbf{v}_1 &= \mathbf{w}_1\,\mathbf{x} + \mathbf{b}_1 \;; \quad \mathbf{y}_1 = \tanh(\alpha\,\mathbf{v}_1) \\ \mathbf{v}_2 &= \mathbf{w}_2\,\mathbf{y}_1 + \mathbf{b}_2 \;; \quad \mathbf{y}_2 = \tanh(\alpha\,\mathbf{v}_2) \\ \mathbf{v}_3 &= \mathbf{w}_3\,\mathbf{y}_2 + \mathbf{b}_3 \;; \quad \mathbf{y}_3 = \tanh(\alpha\,\mathbf{v}_3) \end{aligned}\right\} \qquad (3)$$

Paso 5. Se calcula el error de la ultima capa ($\mathbf{e}_3$) y el error cuadrático medio de esa capa (Ec), según las Ec. (4) y (5).

$$\mathbf{e}_3 = \mathbf{y}_d - \mathbf{y}_3 \qquad (4)$$

$$Ec_{(n)} = Ec_{(n-1)} + \tfrac{1}{2}\,[\,\mathbf{e}_3^{T}\,\mathbf{e}_3] \,/\, \text{muestras} \qquad (5)$$

Paso 6. Mediante el algoritmo backpropagation se actualizan los pesos sinápticos.

Paso 7. Control de condiciones de finalización:

Finalizar el programa si se alcanzo el número máximo de épocas de entrenamiento. En caso contrario se incrementa el número de época en 1 y se va al Paso 3.

5.3 Resultados obtenidos con la red Perceptrón

Como herramienta de desarrollo del sistema de clasificación neuronal se programó está red utilizando *Matlab ™*.

Después del entrenamiento, las matrices obtenidas de los pesos sinápticos y de cada bias correspondientes a cada una de las neuronas de las distintas capas son:

- Para la capa de entrada:

$$w_1 = \begin{bmatrix} 1,60 & 0,26 \\ 0,52 & 0,29 \\ -3,00 & -0,92 \end{bmatrix} \quad b_1 = \begin{bmatrix} -0,56 \\ -0,20 \\ 0,92 \end{bmatrix}$$

- Para la capa oculta:

$$w_2 = \begin{bmatrix} -0,75 & -0,11 & 1,72 \\ -0,29 & -0,13 & 0,27 \\ -1,27 & -0,48 & 2,57 \\ 0,75 & 0,25 & -0,98 \\ -0,32 & -0,23 & 0,89 \end{bmatrix} \quad b_2 = \begin{bmatrix} 0,68 \\ 0,10 \\ 0,15 \\ 0,47 \\ -0,25 \end{bmatrix}$$

- Para la capa de salida

$$w_3 = \begin{bmatrix} -0,28 & 0,25 & -0,35 & -0,65 & 0,60 \\ 0,24 & -0,30 & 0,91 & 0,84 & -0,62 \\ 1,01 & -0,03 & -1,21 & -0,30 & 0,09 \\ -0,97 & -0,17 & 0,59 & -0,0045 & -0,22 \end{bmatrix}$$

$$b_3 = \begin{bmatrix} 0,71 \\ -0,43 \\ 0,13 \\ 0,48 \end{bmatrix}$$

La Fig. 11 indica como varia el error cuadrático medio con el número de época de entrenamiento.

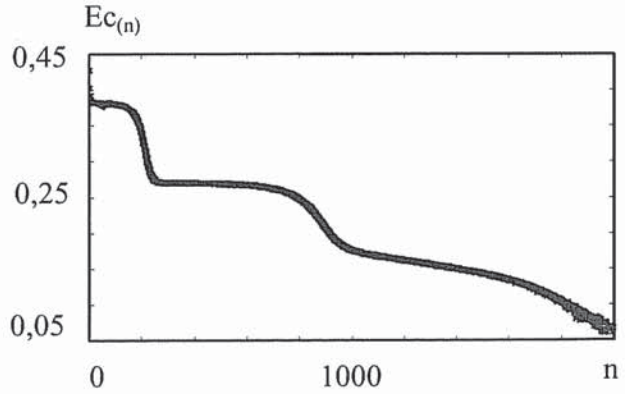


Figura 11. Variación de Ec. durante el entrenamiento

Concluido el proceso de aprendizaje, se le presenta a la entrada de esta red, cada uno de los patrones empleados durante el entrenamiento (Tabla 3), de manera tal de identificar la neurona ganadora de la capa de salida del perceptrón representativa de la correspondiente clase. Las neuronas ganadoras (o activadas) se obtienen considerando la Ec. (6).

$$|\mathbf{w}_g - \mathbf{x}| \leq |\mathbf{w}_i - \mathbf{x}| \; ; j = 1, \ldots, 4 \qquad (6)$$

La Fig. 12 indica cuales son los patrones que las activan, verificándose la relación dada por la Tabla 3. La Tabla 2 muestra los patrones de test utilizados para la evaluación la red. El resultado del comportamiento de esta red se indica en la Tabla 4 y en la Fig. 13.

Tabla 4. Relación entre las neuronas activadas de la salida del perceptrón y las muestras de evaluación

Vehículo	Imagen	Neurona de la salida que se activa
Automóvil	P1	1
Automóvil	P2	1
Automóvil	P3	1
Automóvil	P4	1
Camioneta	P5	2
Camioneta	P6	2
Camioneta	P7	2
Camión	P8	3
Camión	P9	3
Colectivo	P10	4
Colectivo	P11	4
Colectivo	P12	4
Colectivo	P13	4

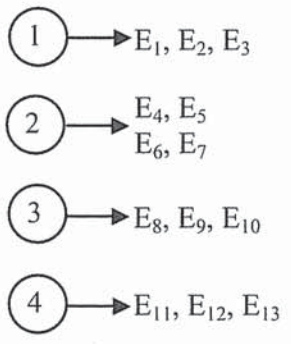


Figura 12

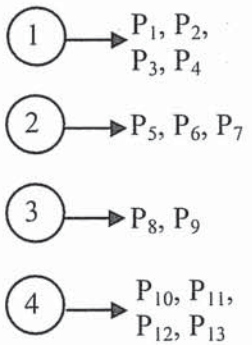


Figura 13

Los resultados obtenidos de la evaluación de esta red neuronal, (que se muestran en la Tabla 4 y en la Fig. 13) indican que existe un 100% de aciertos en la clasificación de vehículos.

6. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha propuesto y desarrollado un sistema de reconocimiento y clasificación automáticos para diferentes tipos de vehículos de transporte automotor basado en visión artificial y redes neuronales del tipo perceptrón.

El sistema presentado en este trabajo puede reconocer y clasificar automáticamente cuatro tipos de vehículos. Esta tarea de clasificación puede ser de vital importancia en el diseño de planes y políticas avanzadas de descongestionamiento y control de flujo vehicular, como así también en control de puestos aduaneros y de peajes. Los resultados obtenidos en simulación mostraron la factibilidad práctica de la implementación del sistema y probaron un buen desempeño en las tareas de reconocimiento y clasificación.

Se propone como futuro trabajo, realizar estudios de redes neuronales entrenadas con vectores obtenidos a partir de las características geométricas de los neumáticos de los vehículos.

7. REFERENCIAS

[1] Fu-Sheng Ho & P. Ioannou, Traffic Flow Modeling and Control Using Artificial Networks, IEEE Control Systems Magazine, Vol. 16, No.5, pp. 16-26 (Oct. 1996).

[2] Raza H. & P. Ioannou, Vehicle Following Control Design for Automated Highway System, IEEE Control Systems Magazine, Special Issue on Automotive Control Systems, Vol. 16, No.6, pp. 43-60 (Dec. 1996)

[3] J. Laporte & D. Patiño, Reconocimiento de Vehículos Terrestres mediante Visión Artificial y Redes Neuronales. X RPIC, San Nicolás, Provincia de Buenos Aires, Argentina, 2, 451 – 457 (2003).

[4] J. Laporte & D. Patiño, Clasificación de vehículos terrestres empleando visión computacional y redes neuronales LVQ. XI RPIC, Río Cuarto, Provincia de Córdoba, Argentina, 2, 986-991 (2005).

[5] S. Haykin, Neural Networks a comprehensive foundation, McGraw-Hill, New York (1999).

[6] González, C., Woods, R., Tratamiento Digital de Imágenes, Addison – Wesley/ Diaz de Santos, Madrid (1998).

Diseño y programación de aplicaciones para Grid Computing

J. Monetti, C. García Garino & O. León
jmonetti@uncu.edu.ar, cgarcia@itu.uncu.edu.ar & oleon@itu.uncu.edu.ar
LAPIC, Instituto Tecnológico Universitario, Universidad Nacional de Cuyo

RESUMEN: El trabajo discute el diseño y programación de aplicaciones para el entorno Grid Computing, una tecnología emergente que se basa en recursos distribuidos geográficamente. Para ello se tratan con detalles la Gestión de la Grid o workflow, que establece el flujo de datos y procesos del entorno y también los módulos de ejecución de tareas específicas. A manera de ejemplo se discute el diseño y reutilización de códigos paralelos diseñados para el caso de clusters, para lo cual se escoge el problema de Diferencias Finitas.

1 INTRODUCCION

En el presente trabajo se discute la programación de aplicaciones para el entorno Grid Computing (Mallas Computacionales) Ref. [1][2][3]. Para ello se emplea, a manera de ejemplo, el problema de la transmisión de calor en dominios bidimensionales, que fue discutido en un trabajo anterior de los autores Ref. [4], para el caso de Clusters tipo Beowulf Ref. [5].
En el trabajo se presenta primero una breve descripción de los Clusters tipo Beowulf, luego se reseñan las características más importantes de Grid Computing, destacando aspectos esenciales como el acceso a recursos, la seguridad de aplicaciones y dispositivos, etc.
Si bien se podrían presentar los requisitos para diseñar aplicaciones directamente en el entorno de Grid Computing, en este trabajo se ha preferido, para ilustrar el tema con mayor claridad, partir de una breve descripción de la aplicación serial correspondiente, reseñar la paralelización del código serial para el caso de Clusters y a partir de dichos elementos ilustrar los pasos a seguir para programar la aplicación en el entorno de Grid Computing.

A partir del análisis realizado en el trabajo se puede señalar que las rutinas y/o módulos de cálculo numérico, que en el caso de Clusters se procesan con los hijos (procesos de cálculo), pueden reutilizarse con relativa facilidad. Sin embargo las tareas comunes, propias del proceso padre o coordinador en el caso de Clusters, que en el entorno de Grid constituyen la Gestión de Tareas o Workflow Ref. [6][7], deben diseñarse y reescribirse. En general esto se debe a que las funciones y servicios disponibles en Grid no son iguales a las de MPI Ref. [8], debido a la naturaleza de cada una de dichas herramientas, aunque MPICHG Ref. [9] extiende al caso de Grid la funcionalidad de MPI. En la práctica se suele utilizar el lenguaje JAVA para escribir la aplicación de Gestión, aunque puede mantenerse C para el caso de las rutinas de cálculo, mientras que en el caso de clusters, lenguajes de alto nivel como C para escribir tanto el código del proceso padre como el de los hijos.
En la sección 2 del trabajo se reseñan las herramientas de entornos paralelos de interés: Clusters y Grid, luego, en la sección 3 se discute el caso de las aplicaciones seriales y paralela para el caso de Clusters, para discutir el diseño de una aplicación Grid en el punto 4. En el punto 5 se presenta un caso de aplicación y luego se brindan las conclusiones del trabajo.

2 ENTORNOS DE COMPUTACION PARALELA

Los entornos clásicos de computación requieren a menudo optimizar sus recursos cuando se encuentran ante problemas que requieren gran capacidad de cómputo, almacenamiento de datos, o ambos requisitos simultáneamente. Una posibilidad para satisfacer estos requisitos es emplear entornos de computación distribuida. En este caso, entre las diferentes herramientas posibles se discuten los casos de *clusters* y *mallas computacionales*, que están compuestos por un conjunto de computadoras trabajando de manera cooperativa.

2.1 *Cluster Beowulf*

Un *cluster* se presenta generalmente como un conjunto de computadoras que trabajan en forma conjunta conectadas en una red de área local, para lo cual se emplea un *middleware* o capa de gestión adecuada que se utiliza para intercambiar información entre los equipos que constituyen el Cluster, sincronizar los mismos, etc. De esta manera el conjunto se percibe como una herramienta única por el usuario final, pero que requiere adecuar de manera específica las aplicaciones. Un rasgo importante de un *cluster* a tener en cuenta es que el mismo representa una herramienta fuertemente acoplada, dedicada a resolver problemas de alto rendimiento y, en general, de alta disponibilidad, lo que conlleva una inversión importante en recursos de hardware e instalaciones auxiliares como aire acondicionado, infraestructura edilicia, alimentación eléctrica, etc.

2.2 *Mallas Computacionales*

Las mallas computacionales forman parte de un modelo de computación emergente, difundido actualmente entre la comunidad científica. En forma análoga al *cluster* se presenta como un conjunto de nodos trabajando en forma cooperativa. De esta forma la malla provee la capacidad de realizar computación de alto rendimiento, modelando una arquitectura de *computadora virtual* que permite, entre otras cosas, distribuir la ejecución de procesos a través de una estructura computacional enriquecida. Las mallas utilizan los recursos provistos por equipos distribuidos geográficamente y conectadas por una red (generalmente la Internet) para resolver problemas de computación de gran escala. Las mallas proveen la posibilidad de realizar cómputos sobres grandes conjuntos de datos, los que son subdivididos en partes más pequeñas, que se procesan en los nodos que constituyen la Grid y en este sentido se requiere, al igual que en el caso de Clusters, que la aplicación presente concurrencia tomando ventaja del paralelismo para realizar cálculos simultáneos, los que superan el caso secuencial en términos de velocidad. Es importante destacar que, en ambos casos, la aplicación paralela responde según la taxonomía de Flynn Ref. [10] al esquema SIMD (*Single Instruction Multiple Data*).

El software de base de una malla computacional está compuesto por protocolos, servicios y aplicaciones que permite que los distintos nodos interactúen.

La gran diferencia entre un *cluster* y la Grid es que en este caso, la malla computacional posee recursos deslocalizados que conducen a una arquitectura débilmente acoplada cuya disponibilidad no está garantizada. Más aún, los recursos se encuentran en dominios sobre los cuales el usuario final carece de capacidad de administración, y mucho menos de decisión sobre la disponibilidad del mismo. Por ello, una malla computacional debe contar con la funcionalidad necesaria para *descubrir recursos*, ociosos o no, pero disponibles para resolver un problema en el momento requerido y, si corresponde incorporarlos a la malla, para lo cual se deben solucionar los requisitos de seguridad correspondiente.

Por otro lado la gestión de la Grid debe incluir servicios capaces de recibir el trabajo enviado por el usuario final y ejecutarlo, como así también exponer su estado en tiempo de ejecución.

La estructura de la Grid resulta bastante compleja, ya que tiene que satisfacer todos los requisitos citados, y usualmente se concibe mediante el modelo por capas de la Figura 1, que en cierta forma es análogo al modelo OSI Ref. [11], y permite encuadrar los diferentes componentes de software que permitan resolver los problemas de seguridad, administración de trabajos, etc.

En la práctica se emplea el Globus Toolkit Ref. [12] que cuenta con un conjunto de aplicaciones y servicios que permiten materializar la ejecución remota de aplicaciones, transferencia de ficheros, validación de usuarios, etc. Para cumplir con este fin el Globus Toolkit incorpora mecanismos de descubrimiento y monitoreo de recursos definidos en el sistema MDS (Monitoring and Discovery System), GRAM (Grid Resource Allocation & Management) para administrar tareas y GSI (*Grid Security Inferastructure*) para garantizar seguridad.

El servicio GRAM ubicado en la capa *Resource* del modelo conceptual de Grid (ver figura 1), es utilizado para iniciar tareas, monitorear resultados, etc., en los distintos nodos de una malla.

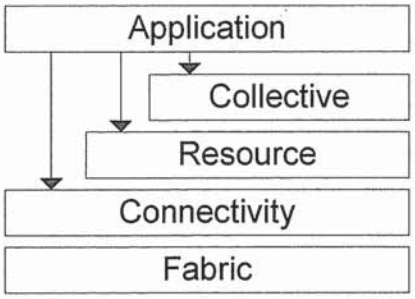


Figura 1. Modelo de Capas de una malla computacional.

El servicio GSI, que se basa en el uso de criptografía de clave pública Ref. [13], permite establecer la identidad de los usuarios o servicios que hacen uso de los recursos de la malla. También permite, a través de políticas preestablecidas, el uso de recursos de la malla.

3 CASO DE ESTUDIO: DIFERENCIAS FINITAS

En la subsección 3.1 se introduce un problema de interés para discutir el diseño de una aplicación computacional y su correspondiente paralelización. Para ello se define el problema y su discretización mediante el Método de Diferencias Finitas Ref. [14]. A partir del problema de interés se resume la aplicación serial, se muestra un pseudocódigo de la misma en la subsección 3.2 y se presentan algunos detalles de la paralelización de la herramienta en la sección 3.3, discutidos con más profundidad en un trabajo previo de los autores Ref. [4]

3.1 *Problema de Interés*

A manera de ejemplo de aplicación se utiliza la resolución de la ecuación de difusión en dominios bidimensionales, la cual se resuelve numéricamente mediante el Método de Diferencias Finitas [14]. En particular se resuelve el problema de transmisión de calor [15] sobre una placa

$$D_t T = kD_{xx} T \qquad (1)$$

Donde k representa una constante característica del material, $D_{xx}T$ indica genéricamente las derivadas segundas espaciales (en x e y) de la temperatura y D_tT la derivada de la temperatura con respecto al tiempo.

La discretización de la ecuación diferencial (1) que define el problema mediante Diferencias Finitas permite resolver problemas de interés industrial y la correspondiente implementación computacional. Para ello el dominio bidimensional se representa mediante un conjunto de puntos o estaciones (i,j), en los cuales se aproximan las derivadas por cocientes incrementales Ref. [4][14], en los cuales la incógnita es la temperatura nodal $T_{i,j}$. Luego en cada estación del domino se pude plantear una ecuación que relaciona la temperatura nodal con la de los nodos vecinos:

$$T_{i,j} + T_{-1,j} + T_{0,j+1} + T_{0,j-1} - 4T_{0,j} = 0 \qquad (2)$$

La resolución simultánea de la ecuación (2) para todas las estaciones del dominio conduce a un sistema de ecuaciones lineales, que en este caso, dada la estructura del operador, puede resolverse de manera iterativa, hasta que las temperaturas nodales alcancen la convergencia.

3.2 *Código Serie*

Para diseñar la aplicación serial se debe diseñar un bucle externo para iterar hasta alcanzar la convergencia, como se muestra en el pseudocódigo de la figura 2. Dentro de dicho bucle, en cada iteración del mismo se deben calcular para cada nodo (ij) las ecuaciones en diferencias definidas en la ecuación (2), que requiere de dos bucles espaciales para recorrer todo el dominio de interés, y que en el pseudocódigo simplemente se indica como *calcular la diferencia finita para cada punto del dominio*. El código de aplicación se completa, como es usual con etapas de lectura de datos y presentación de los resultados.

```
Leer parámetros de entrada
Mientras no exista convergencia {
    Para cada punto del dominio
        Calcular la diferencia finita
}
Presentar resultados
```

Figura 2. Pseudocódigo correspondiente al código secuencial.

3.3 *Código Paralelo*

A partir del pseudocódigo de la figura 2 pueden estudiarse que etapas del código serial pueden paralelizarse y cuales resolverse de manera común.
La estructura general de un programa paralelo, y para esta aplicación en particular, está compuesta por operaciones de explotación y cálculo, y operaciones referentes a la comunicación entre procesos: envío de datos, recepción de datos, sincronización, comunicación colectiva, etc. A continuación se observan procesos con roles bien marcados: aquellos encargados del trabajo y aquellos encargados de la coordinación. Se hace referencia al código coordinador como proceso *master* y al código encargado de calcular como proceso *esclavo*.
La figura 3 muestra en forma genérica la interacción dada entre el nodo *master* y un nodo *esclavo* específico. Las dos acciones principales de comunicación se muestran con las flechas 1 y 2, las que denotan la transferencia de datos entre procesadores y se ven materializadas por las funciones de librería MPI_Send() y MPI_Receive() de la librería MPI.

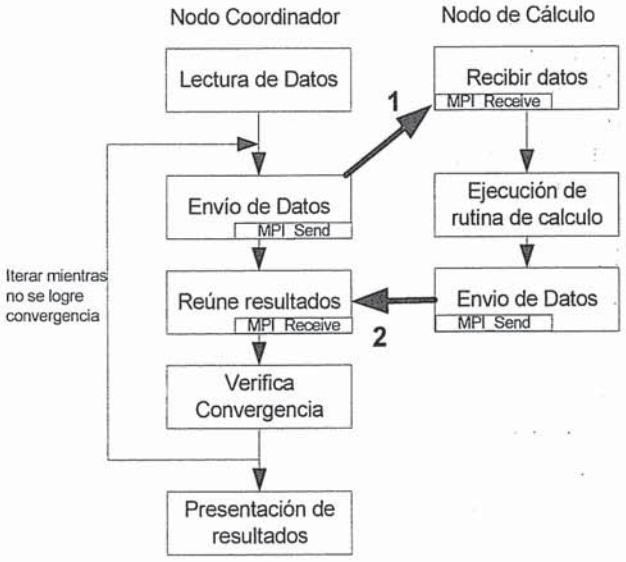


Figura 3. Diagrama de flujo de la aplicación paralela.

El código perteneciente al proceso master (figura 4) es responsable de la correcta división del conjunto de datos y la distribución a los nodos esclavos.

```
Leer parámetros de entrada
Particionar el dominio de datos
Mientras no exista convergencia {
    Para cada nodo del cluster{
        Enviar el subconjunto de datos
        Recibir datos procesados
    }
}
Presentar resultados
```

Figura 4. Pseudocódigo perteneciente al proceso master.

El código perteneciente al proceso esclavo (figura 5) contiene una instrucción de recepción de datos por cada instrucción de envío del proceso master (figura 4).

```
Recibir dominio de datos local
    Para cada punto del dominio local
        Calcular la diferencia finita
Enviar datos calculados al proceso principal
```

Figura 5. Pseudocódigo perteneciente a cada proceso esclavo.

Se observa del anterior pseudocódigo que cada nodo del *cluster* deberá calcular sobre un subconjunto de datos previamente particionado por un proceso coordinador. Por otro lado cada iteración sobre el conjunto de datos obliga a enviar el conjunto procesado al proceso coordinador, el cual deberá observar la convergencia global y decidir sobre la continuidad de la ejecución. Obsérvese que para cada acción de "enviar conjunto de datos" del proceso coordinador existe una acción "recibir dominio de datos local" en cada nodo del *cluster*.

4 PROGRAMACIÓN DEL PROBLEMA PARA ENTORNOS DE GRID COMPUTING

En este punto se discute la aplicación para el entorno de Grid, para lo cual se hace uso de la estructura paralela que se muestra en los pseudocódigos de las figuras 4 y 5 del apartado 3.3
Con este fin, en el apartado 4.1 se trata el diseño e implementación de la Gestión o Workflow de la Grid Ref.[6][7], que en este caso juega el rol que el proceso padre cumple en el caso de clusters y se

ejecuta en el denominado nodo coordinador. En el punto 4.2 se analiza el caso de los nodos de cálculo, que en la analogía con el cluster desempeñan el papel de los procesos hijos.

4.1 *Gestión de Grid*

La gestión de la Grid debe realizar diferentes tareas como resultan el descubrir servicios, autentificar usuarios y recursos, distribuir tareas, remitir tareas a nodos remotos, recuperar resultados, etc., y a la vez, gestionar todas estas tareas de manera eficiente y sincronizada, de donde surge el nombre de *Gestión de la Grid* o el vocablo inglés *Workflow*, que alude al flujo de procesos y datos propio de la aplicación. Para materializar esta necesidad se cuenta con los protocolos y servicios disponibles en Grid y en el kit de Globus que se han presentado en la sección 2.2
Es así que algunas tareas que son triviales en el caso de *cluster*, son bastantes más complejas en el caso de Grid y tampoco se dispone de toda la funcionalidad que MPI brinda al cluster.
De las tareas mencionadas en este trabajo se hace énfasis en el flujo de datos y procesos, mientras que descubrimientos de recursos, aspecto que no se discute en el presente trabajo, se trata en la Ref. [16]. Estas características se deben reflejar en la aplicación final, la cual es consistente con la arquitectura de Grid.
La interacción entre la aplicación coordinadora, residente en el nodo administrador y nodo de cálculo que se muestra en la figura 6, está soportada por el conjunto de servicios *GRAM* ubicado en la capa de administración de recursos (*Resource*) del modelo de capas figura 1.
La misma está encargada de enviar el subconjunto de datos a cada uno de los nodos de cálculo, los cuales ejecutan la porción de código encargado de transformar los datos de acuerdo a la ecuación (2).
La aplicación coordinadora es codificada en lenguaje Java, con el objeto de aprovechar las características sobre manejo de tareas concurrentes que el lenguaje provee, conocido como hilos de ejecución. Cada hilo es responsable tanto de la ejecución de la tarea en forma remota sobre cada nodo, como de la transferencia de los datos de entrada hacia dicho nodo y la recuperación de los datos ya procesados. Si bien este comportamiento puede ser implementado en otros lenguajes, la mayoría de ellos presentan limitaciones frente a Java en otros aspectos a la hora de realizar aplicaciones disponibles para Grid.

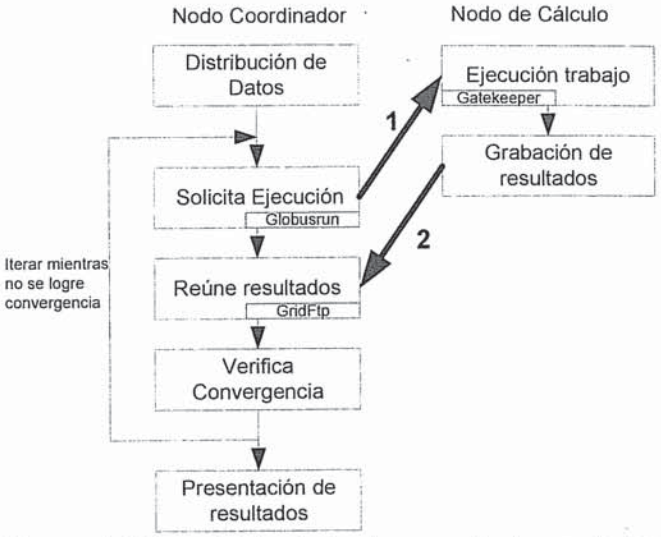


Figura 6. Disposición de las tareas a lo largo de los nodos.

El manejo de distintos hilos de ejecución (uno por cada proceso de cálculo) permite emular el comportamiento de las funciones MPI, garantizando la ejecución paralela de cada uno de los procesos de cálculo. Así, es posible reproducir el comportamiento de MPI, a través de la ejecución del trabajo remoto y espera de los resultados procesados en cada iteración. Esta dinámica se ve enormemente fortalecida por los hilos de ejecución, al poder definir políticas de administración sobre cada uno de ellos, como así también observar otros datos, como resultan por ejemplo los tiempos de ejecución locales.
La aplicación coordinadora reemplaza las funciones que MPI brinda al caso de cluster por llamadas a servicios *GRID* que permiten remitir trabajos a nodos remotos (acciones 1 y 2 en figura 6). La ejecución remota se realiza a través de la función *Globusrun*, a la cual se le proveen los datos de ejecución a través de una cadena RSL (*Resource Specification Language*). Esta cadena contiene entre otra información, el nombre del programa ejecutable en destino, fichero de salida estándar de datos, etc.
Una particularidad de la aplicación que se ha escogido como ejemplo, es que obtiene los resultados de la simulación mediante un proceso iterativo, el cual se muestra en la figura 6. Dentro de dicho bucle se debe ejecutar repetidamente la aplicación de cálculo, a la cual se accede mediante los servicios de GRAM mencionados. La figura 7 muestra la interacción entre la Gestión de GRID y los nodos de cálculo, para lo cual se emplea el servicio *Gatekeeper* encargado de la gestión local de la tarea.

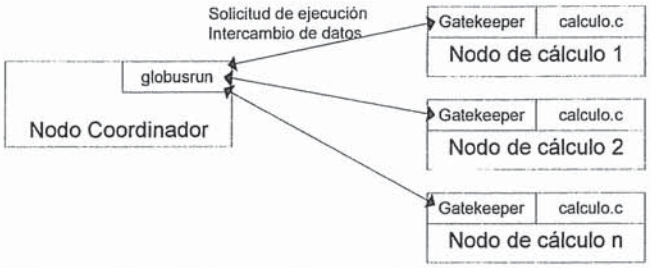


Figura 7. Interacción entre la aplicación coordinadora y los nodos de cálculo.

Una vez que el nodo de cálculo ha completado su tarea, los resultados se recuperan mediante *GridFtp* y se almacenan en una base de datos global. Cuando el nodo coordinador cuenta con todos los subconjuntos de datos procesados por los nodos de cálculo, los analiza globalmente, y decide si es necesario continuar con el proceso iterativo.
En todos los casos se requieren credenciales digitales para satisfacer seguridad de datos y procesos, siguiendo las especificaciones de GSI.
Las figuras 3 y 6 muestran la similitud estructural de las aplicaciones para Cluster y Grid, y se ilustran en las mismas aspectos como solicitud de cálculo, remisión de datos procesados, sincronización de procesos, etc.

4.2 *Tareas de Cálculo*

El código de cálculo se envía a cada nodo de ejecución por el nodo coordinador, a través del protocolo GridFtp.
El sistema ofrece la posibilidad de recompilar el código fuente en cada nodo de destino para así aprovechar las características estructurales de cada procesador.
Tras la recepción del subconjunto de datos, cada nodo de cálculo ejecuta el código de cálculo a través del servicio Gatekeeper encargado de la gestión local de la tarea (ver figura 7). El código de cálculo ignora el esquema bajo el cual está siendo ejecutado y simplemente procesa los datos de entrada para posteriormente grabarlos en un fichero localmente. Para el ejemplo de interés, el código de cálculo debe resolver el problema de diferencias finitas (ver figura 5) y con este fin puede utilizarse la aplicación diseñada para el caso de clusters, que puede reutilizarse con total independencia del entorno de Grid y en este caso toma la forma de un programa ejecutable independiente.

Luego el código encargado del cálculo puede ser utilizado como una función de librería para ambos sistemas: el paralelo y el distribuido, optimizando la modularidad del sistema global. .

5 EJEMPLO DE APLICACION

Para ilustrar la aplicación desarrollada la misma se implementa en una Grid experimental disponible en el LAPIC, la cual, para simplificar aspectos relacionados con la disponibilidad de recursos, está constituida, de manera estática, por dos máquinas PIV, como se muestra en la figura 8. En otro trabajo de los autores se presenta un caso más general.

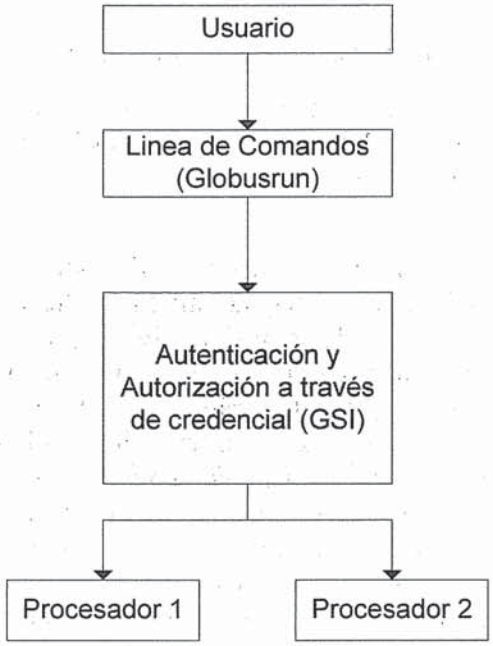


Figura 8. Interacción entre el usuario final y el nodo encargado de la validación del mismo.

Si bien el usuario final puede solicitar vía línea de comandos la ejecución de la aplicación de cálculo en forma remota (figura 8), se dota al sistema de una aplicación web que simplifica la interacción del mismo con el conjunto de recursos. Luego, el usuario portador de su credencial digital toma la forma de una aplicación *WEB* codificada en lenguaje java, capaz de recibir los requerimientos de múltiples usuarios. Si bien la autenticación de terceros no forma parte del presente trabajo se puede extender el concepto de credenciales digitales a los mismos o utilizar los mecanismos clásicos de autenticación de usuarios sobre aplicaciones *WEB*.

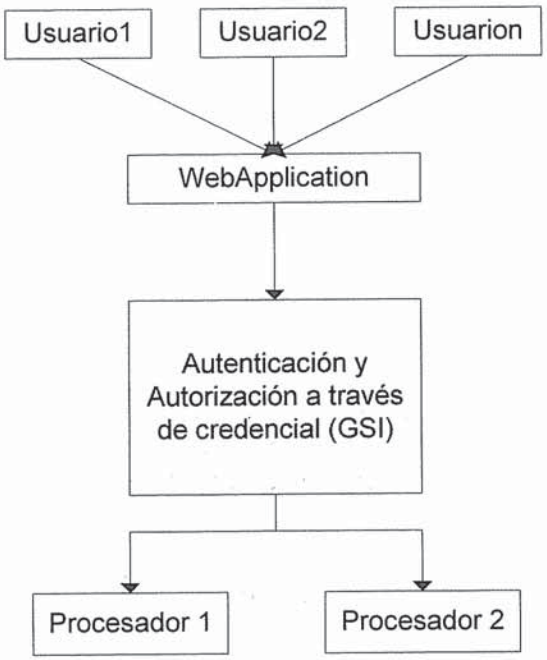


Figura 9. Diferentes usuarios solicitando a la aplicación WEB la ejecución de trabajos sobre los recursos de la malla.

De esta forma la aplicación *WEB* (figura 9) tiene acceso a la única credencial útil para solicitar el uso de los recursos de la malla. Esta aplicación, se transforma ahora en la coordinadora de los distintos procesadores que calcularán cada subconjunto de datos, pudiendo cada usuario final solicitar la ejecución de una instancia de la misma. Por último, será esta aplicación la encargada de recolectar los resultados una vez finalizado el proceso iterativo, y presentar los mismos al usuario final.
Este enfoque se ve enriquecido con el uso de portales *GRID*, donde se oculta al usuario la complejidad del uso de credenciales digitales, enriqueciendo también la información sobre los recursos disponibles.

6 CONCLUSIONES

Cuando se diseñan y programan aplicaciones para Grid Computing conviene distinguir entre los aspectos de gestión de la Grid y los que tienen carácter operativo.
Para la programación de la Gestión, de índole más bien general parece necesario el empleo de JAVA, mientras que para los módulos operativos, tareas de cálculo en este caso, se puede utilizar prácticamente cualquier lenguaje de alto nivel.

Los conceptos anteriores se han ejemplificado en el trabajo mediante una aplicación de Grid capaz de emular el comportamiento paralelo para el cálculo de diferencias finitas a través de una malla computacional. Dado que se ha empleado un problema de naturaleza fuertemente acoplada en un entorno débilmente acoplado no es relevante medir los tiempos de ejecución ni compararlos con el cluster. La malla computacional con respecto al *cluster* presenta un escenario de mayor flexibilidad de uso, como así también mayor complejidad de administración.
La programación de aplicaciones en un ambiente de mallas computacionales puede presentar variados matices de acuerdo a la forma que toman los componentes de software y la forma en que son invocados.

7 AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la ayuda recibida mediante el Proyecto PICTR 184 subsidiado por el Programa FONCYT de la ANPCYT.

8 REFERENCIAS

[1] I. Foster, C. Kesselman & S. Tuecke, The Physiology of the Grid: Enabling Scalable Virtual Organizations. Intl Journal of Supercomputer Applications, 2001. Disponible en www.globus.org/research/papers/anatomy.pdf

[2] D. Fernández Slezak, P. Turjansky, J. Monetti, L. Bertogna, M. Silva, C. García Garino & G. Marshall, Grid Computing. Panorama y Actividades en Argentina. Mecánica Computacional Vol XXIV. A. Larrateguy (Editor). Buenos Aires, Argentina. 2005.

[3] J. Monetti & C. García Garino, Mallas Computacionales. Conceptos y Experiencias. Segundo Congreso Internacional de Informática CIDI-Cuyo. Mendoza. 13 al 15 de abril de 2005.

[4] J. Monetti, C. Garcia Garino, O. León & A. Mirasso, Utilización del Método de Diferencias Finitas en Clusters Tipo Beowulf. Encuentro de Investigadores y Docentes de Ingeniería. ENIDI-2005. Mendoza, Argentina.

[5] Clusters Beowulf: www.beowulf.org

[6] F Neubauer, A. Hoheisel & J. Geiler, Workflow-based grid applications. Future Generation Computer Systems 22 (2006) 6-15.
[7] J. Wendler & F. Schintke, Executing and observing CFD applications on the Grid. Future Generation Computer Systems 21 (2005) 11-18.
[8] MPI. www-unix.mcs.anl.gov/mpi.
[9] MPICH-G2 http://www3.niu.edu/mpi/
[10] M.J. Murdocca & V.P. Heuring, Principios de arquitectura de computadoras. Prentice Hall (Primera Ed), Buenos Aires, Argentina, 2002.
[11]. Andrew S. Tanenbaum, Redes de computadoras. Prentice Hall (Cuarta Ed), México, 2003.
[12] The Globus Alliance. www.globus.org.
[13] A. Nash, W. Duane, C. Joseph & D. Brink, PKI. Infraestructura de clave pública. McGraw-Hill. 2002.
[14] S. Chapra, C. Canale & P. Raymond, Métodos Numéricos para Ingenieros. Mc Graw-Hill. Cuarta Edición. 2004.
[15] L. Caffarelli, La Ecuación del Calor. Facultat de Matemàtiques i Estadíistica. Universitat Politècnica de Cataluya. Lección inaugural del curso. 2003.
[16] P. Turjanski et al, Grid enabled solutions for continuum mechanics numerical problems, trabajo aceptado para su presentación en el Congreso ENIEF06, Santa fe, Noviembre de 2006.

Herramientas de pre y postprocesamiento del solver Semiloof en GiD

C.J. Leiva & J.C. Pina

cuetecjl@qmail.com, cancalpina@gmail.com
Ing. Civiles – Investigadores SECYTP - Investigadores Noveles, Fing., U.N.Cuyo

E. Villafañe

evillafa@uncu.edu.ar
Prof. Tit. Ingeniería Sismorresistente y de Estructuras Laminares, Fing., U.N.Cuyo

RESUMEN: Este trabajo representa un paso mas en el estudio y desarrollo del software (solver) de Bruce Irons para el análisis de placas y cáscaras, fundamentado en dos trabajos anteriores del grupo de estudio, mediante los cuales se logró poner a punto el software original, y mejorar la capacidad de cálculo del mismo. En esta oportunidad se presentan los avances en el manejo del input y del output gracias a la utilización de una herramienta que permite abordar la problemática de la modelación y el análisis de resultados desde una interfaz gráfica, lo que hace posible modelar y analizar cáscaras de geometrías complejas. Por el momento la modelación se limita a mallas con elementos de cáscara cuadriláteros, y los resultados postprocesados a desplazamientos nodales, tensiones membranales y tensiones flexionales, quedando para una etapa posterior, la incorporación de elementos de cáscara triangulares, y elementos de barra con sus respectivos resultados. Este logro ha significado un salto cualitativo en el manejo del solver, tanto para desarrollos futuros como para la obtención de una interesante herramienta de estudio para otros usuarios.

1 INTRODUCCION

Durante los trabajos del programa de investigadores noveles de 2004 de la Facultad de Ingeniería, se realizaron tests para averiguar las cualidades de los elementos finitos de cáscara Semiloof shell en régimen membranal y flexional, y del software creado por Bruce Irons, que utiliza los elementos Semiloof Ref. [1] a [6]. Los buenos resultados obtenidos afianzaron la continuación de las tareas de estudio y fue así que en el marco del programa de investigadores noveles de 2005, se profundizó en el comportamiento flexional Ref. [7] y se sumo a los estudios el elemento finito de barra Semiloof Beam, Ref. [8], cuyo fruto fue poner en evidencia errores en el código original del software y depurarlos luego.

Todas las pruebas realizadas tuvieron lugar en el solver compilado original, al cual se le practicaron modificaciones que permiten realizar pruebas con mallas más densas (mayor tamaño del buffer de almacenamiento, mayor número de nodos, campos de entrada de datos de mayor tamaño). Las tareas se efectuaban con una interfaz en pantalla DOS, mediante el tipeado manual del input para una corrida, consistente en un archivo de texto con números en filas significando las distintas tarjetas de entrada, como descripción del modelo, topología de la malla, coordenadas de nodos, restricciones, cargas, propiedades de materiales, etc Ref. [1]. Lo cual demandaba del usuario mucha paciencia y un profundo conocimiento de todos los campos de entrada. Siendo menester la necesidad de varios minutos para crear un modelo con, por ejemplo, tan

solo sesenta y cuatro elementos finitos. Por otro lado el postproceso consistía en la lectura de un archivo de texto que contenía toda la información de output, como desplazamientos, tensiones, reacciones de vínculo, etc., mas la descripción del modelo ya citada en el input, un poco más feliz al contener títulos indicativos. Por razones obvias era impensado realizar modelos demasiado complejos, a lo cual se sumaba el cálculo previo de coordenadas nodales. Así, en esta nueva etapa, uno de los principales objetivos a cumplir es la creación de una interfaz gráfica amena a cualquier usuario tanto en el preproceso (creación del input), como en el postproceso (análisis del output). En este camino se encontró el software GiD Ref. [9] creado en el CIMNE, Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, una poderosa herramienta desarrollada con especial énfasis en el Método de los Elementos Finitos, con la cual se ha logrado a la fecha pre y postprocesar cáscaras complejas ampliando las expectativas de uso del solver de Irons. Para ello fue necesario la creación de rutinas de postproceso en el lenguaje del código fuente original, aun en desarrollo, que reordenan la información a postprocesar y la preparan para ser interpretada en GiD. Al presente mediante el uso de GiD el usuario crea el modelo en una interfaz gráfica amigable, en el módulo creado para el solver, luego una vez terminado, se ejecuta el cálculo (GiD envía el input al solver, este lo interpreta, lo acepta, realiza el cálculo y prepara el output) y luego se dispone del output que será analizado en forma gráfica también. Este avance representa un salto cualitativo en el manejo del solver, tanto para desarrollos futuros como para la obtención de una interesante herramienta de estudio para otros usuarios.

2 ORGANIZACIÓN DEL PRE Y POSTPROCESO

2.1 *Breve descripción del software GiD*

GID es un programa computacional creado para realizar pre y postprocesamiento de modelos de análisis hechos vía distintos métodos, entre los cuales el Método de los Elementos Finitos desempeña un rol protagonista.
En el diagrama de la Fig. número 1 se indica las etapas del proceso completo de pre y post procesamiento de un modelo, que puede resumirse en tres etapas:
1- Definición del modelo en GiD (preprocesamiento): Geometría, malla, condiciones de apoyo, cargas, materiales, etc. y sus respectivas asignaciones. Al correr el modelo desde GiD, este genera el archivo de entrada al solver (input), previa elección del módulo de cálculo (ver subtítulo 2.2)
2- Ejecución del solver:
En GiD mediante un archivo ejecutable se realiza la corrida del solver. Al finalizar el cálculo, el solver ha escrito los resultados en archivos de texto que son reordenados por rutinas Fortran (lenguaje del código del solver) que se han desarrollado para tal fin (aun en desarrollo). Estas rutinas escriben el archivo de salida (output) que luego será interpretado por GiD.
3- Análisis de resultados (postproceso):
GiD lee el archivo de salida y lo presenta en bloques de resultados (ver subtítulo 2.3), que serán analizados en forma gráfica y visual mediante la interfaz para el postproceso de GiD.

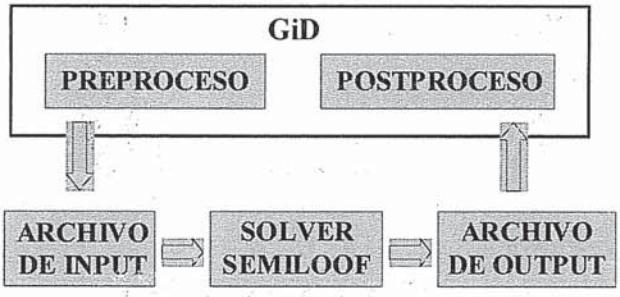


Figura 1. Diagrama del proceso.

2.2 *Módulo de cálculo*

El empleo de GiD requiere la definición de un módulo de análisis, denominado Problem Type (tipo de problema) Ref. [9] y [10], en el que se definen una serie de archivos, que tienen el nombre del módulo con una extensión correspondiente a su acción, utilizando los formatos y comandos requeridos para cada uno de ellos, se personaliza el entorno de GiD para abordar el tipo de problema que permitirá manejar las entradas y salidas del solver y su ejecución desde GiD. En nuestro caso el módulo fue denominado *Sloof*. Por razones de espacio presentamos solo los archivos esenciales del módulo para el funcionamiento.

2.2.1 *Archivos de configuración para el preproceso*

Sloof.cnd - Definiciones de condiciones aplicadas a nodos o elementos.
Se definieron las condiciones:

1- APOYOS: En esta condición se han englobado las restricciones de vínculo, y los desplazamientos prescriptos, aplicados a nodos.

2- CARGAS.PUNTUALES: Aquí se han considerado cargas puntuales y momentos aplicados a nodos.

3- AP.ELASTICOS: En esta opción se han colocado las constantes de los apoyos elásticos.

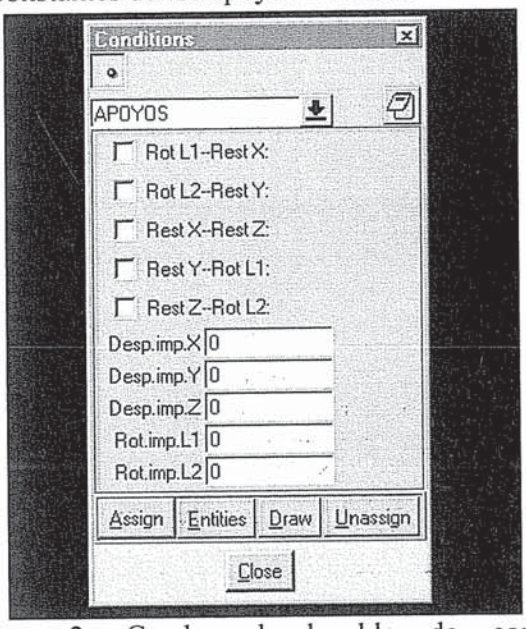


Figura 2. Cuadro desplegable de condición APOYOS.

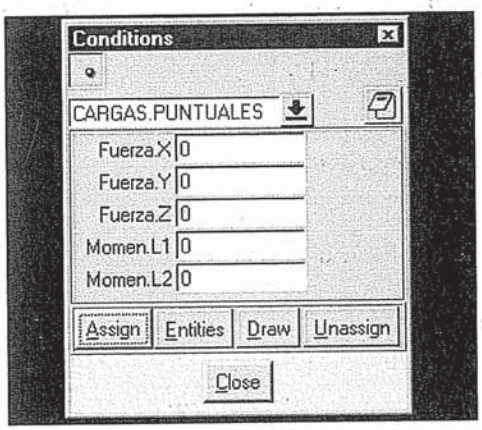


Figura 3. Cuadro desplegable de condición CARGAS.PUNTUALES.

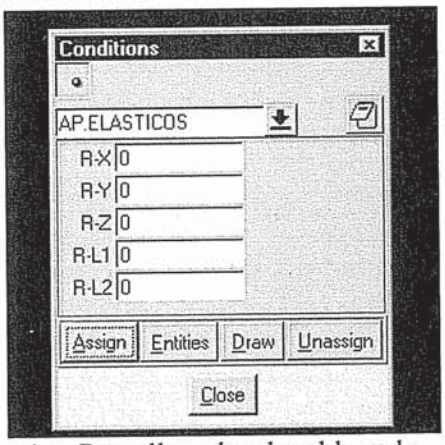


Figura 4. Pantalla desplegable de condición AP.ELÁSTICOS.

En las Fig. número 2, 3 y 4, se muestran los cuadros desplegables para la asignación de estas condiciones.

Sloof.mat – Definición de propiedades de materiales

Se han definido las propiedades de materiales correspondientes a los elementos de cáscaras Semiloof. En la Fig. número 5 se muestra el cuadro desplegable para la definición y asignación de materiales.

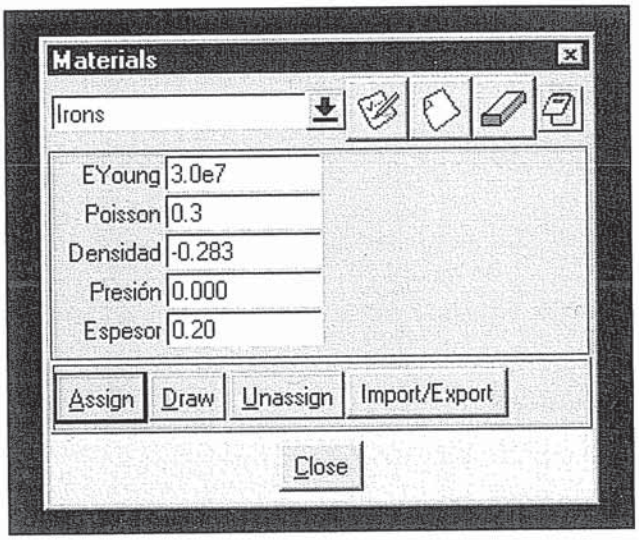


Figura 5. Cuadro desplegable de materiales.

2.2.2 *Archivos de Template*

Sloof.bas

En este archivo se define el formato de escritura del archivo de entrada al solver.

2.2.3 *Archivos de ejecución de comandos*

Sloof.win

En él se definen los comandos necesarios para el envío del archivo de entrada (input) al solver, la ejecución del solver, y la entrada de los resultados (output) a GiD.

2.2.4 *Generación de un modelo*

Se ingresa a GiD y se elige, en el menú del tipo de problema, la opción Sloof, ver Fig. número 6. La creación del modelo luego se realiza mediante el manejo de las herramientas de GiD. Al guardar el archivo del modelo, GiD añade la extensión *.gid* al nombre que elige el usuario, dentro de una carpeta con varios archivos el modelo, entre los cuales se encuentra el archivo de entrada para el solver, que tiene el nombre del modelo con extensión *.dat*.

Sin un preprocesamiento gráfico es posible realizar esta tarea mediante tipeado manual de la entrada al solver, requiriendo del usuario una definición completa del modelo a través de las líneas o tarjetas del archivo de entrada (input).

2.2.5 *Ejecución del solver*

Una vez guardado, el usuario puede correr el modelo en el solver desde GiD, entrando al menú desplegable de cálculo y eligiendo una de las opciones para realizarlo.

El solver es un archivo ejecutable que se ha denominado Sloof.exe.

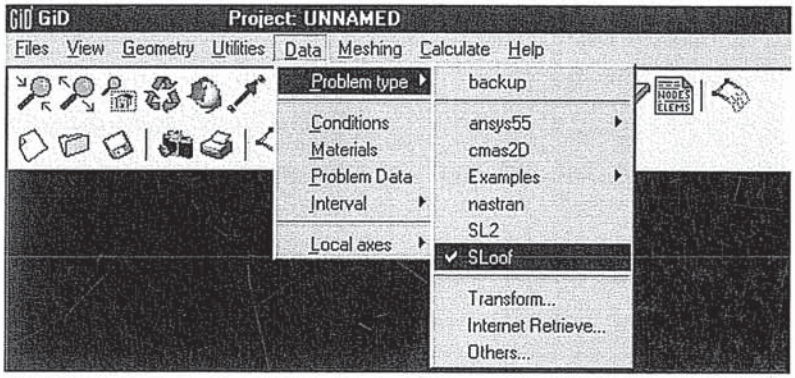


Figura 6. Creación de un modelo Semiloof utilizando GiD.

2.3 *Postproceso*

Para realizar el postproceso se ordena la información por bloques en un archivo de texto que debe ser creado por el solver, u otro programa ad hoc ajeno a GiD, que debe escribirse en un formato especial para su lectura. El archivo lleva el nombre del modelo con extensión *post.res*.

Ejemplo:

Losa.post.res

La información que se va ha postprocesar es recopilada y ordenada por una rutina que se escribió en el lenguaje del código del solver (Fortran), a la cual se denominó *pospro1*.
Por el momento se ha realizado el postproceso de tres bloques de resultados:
1-Deformaciones
Este bloque incluye desplazamientos en nodos y rotaciones en puntos Loof.
2- Tensio
Este bloque contiene las tensiones membranales y flexionales medidas en los puntos de Gauss.
3- T.Prin
Este bloque contiene las tensiones principales medidas en los puntos de Gauss.
Al ingresar al postproceso, GiD lee el archivo de salida del solver (output), y carga los bloques de resultados que pueden consultarse utilizando los menús desplegables y las distintas herramientas que los expresan en diferentes formas visuales. En la Fig. número 7 se presenta el menú desplegable para la consulta de resultados y en la Fig. número 8 se presenta a modo de ejemplo el menú para el bloque de resultados Deformaciones.

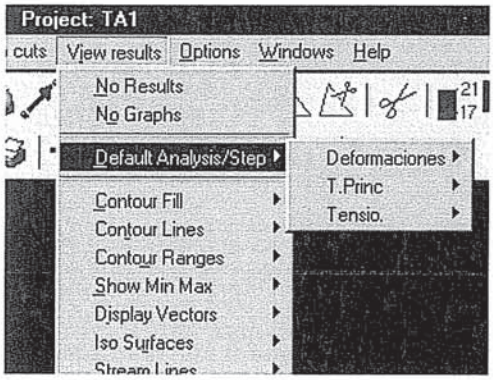


Figura 7. Menú desplegable para para la elección del bloque de resultados.

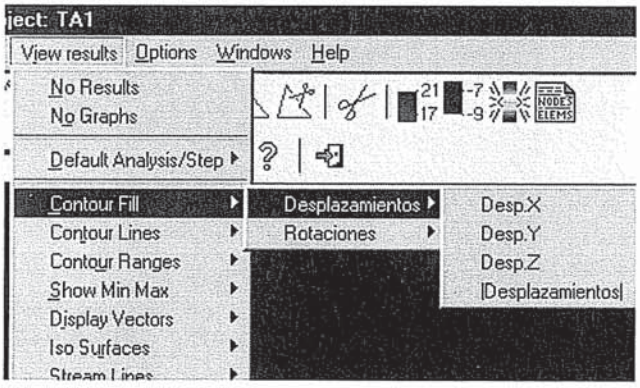


Figura 8. Menú desplegable para la consulta de desplazamientos contenidos en el Bloque Deformaciones.

3 APLICACIONES

Se presentan a continuación dos aplicaciones a modo de ejemplos, realizadas con GiD con el objetivo de mostrar algunas cualidades del módulo de cálculo Sloof. La primera es un muro bandera, que es una elemento estructural muy utilizado en edificios sismorresistentes, y la segunda un cilindro sometido a presión interior.

3.1 *Aplicación 1: Muro Bandera*

El primer ejemplo es un tabique conocido como "muro bandera", cuya configuración se muestra en la Fig. número 9. El mismo se encuentra empotrado en la base y sometido sólo a la acción de su propio peso. En primer término se presenta una estimación de las tensiones paralelas al eje vertical del tabique en la parte inferior del muro de 2m de ancho, y luego los resultados obtenidos con el módulo Sloof para un modelo con de 540 elementos y 1725 nodos.

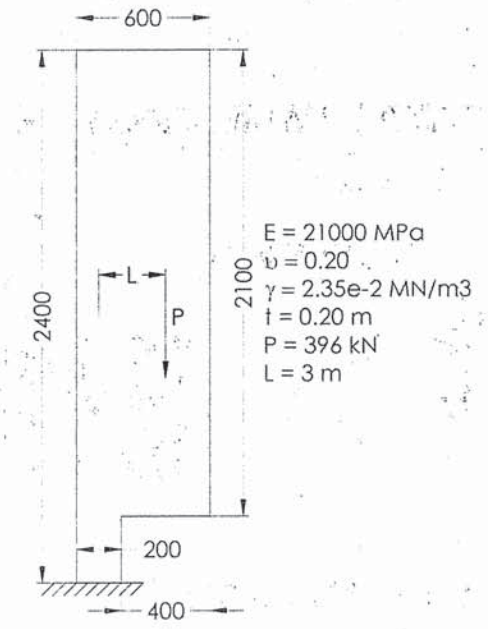


Figura 9: Muro bandera

3.1.1 *Estimación de Tensiones*

Por normal:
N = 607 kN; A = 0,40 m2
σ_n = N/A = 1,519 MPa
Por flexión:
M = P.L = 1188 kNm
σ_f = M/W = 8,895 MPa
En donde, N representa el peso de todo el muro y P el peso de la parte en voladizo.
Por lo tanto de la combinación de ambas se tiene:

Tensión de compresión:

σ comp = (-8,895-1,519) MPa = -10,414 MPa

Tensión de Tracción:

σ trac = (8,895 -1,519) MPa = 7,367 MPa

3.1.2 *Resultados obtenidos con el módulo Sloof*

En la Fig. número 10 se presenta un gráfico con las tensiones mencionadas, tensiones en un elemento en el borde traccionado, y tensiones en un elemento en el borde comprimido, respectivamente.

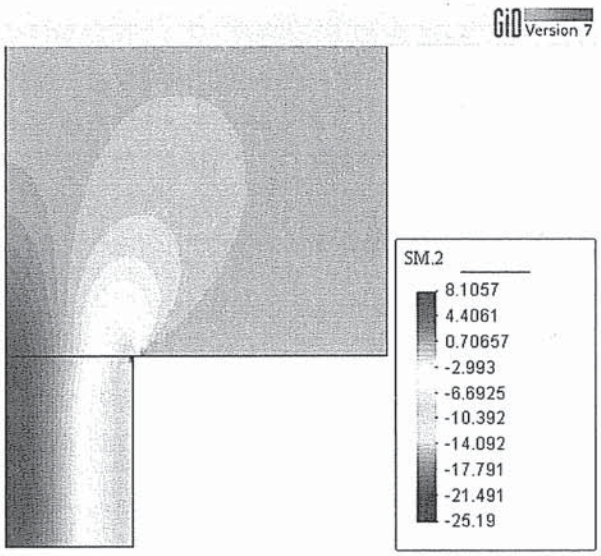


Figura 10: Tensiones SM2 paralelas al eje vertical del muro bandera.

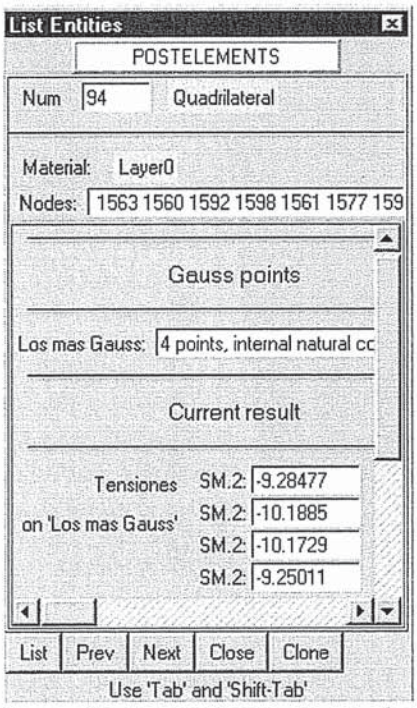


Figura11. Consulta de tensiones en un elemento del borde comprimido de la base del muro.

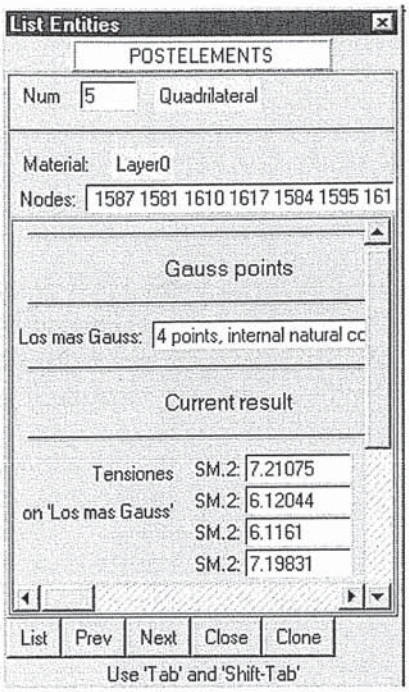


Figura 12: Consulta de tensiones del borde traccionado de la base del muro.

Puede verse en Fig. número 11 y 12 que en los puntos de Gauss más cercanos a los bordes las tensiones son congruentes con las estimaciones, siendo estas de alrededor de –10,17 MPa en el borde comprimido y de 7.20 MPa en el borde traccionado.

En la Fig. número 13 se presenta la estructura deformada.

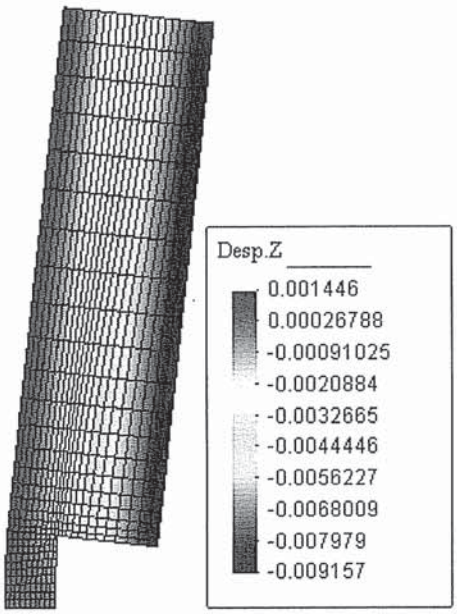


Figura 13. Deformada con indicación de desplazamientos en el eje z, coincidente con el eje vertical del muro.

3.2 *Aplicación 2: Cilindro sometido a presión interna*

La segunda aplicación consiste en un cilindro sometido a presión interna, al cual se le permite expansión radial y se le impide el desplazamiento longitudinal en ambos extremos. Se presentan 2 modelos. En el primero se modeló el cilindro completo, con 48 elementos, y en el segundo, se modeló un cuarto con 432 elementos.

3.2.1 *Resultados teóricos*:

Tensión circunferencial:

$$\sigma_{circ} = \frac{P \cdot d}{2 \cdot e} = \frac{1 \cdot 1}{2 \cdot 0.01} = 50MPa$$

Tensión longitudinal:

$$\sigma_{long} = \nu \cdot \sigma_{circ} = 0.3 \cdot 50 = 15MPa$$

Desplazamiento radial:

$$\varepsilon_{circ} = \frac{1}{E} \cdot \left(\sigma_{circ} - \nu \cdot \sigma_{long}\right) = 0.2166‰$$

$$D_{def} = D \cdot \left(1 + \varepsilon_{circ}\right) = 1000.2166mm$$

$$Desp.radial = \frac{\left(D_{def} - D\right)}{2} = 0.1083\,mm$$

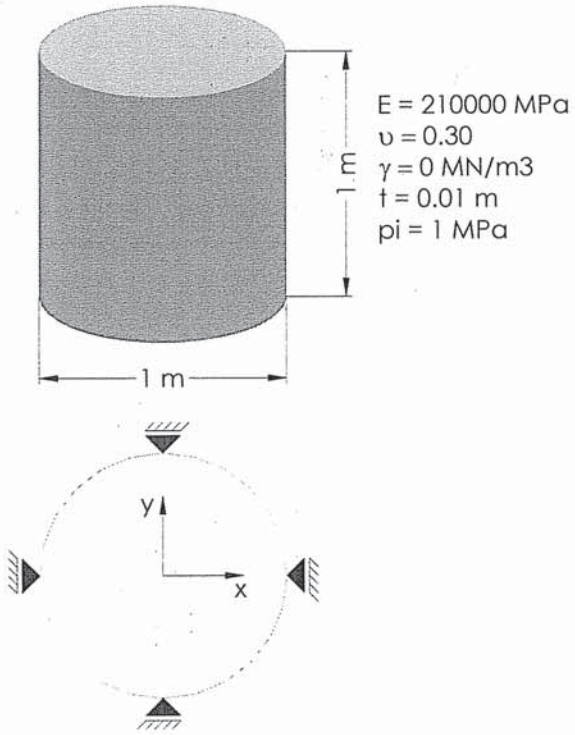


Figura 14: Cilindro sometido a presión interna

3.2.1 *Resultados obtenidos con el módulo Sloof*

En las fig. número 15 y 16 se muestran las tensiones circunferenciales y longitudinales respectivamente para el primer modelo en la configuración deformada párale primer caso, en la cual puede apreciarse la influencia del modo espurio flexional. Puede verse también que las tensiones circunferenciales son coincidentes con las presentadas en el subtítulo 3.2.1.

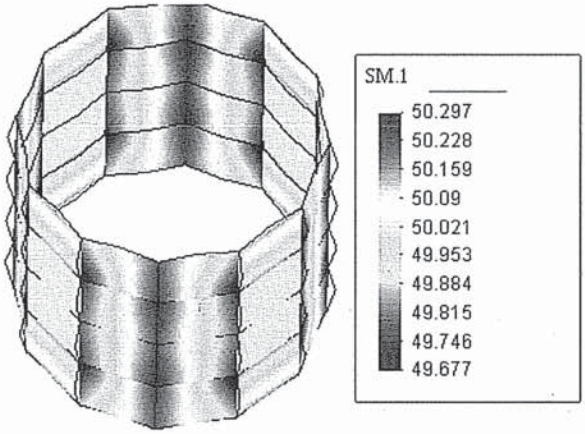


Figura 15. Tensiones circunferenciales en el mod.1

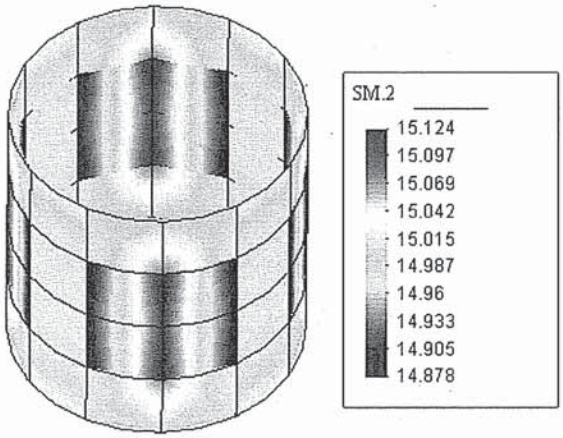


Figura 16. tensiones longitudinales.

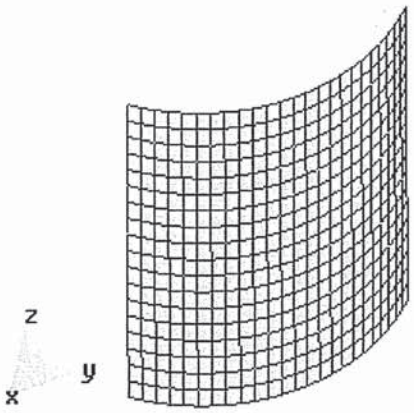


Figura 17. Modelo 4.

En las fig. número 17 y 18 se presenta el segundo modelo en las tensiones circunferenciales para este, presentadas en el cilindro completo gracias a una herramienta de GiD que permite hacerlo, útil para casos como éste, en el que existe simetría axial.

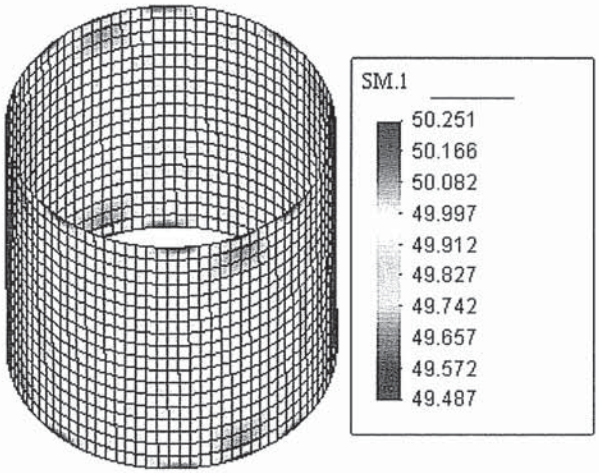


Figura 18. Tensiones circunferenciales en el mod.4

En la Fig. número 19 se muestra a modo de ejemplo una consulta de desplazamientos nodales.

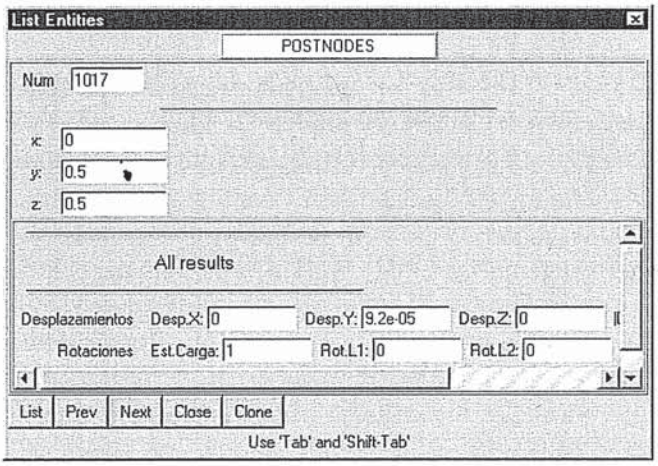


Figura 19. Ejemplo de consulta de desplazamientos nodales.

En esta última figura el desplazamiento fue consultado en un nodo ubicado en el eje x con coordenada y = 0, donde el desplazamiento en x es nulo, y el desplazamiento en y es 0.092mm, congruente con el desplazamiento calculado en el punto 3.2.1.

4 CONCLUSIONES

En este trabajo solo se han presentado las bases de un pre y postprocesamiento fácil, ameno y visual

para el solver de elementos finitos Semiloof de Bruce Irons. Queda para trabajos futuros completar el postproceso del resto de resultados, que por el momento pueden leerse de la salida original del solver.

Por otro lado, el empleo de GiD a significado poner al alcance del solver estructuras con geometrías complejas, que serían inabordables sin una herramienta como esta.

5 REFERENCIAS

[1] B. Irons, S. Ahmad, Techniques of Finite Elements, Ellis Horwood Limited, Chichester, West Sussex, 1980.

[2] B. Irons, The Semiloof Shell Element, Chapter 11, Finite Elements for thin shells and curved membranes, eds. D. G. Ashwell, and R, H. Gallagher, Wiley.1976.

[3] B. Irons, The Patch Test, Proc. Finite Element Symp., Atlas Computing Laboratory, 171-192, 1975.

[4] K. Mallikarjuna Rao, U. Shrinivasa, A set of pathological test to validate new finite elements, Sadhana Vol. 26, Part. 6, 549-590, 2001.

[5] E. Villafañe, C. J. Leiva, J.C. Pina, Puesta a punto de software para el análisis lineal de cáscaras y placas utilizando el elemento finito Semiloof desarrollado por Bruce M. Irons, Jornadas de Investigación Facultad de Ingeniería, 2004, Aplicaciones en Ingeniería, 2005.

[6] E. Villafañe, J.C. Pina, C. J. Leiva, Sobre estados de tensión plana en vigas de hormigón armado. Jornadas de Investigación Facultad de Ingeniería 2004, Aplicaciones en Ingeniería, 2005.

[7] E. Villafañe, C. J. Leiva, J.C. Pina, Sobre el análisis de la respuesta flexional de cáscaras y placas utilizando Semiloof, Encuentro de Investigadores y Docentes en Ingeniería 2006, Desarrollos e Investigaciones Científico-Tecnológicas en Ingenierías. 2006.

[8] F. Albuquerque, A Beam Element for Use with the Semiloof Shell Element, University of Wales, 1973.

[9] GiD Versión 7.2 (Versión académica), Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería – CIMNE, 2002.

[10] Manuales y tutoriales de GiD Versión 7.2 (Versión académica) Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería – CIMNE, 2002.

Modelo de simulación de la Central Nuclear Atucha I para la gestión de accidentes severos con el código Melcor 1.8.5

J. E. Núñez Mc Leod, E. González Videla & L. Pomier Baez
jmcleod@cediac.uncu.edu.ar, egonzalez@cediac.uncu.edu.ar & lpomier@cediac.uncu.edu.ar
Instituto CEDIAC, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo

RESUMEN: se desarrolló un modelo de simulación de la Central Nuclear Atucha I, con el objeto de evaluar el comportamiento de la planta frente a diversos eventos accidentales, que evolucionen hasta transformarse en un accidente severo. El modelo incluye los circuitos primario, moderador, secundario y la contención. En el presente trabajo se detallan las características del modelo y los resultados obtenidos en los procedimientos de estabilización del mismo.

1 INTRODUCCIÓN

El modelo de simulación para la Central Nuclear Atucha I, está destinado a la prevención y mitigación de los accidentes severos a través de planes y acciones que garanticen la toma de decisiones técnicas y administrativas adecuadas.
Con el objeto de poder evaluar y analizar el comportamiento de la central nuclear, ante diversas situaciones accidentales, que van más allá de sus bases de diseño Ref. [1], se hace necesario el desarrollo de un modelo de simulación termohidráulico, para lo cual se hizo uso del código Melcor 1.8.5 Ref. [2], que fue diseñado y validado específicamente para este tipo de tareas.
El desarrollo del modelo es integral, incluyendo los sistemas principales de la planta, desde el mismo reactor nuclear, con su circuito de refrigeración primario, el sistema de moderación y el circuito secundario de vapor vivo, hasta el sistema de contención y se basa en trabajos realizados con anterioridad Ref. [3].
Una vez armado todo el modelo, se procedió a la estabilización termohidráulica del mismo, para lo cual se utilizaron los parámetros de la planta trabajando a plena potencia.
En este trabajo, se detalla la forma en que fueron modelados cada uno de los sistemas de la planta, teniendo en cuenta, en cada caso, el nivel de detalle adecuado, para evitar el desarrollo de un modelo excesivamente elaborado lo que aumentaría innecesariamente los tiempos de ejecución de las simulaciones.
Posteriormente se detallan los resultados obtenidos en el proceso de estabilización del modelo, haciendo un contraste con los parámetros reales de la central nuclear, trabajando a plena potencia.
Finalmente se exponen las conclusiones del trabajo.

2 MODELO DE SIMULACIÓN

2.1 *Central Nuclear Atucha I*

La central nuclear se ubica a 100 km al noroeste de la Capital Federal, Argentina, en el pueblo de Lima, cerca de la localidad de Atucha. Genera 1179 MW térmicos y 345 MW eléctricos.
En la Fig. 1, se observa un esquema de los principales sistemas de la planta y su interrelación. En la misma se distinguen los cuatro sistemas

modelados: el circuito principal de refrigeración del reactor, el circuito de moderación, el circuito secundario (agua de alimentación y línea de vapor vivo) y el sistema de contención.
Si bien, el condensado de la turbina es recirculado al tanque de agua de alimentación, cerrando el circuito del sistema secundario, se ha dejado el lazo abierto, utilizando una fuente y un sumidero, debido a que los eventos accidentales a simular se focalizan en el reactor y sus dos circuitos asociados, el de refrigeración y el de moderación. De esta manera no se complica innecesariamente el modelo.

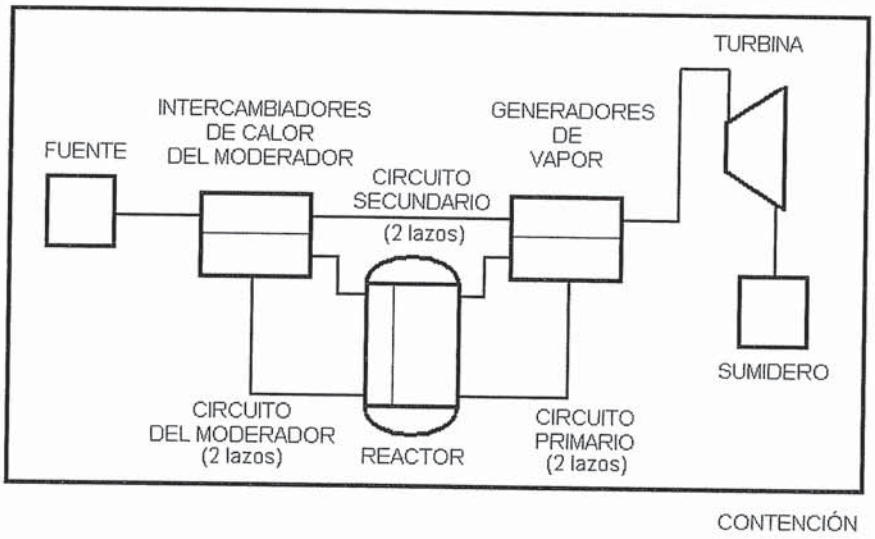


Figura 1. Esquema de los sistemas modelados de la central nuclear

2.2 *Sistema primario*

El circuito o sistema primario (sistema QH), incluyen al reactor, dos lazos de refrigeración, en donde se encuentran ubicados los dos generadores de vapor, y el sistema de control de presión, compuesto por el presurizador y su tanque de alivio, tal como se observa en la Fig. 2, en donde se ha destacado la nodalización utilizada en el modelo.
Este sistema es el permite la refrigeración del núcleo del reactor, y mediante la intervención de los generadores de vapor, transforma la energía extraída al núcleo en vapor, que será el encargado de impulsar la turbina.
El reactor se lo ha modelado en gran detalle, mientras que el resto del sistema primario se ha tratado de simplificar lo más posible. Esto debido a que se desean simular, con gran precisión, los eventos in-vessel con la degradación del núcleo del reactor, en estadíos avanzados de los accidentes severos a simular.
Los canales del reactor, en donde se encuentran los elementos combustibles del mismo, se han modelado agrupándolos en 8 volúmenes de control (CV111 a CV118). Junto a estos canales, se ha colocado un volumen, representativo del tanque del moderador (CV104), que interviene en el sistema de moderación del reactor. A estos, se les añaden el plenum superior e inferior (CV 102 y CV101) y el canal de descenso (CV100).
Los dos lazos de refrigeración se han modelado incluyendo el sello hidráulico de los mismos, mediante 4 volúmenes de control cada uno (CV200 a CV203 y CV210 a CV213).
Los generadores de vapor están nodalizados con cuatro volúmenes en el lado primario y tres en el secundario.
Finalmente, el sistema de control de presión, que se encuentra en uno de los lazos del circuito primario, se modeló con dos volúmenes de control, para representar al presurizador y su tanque de alivio (CV406 y CV407).

2.3 *Sistema del moderador*

El sistema del moderador (sistema QM) cumple la función de moderación de una parte de la reacción nuclear, y extrae una porción menor de la energía del reactor, alrededor de un 10 %. Esta energía se la utiliza en el precalentamiento del agua de alimentación de los generadores de vapor, mediante sendos intercambiadores de calor (QK01 y QK02).
El sistema en sí, tiene cierto grado de complejidad, ya que si se produce un accidente que involucre la

pérdida de refrigerante del sistema principal, el agua del moderador se inyecta a dicho circuito, con el objeto de reponer refrigerante y retrasar el descubrimiento del núcleo. Para hacer esto, se realiza lo que se denomina la "conmutación del moderador", con un sistema de válvulas.

En la Fig. 3 se encuentra representada la nodalización de este sistema.

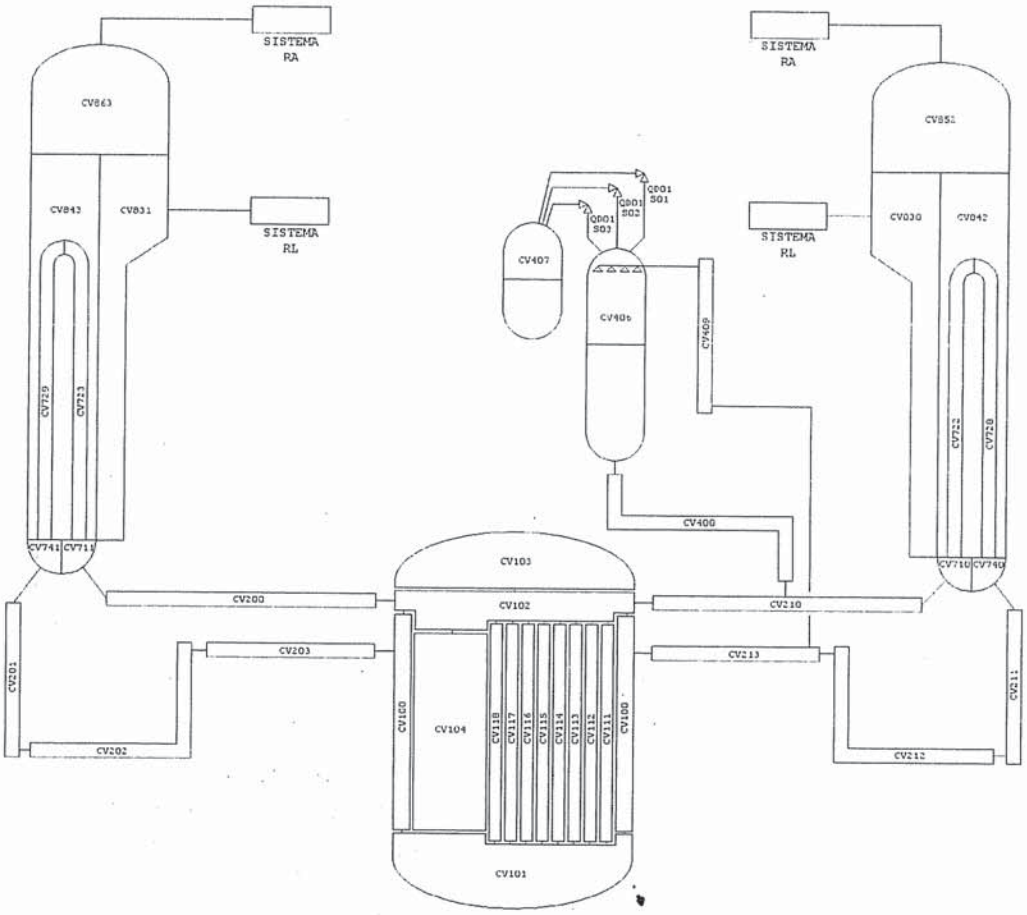


Figura 2. Nodalización del sistema primario (sistema QH)

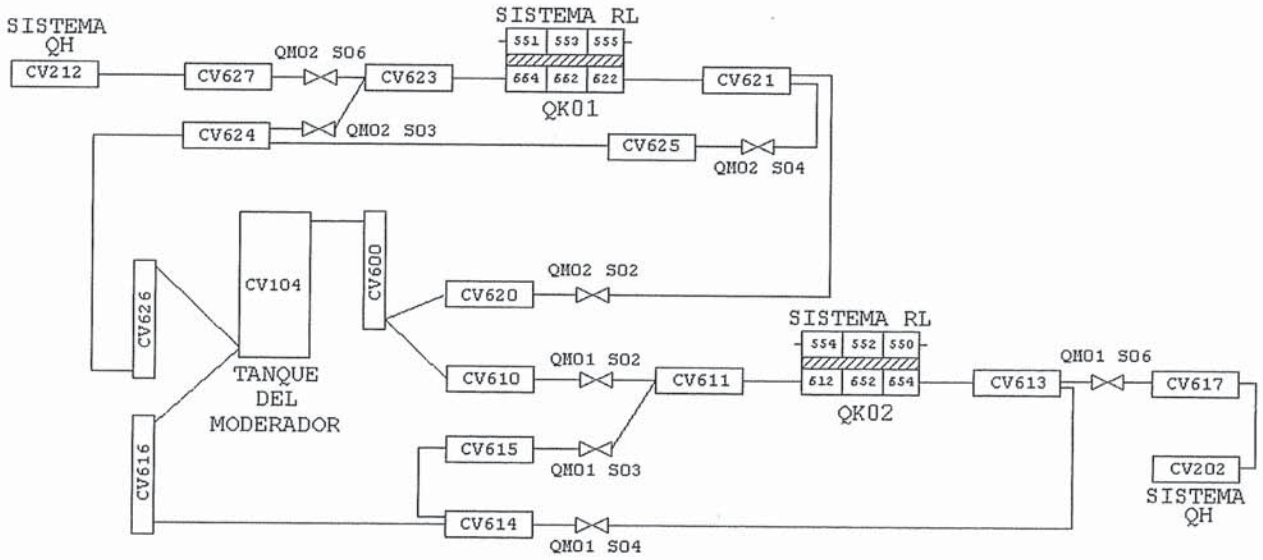


Figura 3. Nodalización del sistema del moderador (sistemaQM)

Este sistema extrae el agua desde el tanque del moderador (CV104) y a través de las válvulas QM01S02 y QM02S02 se lleva a los intercambiadores de calor QK01 y QK02, donde precalientan el agua de alimentación de los generadores de vapor. De allí, se retorna al tanque del moderador a través de las válvulas QM01S04 y QM02S04. En funcionamiento normal, el resto de las válvulas están cerradas.
Como se dijo anteriormente, ante un evento accidental, se puede conmutar el circuito del moderador e inyectar agua al circuito primario, a través de las válvulas QM01S06 y QM02S06.

2.4 *Sistema secundario*

El sistema secundario incluye el circuito de agua de alimentación y el de vapor vivo (sistemas RL y RA), tal como se observa en la Fig. 4 y 5. En este sistema se encuentran los intercambiadores del moderador (QK01 y QK02) y los generadores de vapor (QW01 y QW02).
Se ha modelado desde el tanque de almacenamiento de agua tratada (CV560) hasta la turbina (CV506), tomando a las condiciones de los mismos como condiciones de contorno del modelo, para lo cual se han establecido sus parámetros operativos independientes del tiempo.
Para las situaciones accidentales que se prevén simular, estas condiciones de contorno son válidas, en la medida que se produce en todos los casos el cierre rápido de turbina, cortándose el agua de alimentación.

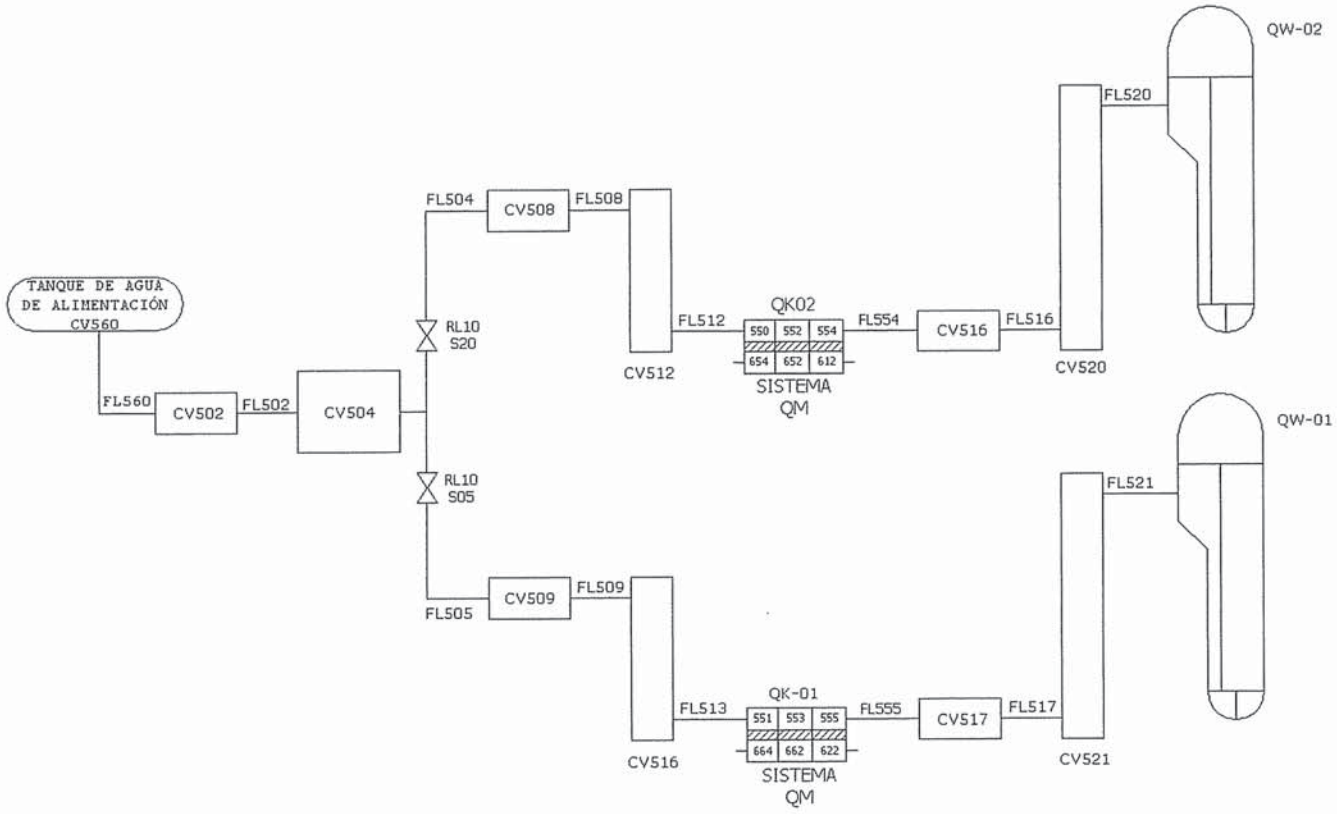


Figura 4. Circuito de alimentación de agua (sistema RL)

2.5 *Contención*

En la Fig. 6 se encuentra representada la nodalización de la contención de la planta. La finalidad de incluir la misma, corresponde a la necesidad de evaluar en forma integral las condiciones de seguridad de la planta, ya que la contención está diseñada como una barrera de protección frente a un accidente severo.
El modelo de la contención está formado por el conjunto de recintos en los cuales se encuentran todos los sistemas detallados anteriormente y su

interrelación.

De los recintos más relevantes se pueden mencionar el CV900, que corresponde a la fosa del reactor. Por otro lado, los recintos CV915 y CV920, corresponden a los generadores de vapor y el CV910 al presurizador.

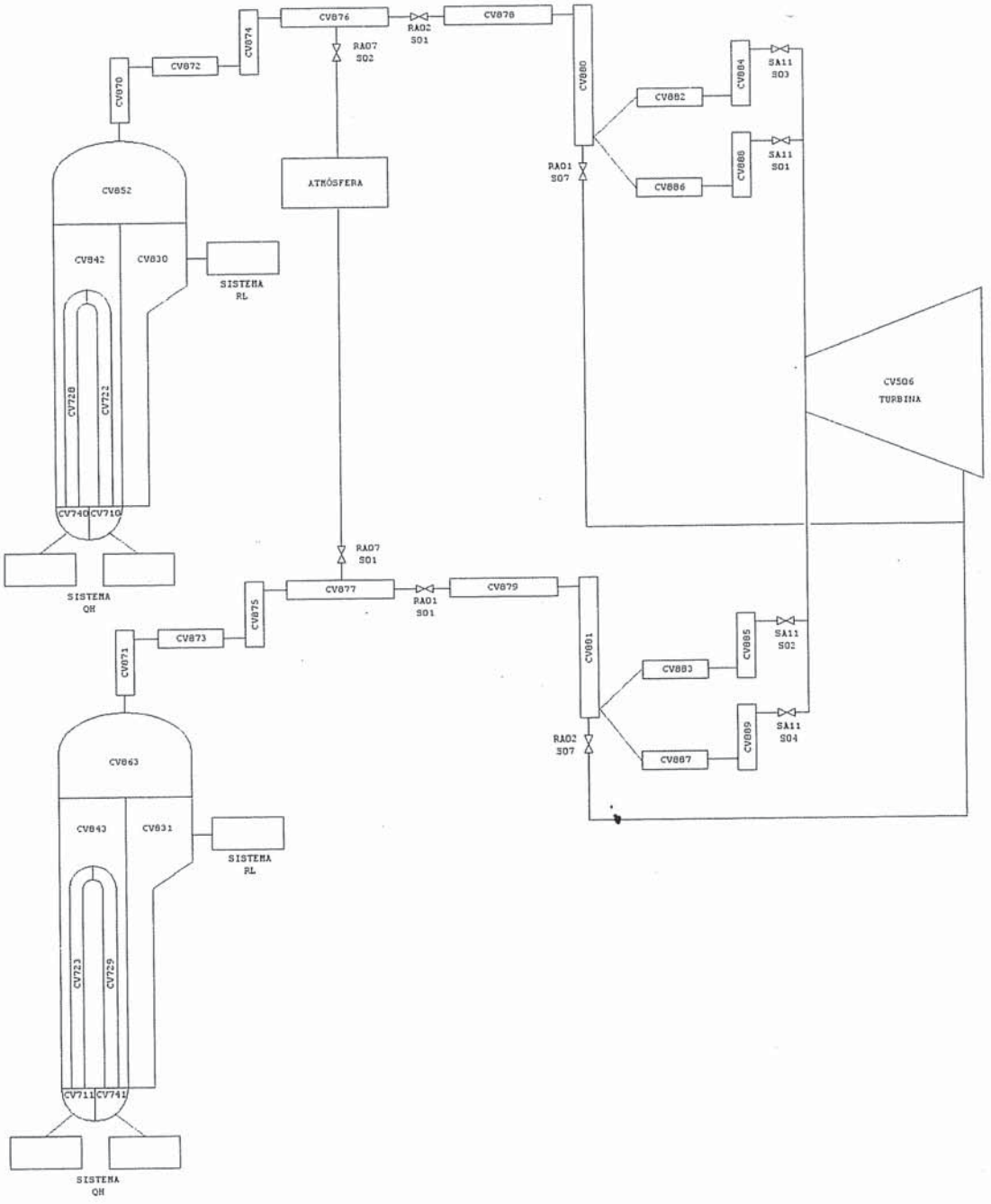


Figura 5. Circuito de vapor vivo (sistema RA)

3 ESTABILIZACIÓN DEL MODELO

Antes de poder utilizar el modelo en la simulación de cualquier evento accidental, se debe proceder a la estabilización del mismo, lo que consiste en establecer un funcionamiento en estado estacionario en todos los parámetros termohidráulicos del modelo.

Este proceso consiste básicamente en establecer todos los valores iniciales (presiones, temperaturas, velocidades de flujo, etc.) de todos y cada uno de los componentes del modelo. Si bien en el momento de definir cada componente se establecen valores

preliminares, en esta etapa se hace un ajuste fino, hasta lograr la estabilidad de todos los parámetros.
En las siguientes figuras se muestran, a modo de ejemplo, los resultados de este procedimiento, en distintos recintos del modelo.
Cuando se evalúa una secuencia accidental, normalmente ésta tiene inicio en el tiempo t = 0 segundos, por esto los gráficos de estabilización se desarrollan desde los -120 segundos hasta los 0 segundos.

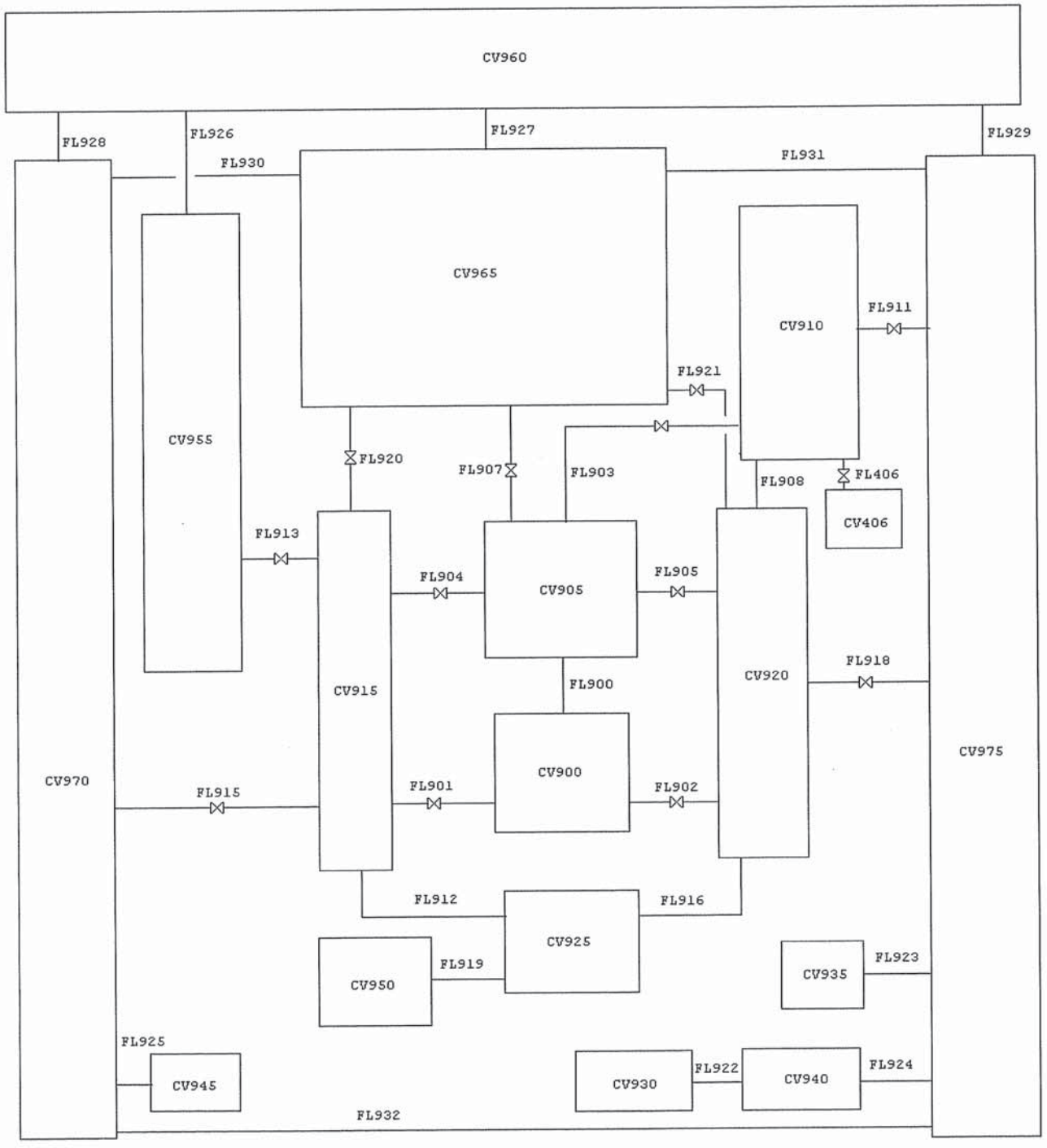


Figura 6. Nodalización de la contención

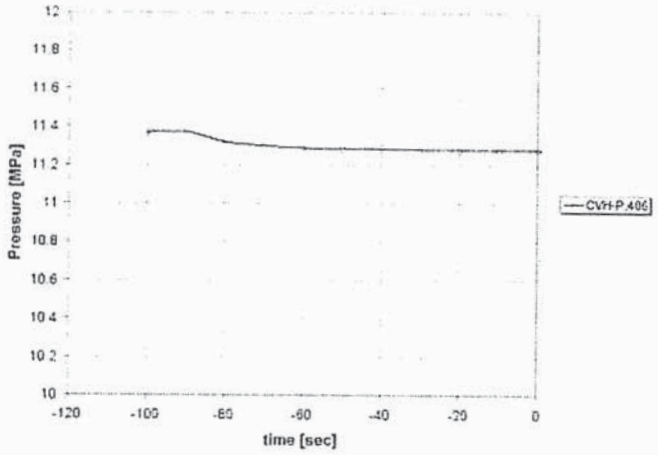


Figura 7. Presión en el presurizador

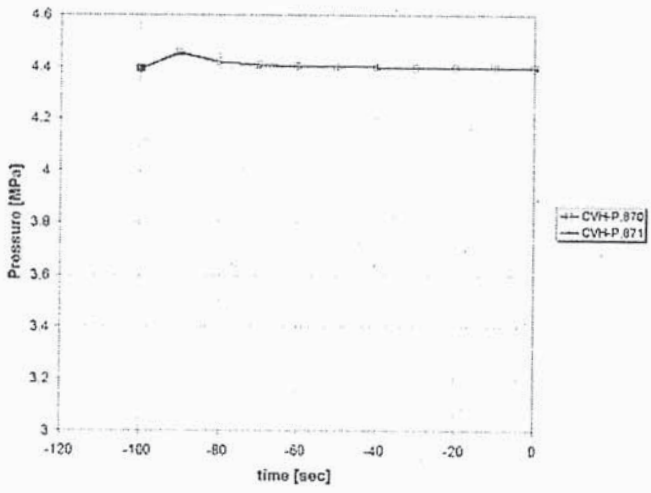


Figura 8. Presión en los generadores de vapor

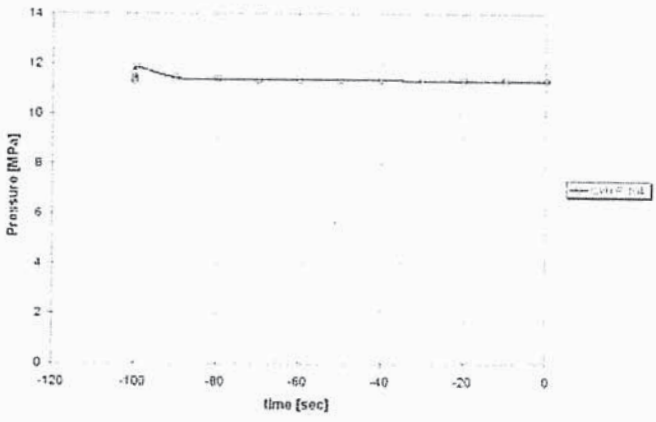


Figura 9. Presión en el tanque del moderador

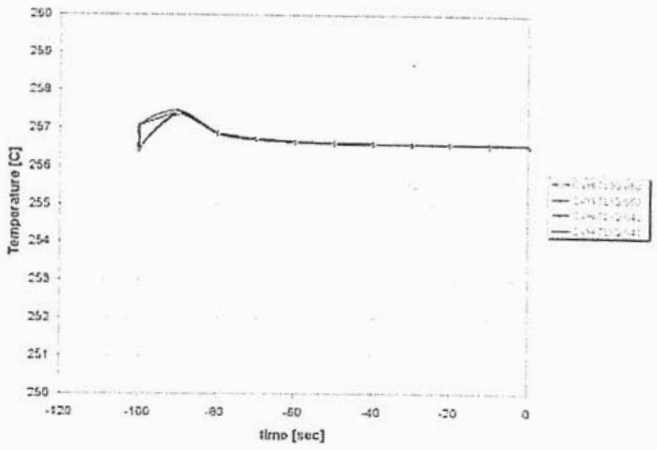


Figura 10. Temperatura en los generadores de vapor

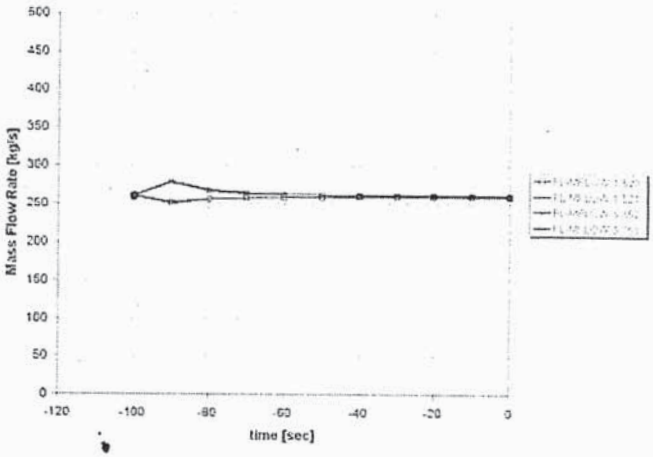


Figura 11. Caudales de entrada y salida de los generadores de vapor

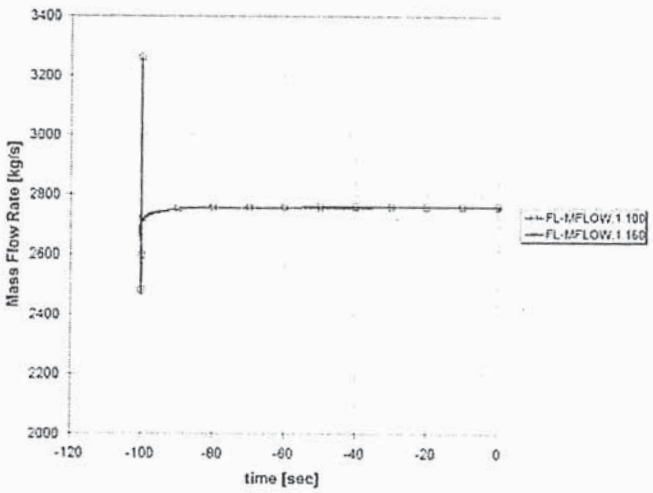


Figura 12. Caudales de entrada y salida del reactor

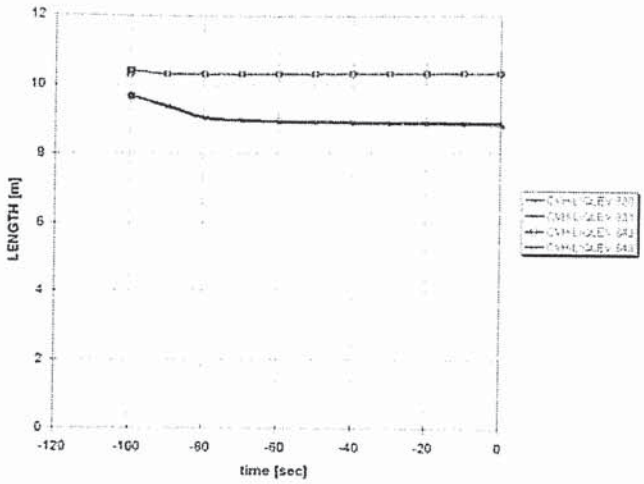


Figura 13. Niveles de líquido en los generadores de vapor

4 RESULTADOS

En la Tabla 1 se ubican los datos comparativos entre los valores reales de planta y los resultados obtenidos en el modelo al alcanzar el estado estacionario del mismo Ref. [4].

Tabla 1. Comparación entre los valores de planta y los del modelo

Parámetro	CNA I	MELCOR	Error rel.%
Potencia reactor	1179 MW	1179 MW	0.0
Potencia moderador	106 MW	106 MW	0.0
Caudal refrigerante	5956 kg/s	6001 kg/s	0.8
Presión salida reactor	114 at	118 at	3.5
Temperatura salida reactor	300 °C	299.2 °C	0.3
Aumento temperatura núcleo	35.5 °C	35.1 °C	1.1
Presión salida generadores de vapor	43 at	42.2 at	1.9
Temperatura vapor	254.9 °C	254.4 °C	0.2
Caudal vapor	523.8 kg/s	515 kg/s	1.7
Caída presión núcleo	6.71 at	6 at	10.6
Volumen refrigerante núcleo	46 m^3	44 m^3	4.3
Volumen líquido presurizador	24 m^3	23.9 m^3	0.4

Como se observa que el máximo error relativo porcentual corresponde a la caída de presión del núcleo. Esto se debe a la dificultad de modelar la gran cantidad de elementos que constituyen los canales del núcleo. Sin embargo, se estima que la diferencia no será relevante para el tipo de accidentes a simular, que incluyen la pérdida de refrigeración del núcleo, con lo cual se reduce significativamente el caudal de agua pesada y con él el error en la caída de presión en el núcleo se hace despreciable.

5 CONCLUSIONES

El modelo desarrollado de la Central Nuclear Atucha I, representa con un nivel de error adecuado las condiciones operativas reales de la planta, trabajando a plena potencia.

Este modelo, ya estabilizado, está en condiciones de realizar diversas simulaciones de accidentes severos, incluyendo la degradación del núcleo, con lo cual se pretende dar soporte y justificación técnica al análisis de accidentes severos, al permitir evaluar el comportamiento de la planta y de sus sistemas de seguridad frente a diversos escenarios propuestos.

6 REFERENCIAS

[1] Accident Analysis for Nuclear Power Plants with Pressurized Water Reactors, Safety Reports Series No 30. IAEA, 2003.

[2] R. O. Gauntt, R. K. Cole, et. al., MELCOR 1.8.5- "MELCOR Computer Code Manuals," NUREG/CR-6119, Revision 2, U.S. Nuclear Regulatory Commission, 2000.

[3] Lázaro E. Pomier Báez, Eduardo González Videla, Juan E. Núñez Mc Leod. Manual de Ingeniería: Modelos del Sistema Primario y la Contención de la CNA I para el Código MELCOR. CEDIAC-IN-SN901-05. Abril 2005.

[4] Sistema de Refrigeración del Reactor y Sistemas Conectados, Capítulo 5, Informe de Seguridad de la CNA I. Sección 5.1, Página 5.1-1. CNAI-IS 1999.

Gestión de los residuos generados en el análisis de la materia orgánica mediante la Demanda Química de Oxígeno

M. Bittar & S. Ugarte

mbittar@fing.uncu.edu.ar & sugarte@uncu.edu.ar
GESTAR, Instituto de Medio Ambiente, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo

C. Quiroga, J. Fernández Llano, M. Arreghini, L. Ferrer, C. Nadal

mcquiroga41@hotmail.com, jfernand@uncu.edu.ar, darre@uncu.edu.ar, lferrer@fing.uncu.edu.ar, cecilianadal@speedy.com.ar
GESTAR, Instituto de Medio Ambiente, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo

RESUMEN: En nuestra provincia, Obras Sanitarias Mendoza S.A. (O.S.M.S.A.), para preservar sus colectoras y plantas de tratamiento de líquidos cloacales, reglamentó mediante la Resolución N° 19/90 - Modificatoria N° 13/95 el vuelco a red cloacal de líquidos generados por actividades industriales, comerciales, fabriles y todos aquellos efluentes distintos a los domiciliarios.
Un caso particular lo constituyen los residuos líquidos generados en los laboratorios de análisis químicos, los que usualmente son descargados a la red cloacal. Si bien sus volúmenes son muy pequeños, su adecuada gestión debe constituir una pieza fundamental en la aplicación de normas de calidad y gestión ambiental en los laboratorios.
Un análisis muy frecuente es el de la Demanda Química de Oxígeno, que genera un residuo ácido con contenidos de cromo y mercurio superiores a los establecidos por O.S.M.S.A.
Dada la peligrosidad de estos contaminantes, fue imperiosa la necesidad de elaborar un plan de gestión para los mismos.
La reducción con tiosulfato de sodio permitió la remoción del cromo, alcanzándose valores inferiores a los permitidos, y en menor medida del mercurio. El mezclado del líquido tratado con el proveniente del análisis de Demanda Bioquímica de Oxígeno permitió la remoción del cromo y mercurio remanentes.

1 INTRODUCCIÓN

La eficiencia del tratamiento biológico de las aguas residuales domésticas se puede ver afectada por la presencia de componentes en concentraciones superiores a las que permiten el desarrollo de los microorganismos involucrados en el proceso.
En nuestra provincia, O.S.M.S.A. ha reglamentado mediante la Resolución N° 19/90 - Modificatoria N° 13/95 el vuelco de efluentes líquidos distintos a los domiciliarios. Es práctica común descargar a la red cloacal los líquidos generados en los laboratorios de análisis, los cuales se caracterizan por su gran diversidad y pequeños volúmenes. Estas características no permiten aplicar las metodologías establecidas para otras aguas residuales. No obstante, su gestión es igualmente importante y compleja, ya que se requiere un plan integrado de recogida selectiva, identificación y tratamiento.
En general, los residuos generados en los laboratorios de análisis presentan como características particulares la gran diversidad,

peligrosidad y escaso volumen, lo que hace que su gestión presente una problemática distinta a la de los residuos de origen industrial.
Los residuos de laboratorios de análisis de agua y efluentes incluyen reactivos diversos, aceites, hidrocarburos, solventes, cianuros, metales, sustancias cancerígenas, residuos biológicos, etc.

2 RESIDUO LÍQUIDO DEL ANÁLISIS DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)

Entre las determinaciones analíticas que se llevan a cabo para evaluar la calidad de aguas y efluentes líquidos, se seleccionó la de DQO. Esta determinación analítica, que genera un líquido residual peligroso, es de amplia aplicación y simple de ejecutar en forma rápida. Es posible relacionarlo empíricamente con otras variables, como la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) o el carbono orgánico, lo que en muchos casos permite no realizar todas estas determinaciones que, en general, son mas complicadas o de mayor duración.
Por otra parte, la relación DBO/DQO se utiliza para determinar la naturaleza de los contaminantes orgánicos en el agua, lo que es de gran utilidad cuando se va a seleccionar el tratamiento de depuración.

2.1 Objetivos de la gestión del residuo de la determinación de DQO

Dos son los objetivos de la gestión del residuo líquido generado en la determinación de la DQO en el laboratorio, a saber:
- Almacenar e identificar el residuo líquido en forma correcta para evitar riesgo de contaminación del ámbito de trabajo.
- Remover los componentes tóxicos para cumplir con la normativa de vuelco de efluentes líquidos a la red cloacal.

El análisis de DQO deja un residuo con contenidos de Cromo y Mercurio superiores a los establecidos por O.S.M.S.A., por lo que no debería ser volcado a la red cloacal y, por lo tanto, sería almacenado en el ambiente de trabajo, con el consiguiente riesgo para la salud.
Dada la peligrosidad de estos contaminantes, fue imperiosa la necesidad de elaborar un plan de gestión para los residuos generados en la determinación de DQO en el laboratorio, que comprendería básicamente su almacenamiento correcto y tratamiento posterior para adecuarlo a las condiciones establecidas por O.S.M.S.A.
Se establecieron las siguientes etapas en el plan de gestión:
- Recogida selectiva.
- Envasado y etiquetado.
- Almacenamiento adecuado.
- Caracterización del líquido.
- Remoción de contaminantes mediante un tratamiento técnica y económicamente accesible.

2.2 Toxicidad de los componentes del residuo de la DQO

Distintas organizaciones se han ocupado de estudiar y divulgar los efectos que el cromo y mercurio causan sobre la salud humana.
El origen de la contaminación del ambiente con cromo se debe a diversas causas, como la disposición en suelo de lodos biológicos y las distintas actividades del hombre. Además, tanto las forma trivalente como la hexavalente se presentan en los medios biológicos.
Se ha comprobado que el cromo VI es tóxico, mientras que el cromo III prácticamente no lo es. El primero en concentración de 10 mg/kg de peso produce casos de necrosis hepática, nefritis y muerte, mientras que dosis más bajas causarán irritación de la mucosa gastrointestinal. El cromo VI en dosis altas ha sido señalado como causa de cáncer en el hombre. Ref. [1].
El mercurio puede producir efectos tóxicos generales y, además, problemas neurológicos, renales, gonadotóxicos y mutagénicos. Ref. [2].
El efecto principal de la plata es la decoloración de la piel, del cabello y de las uñas de las manos (argiria). No existe evidencia que la plata que se ha ingerido sea carcinogénica. Ref. [3].

2.3 Características de los residuos

La técnica del análisis de la DQO consiste, básicamente, en la oxidación con dicromato de potasio en medio ácido sulfúrico, catalizada por sulfato de plata. El cloruro, que interfiere la reacción, es removido mediante el sulfato mercúrico. Por lo tanto, el residuo tiene bajo pH, cromo, mercurio y plata.
O.S.M.S.A. en el artículo 19° establece límites, entre otros, para el pH, cromo hexavalente y mercurio. Estos dos metales también son considerados en la Ley Nacional de Residuos Peligrosos N° 24.051.

En la Tabla 1. se muestran los resultados de los análisis del líquido residual generado en el laboratorio.

Tabla 1. Características del líquido residual

Determinación	Resultado	Límite de detección
pH	1,2	---
Cromo total, mg/L	637	0,04
Mercurio, mg/L	1780	0,005
Plata, mg/L	835	0,02

El pH bajo debido al ácido sulfúrico, se determinó por el Método Electrométrico con corrección de temperatura – Parte 4500 H – Métodos normalizados de análisis de aguas y aguas residuales.

Cromo, Mercurio y Plata se determinaron mediante Espectrofotometría de Absorción Atómica, previa digestión ácida de la muestra. Los métodos utilizados fueron los siguientes:

- Cromo: Norma Nº 7190 – Environmental Protection Agency (EPA).
- Mercurio: Norma Nº 7470 – EPA.
- Plata: Norma Nº 77600 – EPA.

El tratamiento preliminar fue por digestión ácida, según Norma Nº 7470/A – EPA.

Los valores de la Tabla 1. se muestran en la Figura 1.

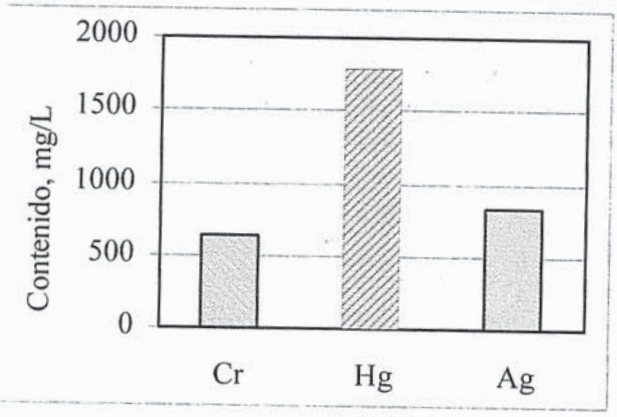


Figura 1. Características del líquido residual.

En la Figura 1, Cr corresponde a cromo total, es decir, Cr VI y Cr III. El cromo VI proviene del dicromato de potasio utilizado como oxidante, mientras que el cromo III es la forma reducida por la materia orgánica del líquido residual.

El mercurio se encuentra como catión mercúrico proveniente del sulfato mercúrico utilizado para remover la interferencia de cloruros.

La plata está como catión proveniente del sulfato de plata utilizado como catalizador de la reacción de oxidación.

Los resultados obtenidos para cromo y mercurio fueron muy superiores a los de la normativa de Obras Sanitarias Mendoza S.A. para el vuelco de efluentes a la red cloacal, lo que fundamentó ampliamente la necesidad de sanear este líquido residual.

En la Tabla 2 se dan los límites de la mencionada reglamentación.

Tabla 2. Límites permitidos por O.S.M.S.A.

Determinación	Límite
Cromo total, mg/L	0,2
Mercurio, mg/L	0,005

Para el pH se establece el Índice de Contaminación, de acuerdo al rango. Para el pH del líquido residual evaluado correspondería un Índice 5. Éste interviene en la fórmula para el cálculo del Derecho Especial para el Control de la Contaminación que fija el canon a pagar por el vuelco.

Para la plata, O.S.M.S.A. no establece un límite.

Con respecto al volumen de líquido residual acumulado durante dos años por el laboratorio, fue de 3850 ml. En la Tabla 3. se indican los mililitros acumulados por año.

Tabla 3. Volúmenes de líquido residual

Año	Volumen (ml)
Primero	1650
Segundo	2200

Estos volúmenes correspondieron a trescientos sesenta y dos determinaciones de DQO en el primer año y cuatrocientos ochenta y seis en el segundo.

Este líquido residual fue almacenado en recipientes plásticos herméticos. Los mismos, precintados e identificados, se almacenaron en ambiente fresco, seco, oscuro y fuera del ámbito de trabajo diario, para ser tratados.

3 TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS

3.1 Selección del tratamiento

Con el objeto de lograr la remoción de los contaminantes mediante un tratamiento técnica y económicamente accesible, primeramente se evaluaron los siguientes métodos para la separación

de metales de aguas y efluentes líquidos, especialmente cromo y mercurio.

- Osmosis Inversa

Este tratamiento es útil en la depuración y reciclado de efluentes industriales, recuperación de metales valiosos y obtención de agua de alta calidad.

En la ósmosis inversa se separa el agua de las sales disueltas mediante una membrana semipermeable, a una presión superior a la presión osmótica generada por las sales disueltas del agua a depurar.

La desventaja principal de este tratamiento es su costo elevado.

- Intercambio Iónico

Sirve para eliminar sales disueltas en agua.

En esta operación los iones disueltos en el agua desplazan a los de la resina de intercambio.

Para la reducción de los sólidos disueltos en el agua, se utilizan resinas de intercambio aniónico y resinas de intercambio catiónico.

Primeramente el agua a depurar se hace pasar por la resina catiónica, donde los iones positivos se intercambian por cationes hidrógeno.

Posteriormente, este efluente se pasa por la otra resina, intercambiándose los aniones del líquido con los iones hidróxido.

Cuando se agotan las resinas, se realiza la regeneración de las mismas con ácido fuerte (ej.: ácido sulfúrico) para la catiónica y base (ej.: hidróxido de sodio) para la aniónica.

No todos los iones disueltos se eliminan igual, sino que cada resina se caracteriza por una serie selectiva.

Entre las desventajas del método cabe destacarse el costo de las resinas y la posibilidad de obturación de las mismas, lo que incide negativamente en sus rendimientos.

- Adsorción con carbón activado

Este tratamiento se usa para eliminar la materia orgánica refractaria, pero también tiene aplicación en la adsorción de algunos elementos inorgánicos, como antimonio, arsénico, cromo, mercurio.

El tratamiento es eficiente si los contenidos de sólidos suspendidos y disueltos del agua residual se mantiene por debajo de ciertos límites. Los primeros, cuando están por encima de los 20 mg/l, se depositan en el carbón activado, produciendo obstrucciones, canalizaciones y disminución de la capacidad adsorbente.

El contenido de sólidos disueltos debe ser bajo para evitar la necesidad de regenerar el carbón con más frecuencia.

El rendimiento también está influenciado por otros factores, como el pH, la temperatura y el caudal.

- Reducción y Precipitación

Este método consiste en la reducción de metales en alto estado de oxidación.

Para tal fin se pueden usar distintos agentes reductores.

Posteriormente se ajusta el pH para que se produzca la precipitación.

Un agente reductor eficiente para el caso del cromo VI es el tiosulfato de sodio en medio ácido fuerte.

Para el tratamiento del líquido residual de la DQO, se seleccionó el método de reducción química y posterior precipitación y filtración, por considerarlo el más accesible para ser ejecutado en el laboratorio con los materiales disponibles.

Con este tratamiento, no sólo se disminuirían los contenidos de cromo y mercurio, sino también el de plata.

3.2 Tratamiento por reducción química

El procedimiento consiste en la reducción de cromo VI a cromo III y posterior precipitación en medio alcalino fuerte.

Para tal fin, el líquido residual de la determinación de DQO se trató con tiosulfato de sodio en exceso, en medio ácido fuerte, ocurriendo la siguiente reacción:

$$2Cr_2O_7^{=} + 7S_2O_3^{=} + 10H^{+} \rightarrow 4Cr^{+3} + 4S + 10SO_3^{=} + 5H_2O$$

Por posterior alcalinización del medio, el cromo III precipitó como hidróxido crómico.

A su vez, la plata se separó como óxido de plata y plata elemental y el mercurio como una mezcla de óxidos de mercurio y mercurio elemental.

Por filtración, se separó un líquido, con las características que se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Características del líquido residual del análisis de DQO tratado

Determinación	Resultado	Límite de detección
Cromo total, mg/L	< 0,1	0,04
Mercurio, mg/L	13,7	0,005
Plata, mg/L	1,8	0,02

El cromo fue removido casi totalmente, mientras que no se logró remover todo el mercurio, ni tampoco la plata.

En el caso del mercurio, el resultado fue de 13,7 mg/L, superior al límite establecido por O.S.M.S.A.

Con el objeto de remover el mercurio remanente se estudiaron otras alternativas de tratamiento. Los datos de la Tabla 4. se muestran en la Figura 2., donde se observa que el cromo ha sido removido

casi totalmente en el líquido tratado, mientras que el contenido de mercurio es muy superior al valor permitido.
Por los resultados obtenidos, se evaluó la posibilidad de remover el mercurio mediante el yodo de la solución yodo-yodurada utilizada en la determinación de DBO. Este análisis se realiza para determinar la materia orgánica biodegradable.
Esta alternativa fue seleccionada, ya que posibilitaría el tratamiento de otro de los residuos del laboratorio.

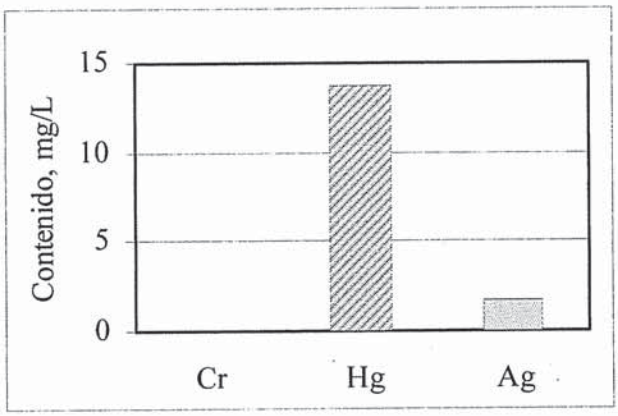


Figura 2. Características del residuo tratado de DQO.

Con el objeto de remover el mercurio y la plata remanentes, se estudió el tratamiento conjunto de las aguas residuales de DQO y DBO.
Esto también permitiría ampliar la depuración a otros residuos líquidos del laboratorio
El ioduro contenido en el residuo del análisis de DBO, podría mejorar la remoción del mercurio del líquido residual tratado de la DQO.
Para tal fin, el líquido filtrado se mezcló en relación 1:4 con el residual proveniente de la DBO, que contenía Iodo/Ioduro en medio ácido sulfúrico.
La mezcla fue posteriormente alcalinizada con hidróxido de sodio hasta pH 12. El mercurio se redujo en estas condiciones..

$$Hg_2^{+2} + 2I^- \rightarrow Hg_2I_2$$

$$Hg_2I_2 + 2I^-(exc) \rightarrow Hg^o + I_4Hg^{-2}$$

Luego de filtrar, se hizo una floculación con sulfato de cinc en medio alcalino y se volvió a filtrar.
El tratamiento en forma conjunta de los dos líquidos residuales permitió la remoción del mercurio hasta un valor de 0,004 mg/L, inferior al establecido por la normativa vigente.

En este caso, el filtrado presentaba las características que se indican en la Tabla 5. En la Figura 3. están graficados los valores de la Tabla 5.
Se puede observar que los contenidos de cromo y plata están por debajo del límite de detección y de los valores permitidos por O.S.M.S.A.

Tabla 5. Características del residuo tratado de DQO y DBO.

Determinación	Resultado	Límite de detección
Cromo total, mg/L	no detectable	0,04
Mercurio, mg/L	no detectable	0,005
Plata, mg/L	no detectable	0,02

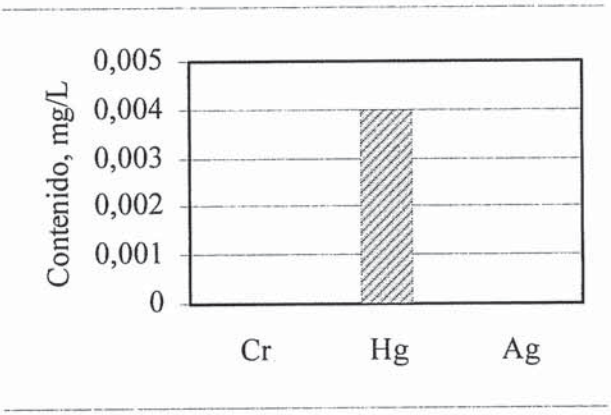


Figura 3. Características del residuo tratado de DQO y DBO.

Se repitió este tratamiento con el líquido residual de la DBO pero con una relación 1:1, no observándose diferencias significativas en los valores de mercurio, con lo que se concluye que este último paso no se justifica.

3.3 Neutralización

A fin de neutralizar el pH del líquido residual del tratamiento en forma conjunta del residuo de los análisis de DQO y DBO, se ajustó el pH a 7,0 con ácido clorhídrico.

CONCLUSIONES

– La reducción con tiosulfato de sodio permite la remoción del cromo, alcanzándose valores por debajo a los permitidos por O.S.M.S.A.

– Si bien por la reducción con tiosulfato de sodio decayó el contenido de mercurio no se alcanzan los valores permitidos por O.S.M.S.A.

– El mercurio remanente luego de la reducción con tiosulfato de sodio puede ser removido si se hace el tratamiento en forma conjunta de los líquidos residuales del análisis de DBO y DQO, lo que remueve cromo y mercurio.

– El tratamiento empleado, si bien tiene menores inversiones de instalaciones, tiene un mayor costo de reactivos.

– Si bien se obtuvieron buenos resultados en el tratamiento ensayado, falta resolver la disposición del sólido, con alto contenido de mercurio, plata y cromo, cuyo destino final debería ser el confinamiento controlado, método no implementado aún en nuestra provincia.

– Aunque la gestión de los residuos líquidos de DQO y DBO implica un costo añadido, el beneficio ambiental lo justifica.

REFERENCIAS

[1] Organización panamericana de la salud, Guías para la calidad del agua potable: Criterios relativos a la salud y otro información de base, Publicación científica N° 506, 1987.

[2] Organización panamericana de la salud, Guías para la calidad del agua potable: Criterios relativos a la salud y otro información de base, Publicación científica N° 506, 1987.

[3] Organización panamericana de la salud, Guías para la calidad del agua potable: Criterios relativos a la salud y otro información de base, Publicación científica N° 506, 1987.

[3] Organización panamericana de la salud, Guías para la calidad del agua potable: Criterios relativos a la salud y otro información de base, Publicación científica N° 506, 1987.

BIBLIOGRAFÍA

1. M. Burriel, F. Lucena Conde, S. Arribas Jimeno & J. Hernández Mendez, Química Analítica Cualitativa. Paraninfo. 1.994.
2. A. Vogel, Química Analítica Cuantitativa, Vol. I, Editorial Kapelusz, 1.960.
3. Metcalf & Eddy, INC, Ingeniería de aguas residuales, Mc. Graw Hill, 1.995.
4. C. Orozco Barrenetxea, A. Pérez Serrano, M. González Delgado, F. Rodríguez Vidal & J. Alfayate Blanco, Contaminación Ambiental, Thomson Editores Spain, 2.003.
5. Nalco Chemical Company, Manual del Agua: su naturaleza, tratamiento y aplicaciones, Mc. Graw Hill, 1.989.
6. W. Eckenfelder Wesley, Industrial Water Pollution Control, Mc Graw Hill, 1.989.
7. E. Gadea Carrera, NTP 359: Seguridad en el laboratorio. Gestión de residuos tóxicos y peligrosos en pequeñas cantidades. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.
8. S. Leong, S. Muttamara, P. Laortanakul & H. Lin H., Assessment of treatmeant alternatives for laboratory cod waste water: a practical comparison with emphasis on cost and performance, Environ Monit Asses, 74, 2.002.
9. K. Sevaraj, S. Manonmani & S. Pattabhi, Removal of hexavalent chromium using distillery sludge, Bioresource technology, 89, 2.003.

Una estación meteorológica en 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: como paso inicial en el procedimiento de ejecución de un balance hídrico de la Presa de Embalse El Carrizal, se tomó la decisión de instalar una estación meteorológica en la misma. Este instrumental pertenece a la Dirección de Hidráulica del Gobierno de la Provincia de Mendoza, y estuvo ocho años sin instalar. Se analizaron las alternativas de sitios de ubicación de la estación meteorológica, considerando una casa del llamado "barrio de la presa" para tal fin, la cual de acuerdo a su ubicación y posición relativa a la vegetación cercana era la más apta. Los instrumentos a instalar consisten en un pluviómetro, un anemómetro, un sensor de temperatura, presión y humedad externo y un tanque evaporímetro. Las magnitudes a monitorear son: la precipitación, la temperatura y humedad exterior, la presión barométrica, la dirección y velocidad del viento, y la lámina evaporada. El monitoreo se realizará en tiempo real, cada quince minutos, pudiendo almacenar datos hasta de quince días, después de los cuales es necesario conectarse a una PC para la adquisición y almacenamiento de los registros correspondientes. Este monitoreo será una herramienta para la elaboración, mediante la aplicación de metodologías hidrológicas, del balance hídrico de la mencionada presa.

1 INTRODUCCIÓN.

Una tarea de importancia capital resulta es la eficiente organización de la operación de los embalses, dada la necesidad de una correcta planificación de los recursos hídricos con vistas a su optima utilización.

El conocimiento del comportamiento del balance hídrico en un embalse, facilita la posibilidad de regular y prevee la afluencia de agua al embalse más efectivamente, lo que permite una utilización más racional del agua, ya que al determinar el escurrimiento superficial que ha afluido al embalse durante varios años por el método del balance hídrico, se dispone de las estadísticas necesarias para evaluar y precisar las características y distribución del escurrimiento adoptados en el proyecto de la presa, lo cual tiene múltiples aplicaciones en la planificación del uso del agua y estudios hidroeconómicos [1].

La realización de los balances hídricos de embalses, permite disponer de un factor de análisis importante en las decisiones a tomar en la operación de los sistemas, así como implementar las medidas necesarias para modificar, o influir, sobre algunos de los elementos del balance. Los balances hídricos de embalse también son utilizados en la elaboración de recomendaciones para la planificación del uso del agua, así como para la proyección y construcción de otras obras hidráulicas [2].

Para la ejecución de un balance hídrico de un embalse es necesario monitorear variables de orden meteorológico, hidrométrico, y de otras características de la zona de cultivo que abastece ese embalse y del propio pantano[3].

Y en cumplimiento del monitoreo de la primera clase de variables mencionadas, es que se decidió instalar una estación meteorológica en la Presa El Carrizal.

2 CARACTERÍSTICAS Y CONSIDERACIONES GENERALES.

El Embalse El Carrizal se encuentra sobre el Río Tunuyán, el que posee un caudal medio de 36,4 m^3/seg, en el Carrizal, con un total de 20.000 Has empadronadas en el Embalse El Carrizal, y 88.000 Has empadronadas en el Dique Derivador Gdor. Tiburcio Benegas, ubicado 6,5 km aguas abajo de dicho embalse.

El Embalse El Carrizal es un aprovechamiento múltiple del agua, ya que:

1. Regula los caudales de riego, permitiendo acumular agua durante las épocas del año con menores necesidades de riego e incrementos de caudales por las altas temperaturas, aumentando la disponibilidad de agua para los momentos de mayor demanda.
2. Produce energía hidroeléctrica, mediante una usina a pie de presa con una capacidad de 77Gwh anuales.
3. Atenúa las crecidas y elimina el material de arrastre en la red de riego del Río Tunuyán Inferior.
4. Cumple con fines turísticos y deportivos, ya posee un lago de 3200 Has, dependiendo del nivel de llenado del embalse, lo que constituye sin duda alguna un centro turístico de verano. El espejo de agua tiene aproximadamente 15 km de longitud y 4 km de ancho máximo lo que constituye un ambiente muy bueno para la fauna ictícola.

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 elementos técnicos de evaluación del recurso hídrico, como puede ser el balance hídrico, permitan tomar decisiones con fundamento técnico, en beneficio de la buena gestión del recurso.

El Instituto de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo realiza la Auscultación de la Presa El Carrizal desde el año 1994, lo que implica una visita al menos quincenal a la misma, la que se aprovechará para la adquisición de los datos registrados en el instrumental correspondiente a la estación meteorológica.

3 ESTACIÓN METEOROLÓGICA USADA [4].

Se ha adoptado como instrumental a instalar en la Presa El Carrizal una estación meteorológica y un tanque evaporímetro tipo Clase A, que la Dirección de Hidráulica adquirió en el año 1998 y tenía en su depósito desde entonces.

Las características del instrumental se pasan a detallar a continuación.

Una estación meteorológica marca DAVIS modelo Weather Monitor II, la que consta de:

1. Un Weather Computer con pantalla LCD y teclado, que registra en tiempo real las variables meteorológicas de temperatura y humedad internas y externas, dirección y velocidad del viento, precipitaciones, presión atmosférica. Además se puede leer el punto de rocío y la sensación térmica.
2. Sensor de presión y temperatura y humedad externo.
3. Anemómetro.
4. Pluviómetro modelo Rain Collector.
5. Weatherlink, que conecta el Weather Computer con una PC para la adquisición y almacenamiento de datos, a través de un puerto serie estándar.

Un tanque evaporímetro tipo Clase A marca TELEMET SIAP, con termómetro flotante y limnímetro para la medición de la altura de la lámina de agua en el mismo.

La capacidad de almacenamiento de datos depende del intervalo de tiempo elegido para el registro de los mismos, es decir, cada minuto de intervalo de

tiempo de registro representa un día de capacidad de almacenamiento de datos. Para este caso se seleccionó 15 minutos de intervalo de tiempo, lo que resulta en 15 días de autonomía de registro de datos. En cuanto se supera dicho tiempo se pierden los datos almacenados desde el pasado hacia el presente.

4 INSTALACIÓN DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA [4].

En función de la falta de instalaciones apropiadas en los alrededores del lago de la Presa El Carrizal, y principalmente por las condiciones de inseguridad reinantes, se decidió instalar la estación meteorológica en el llamado "barrio de la presa", en el cual hay varias casas, algunas de las cuales se encuentran desocupadas.

Debido a la vegetación existente, en su mayoría árboles de gran porte, quedó sólo una ubicación posible para analizar, o sea que las condiciones existentes redujeron las posibilidades a una sola casa de dicho barrio, la cual se adoptó como lugar de instalación.

En la cual sólo un árbol representaba un obstáculo muy cercano para la instalación del anemómetro, principalmente; el cual, luego de la tramitación correspondiente en la Dirección de Recursos Naturales y Renovables, fue cortado hasta una altura de 3 metros aproximadamente.

Las pautas que se han tenido en cuenta en la instalación de los componentes de la estación meteorológica siguen las estipuladas por la World Meteorological Organization (WMO) [5] y las recomendadas en el manual del usuario [4]de la estación meteorológica. Las mismas consisten en las siguientes:

1. El sensor de presión y temperatura y humedad externo se debe ubicar en un lugar fuera del alcance de la lluvia, la radiación solar directa, suspendido en el aire bajo un alero a la altura del techo de una construcción, orientado hacia el sur.
2. El anemómetro debe instalarse a una altura tal, de modo que no se vea obstruido por árboles o construcciones vecinas. Debe instalarse por lo menos a 1,2 metros por encima de la altura del obstáculo más cercano.
3. El pluviómetro debe instalarse también a la altura de la superficie horizontal libre de obstáculos, puede hacerse a nivel del techo dejando una altura de 20 cm desde la superficie hasta la base del instrumento, para evitar que el rebote de gotas de lluvia haga que las mismas ingresen al recipiente.

En este caso, el pluviómetro y el anemómetro se ubicaron en una antena de 12 metros de altura, instalada para tal fin en el techo, mientras que el sensor de temperatura y humedad debajo del alero de techo de dicha casa, ver Fotos 1 y 2.

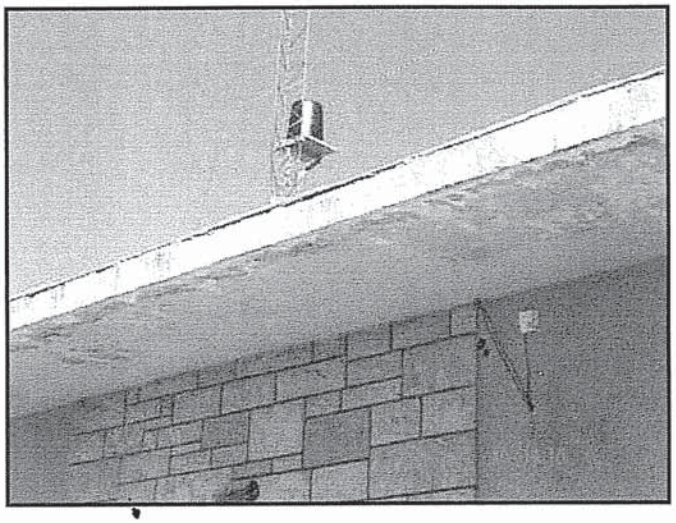


Foto 1. Ubicación del pluviómetro y del sensor de temperatura y humedad externo.

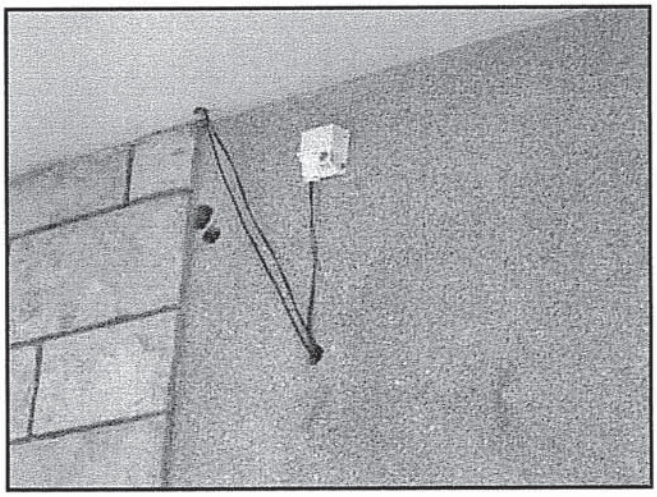


Foto 2. Ubicación del sensor de presión y temperatura y humedad externo debajo del alero del techo.

La antena y su ubicación relativa al techo de la casa se puede observar en la Foto 3.

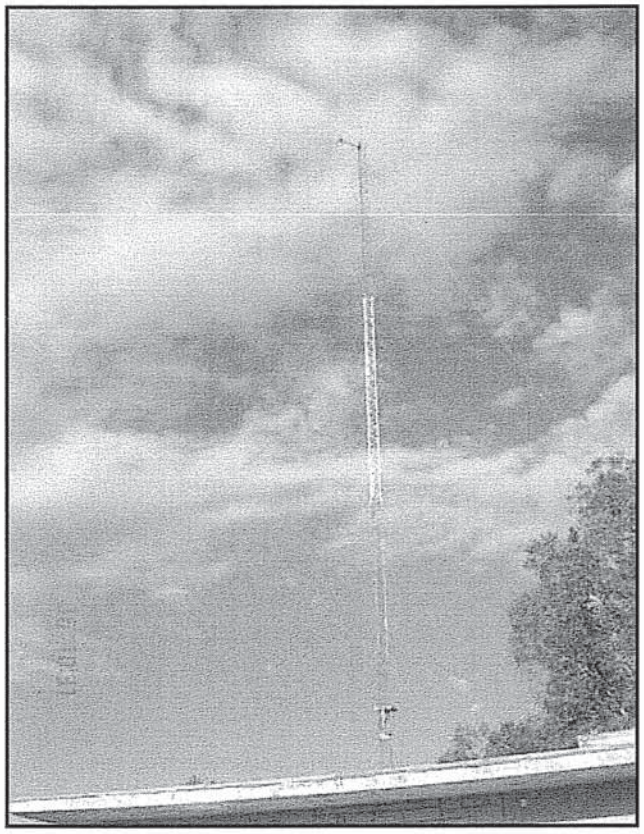


Foto 3. Ubicación de la antena respecto del techo y de la vegetación cercana.

La mencionada antena está formada por tres tramos de 4 metros cada uno, con una sección triangular trifilar N° 16.

Asimismo, se preparó una jaula protectora para el tanque evaporímetro, ya que si bien el sitio elegido no es de libre acceso público, tampoco tiene vigilancia permanente, lo que puede conducir a pérdidas o roturas de los elementos instalados. Dicha jaula fue diseñada y construida en el Taller de Mantenimiento de la Dirección de Estudios Tecnológicos e Investigaciones (DETI) de la Facultad de Ingeniería de la UNCuyo, y puede observarse en la Foto 4.

5 MAGNITUDES METEOROLÓGICAS REGISTRADAS.

Las magnitudes meteorológicas que se registran son las siguientes:

5.1 *Temperatura y humedad externa e interna [4].*

Se registran con el sensor de presión y temperatura y humedad ubicado bajo el alero del techo (ver Foto 2).

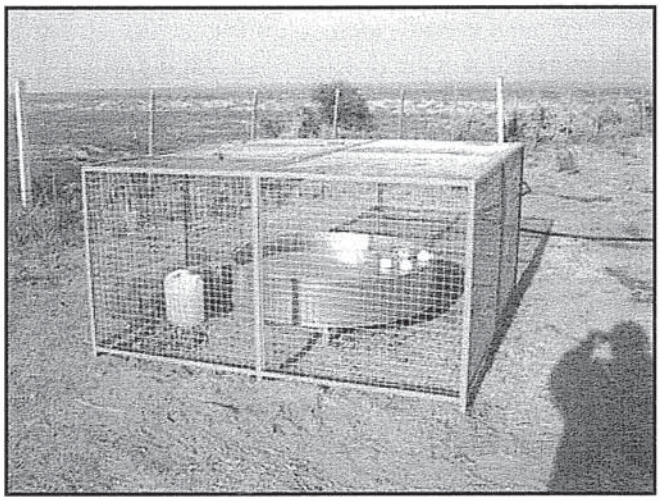


Foto 4. Jaula protectora del tanque evaporímetro.

La temperatura se puede medir en °C ó °F, seleccionando la unidad apropiada al sistema de medida usado, en incrementos de cada 1°. También se registra la temperatura máxima y la mínima por día.

Mientras que la humedad, expresada como humedad relativa del ambiente, por supuesto, se mide en %.

Las magnitudes internas se miden a través de sensores ubicados en la misma Weather Monitor II, con idénticas características que las anteriores.

5.2 *Dirección y velocidad del viento [4].*

La Estación Meteorológica posee un anemómetro de tres copas con un eje vertical de rotación que mide la velocidad del viento, ver Foto 5.

Se registra la velocidad y dirección del viento, directamente en la pantalla del Weather Monitor II,

y se almacenan los datos de cada 15 minutos, que es el intervalo de tiempo adoptado. Además registra velocidad máxima del viento por día. Permite mostrar la rosa de los vientos con la dirección del mismo expresada en grados, considerando el norte hacia arriba y es el cero de la escala de los grados.

Las unidades de velocidad son: millas por hora, kilómetros por hora, millas náuticas por hora o metros por segundo.

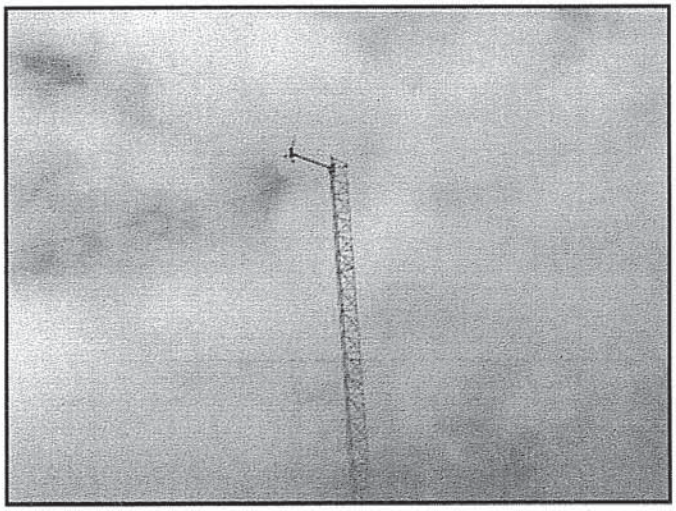


Foto 5. Anemómetro de tres copas y veleta instalados en la cima de una antena de 12 metros.

5.3 *Sensación térmica [4].*

La sensación térmica es una medida del efecto del viento en la percepción de la temperatura.

La Weather Monitor II calcula automáticamente la sensación térmica usando la velocidad del viento y la temperatura externa, se expresa en °C ó °F, con incrementos cada grado; y también se puede leer en tiempo real en la pantalla de la Weather Monitor II y queda registrada cada 15 minutos en los datos de almacenamiento, así como la mínima sensación térmica por día.

5.4 *Precipitaciones [4].*

La precipitación se mide a través de un pluviómetro estándar a cangilones del U.S. National Weather Service (ver Foto 6), que tiene un colector (Rain Collector) cilíndrico de 20 cm de diámetro, y la medición se realiza en mm o en pulgadas de altura de lámina caída como lluvia, ver Foto 7.

El registro de los datos se realiza cada 15 minutos, igual que en las magnitudes anteriores. También se registra la precipitación acumulada anual.

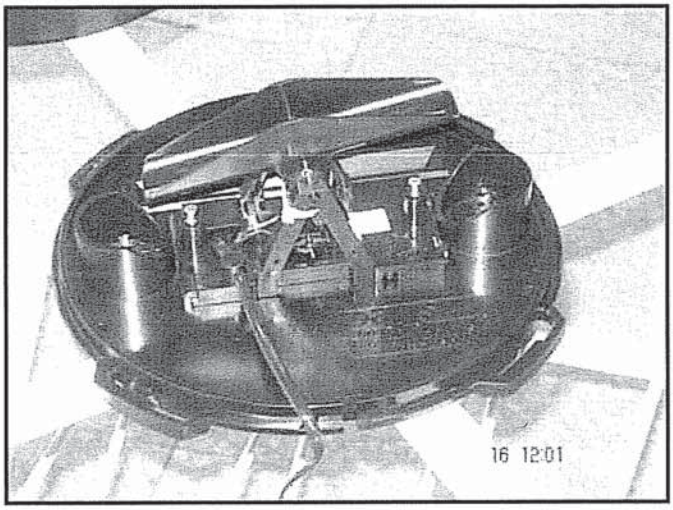


Foto 6. Interior del pluviómetro a cangilones instalado.

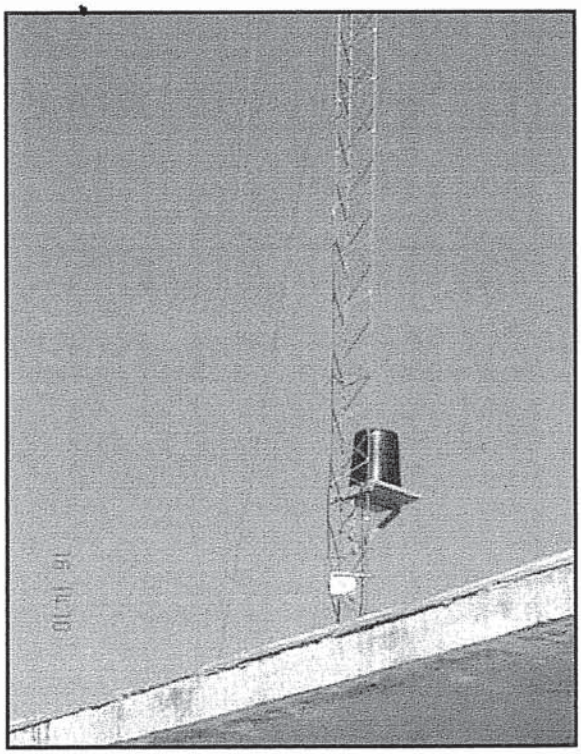


Foto 7. Rain Collector instalado en la antena, elevado respecto de la superficie del techo.

5.5 *Presión barométrica [4].*

La Weather Monitor II usa transductores de estado sólido para medir la presión atmosférica. Las unidades son pulgadas de mercurio, milímetros de mercurio o milibares. Al hacer el pasaje de unidades los milibares resultan iguales a los hectopascales.

La pantalla del Weather Monitor II también muestra la tendencia ascendente o descendente de la presión atmosférica, a través de una flecha hacia arriba o hacia abajo.

5.6 *Punto de rocío [4].*

El punto de rocío es una medida de la cantidad absoluta de vapor de agua presente en la atmósfera, expresada como una temperatura. La lectura de temperatura correspondiente al punto de rocío representa la temperatura a la cual el vapor de agua presente en el aire se condensa. También se mide en °C ó °F, con incrementos cada un grado.

También se registran las máximas y mínimas correspondientes al punto de rocío.

5.7 *Evaporación expresada en lámina de agua [6]*

La evaporación se mide a través de un tanque evaporímetro tipo Clase A del Weather Bureau, marca TELEMET SIAP, que son los más comunes. Es un tanque de hierro galvanizado sin pintar de 122 cm de diámetro y 25,4 cm de altura, instalado sobre un marco elevado del suelo alrededor de 15 cm, para permitir el pasaje de aire por debajo, ver Foto 8.

Se llena de agua hasta una profundidad de 20 cm como máximo, y debe llenarse nuevamente cuando la lámina de agua alcance los 18 cm como mínimo. La altura de agua se mide con una regla graduada para tal fin, ver Foto 9. La evaporación se calcula como la diferencia entre dos medidas sucesivas, ajustada con la precipitación que se mide en el pluviómetro.

El monitoreo se realiza diariamente a las 9:00hs, tomando lectura de la altura de la lámina y del termómetro flotante, para luego enrasar a la lámina de agua inicial, ver Foto 10.

La temperatura del termómetro flotante y la velocidad del viento del anemómetro permiten completar los datos necesarios.

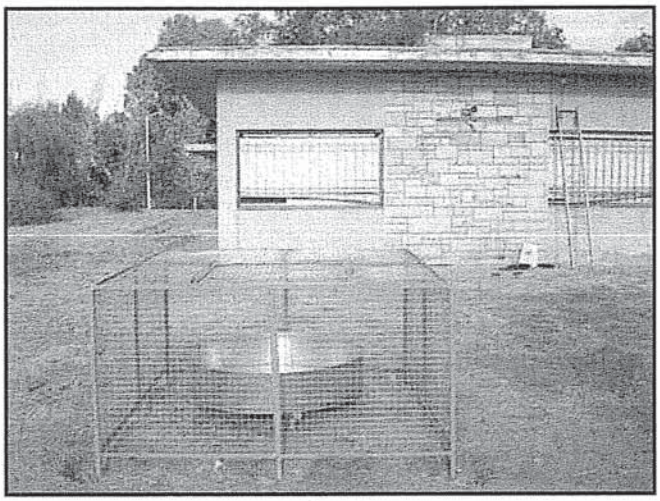


Foto 8. Tanque evaporímetro instalado.

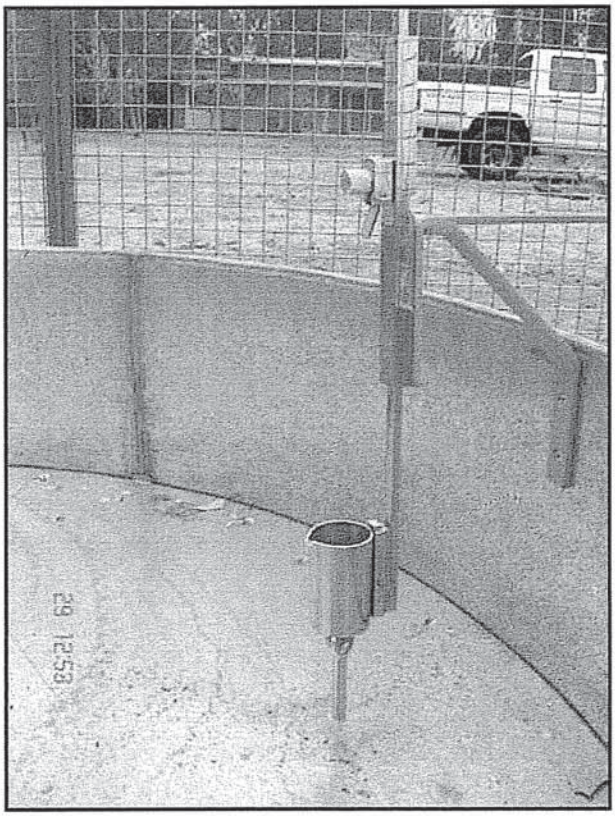


Foto 9. Regla graduada y vaso enrasador de la altura de la lámina de agua en el tanque evaporímetro.

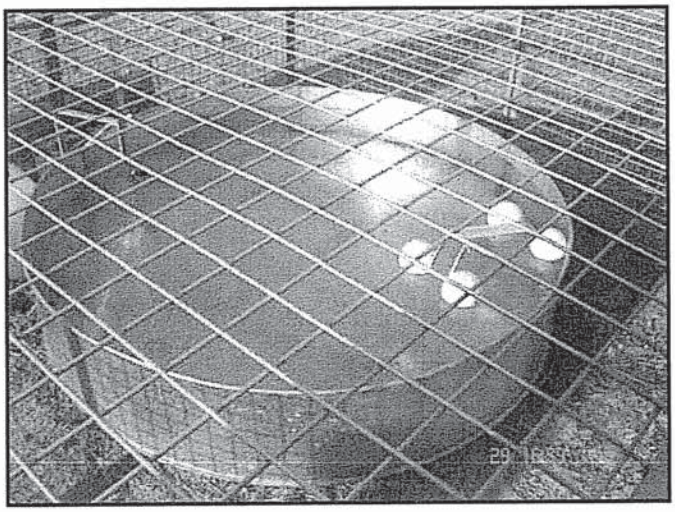


Foto 10. Tanque evaporímetro completo con termómetro flotante y regla graduada.

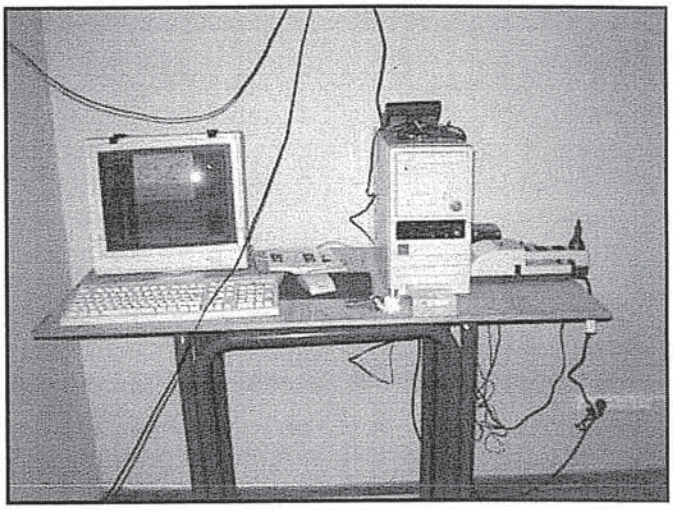


Foto 11. PC instalada por el Instituto de Hidráulica en la Presa El Carrizal.

6 ADQUISICIÓN DE DATOS DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA [7].

Los datos registrado en la estación Weather Monitor II se almacenan durante un tiempo que depende del intervalo de minutos que se adopta para la registración. De modo que es necesario cada un determinado número de días, que para nuestro caso es 15, pasar los datos almacenados de la memoria interna del Weather Monitor II a una PC para su almacenamiento y posterior procesamiento.

Para lo cual el Instituto de Hidráulica instaló una PC en el sitio de ubicación de la estación meteorológica, dentro de la casa elegida, ver Foto 11. Esta computadora está destinada al almacenamiento de los datos registrados por la Weather Monitor II.

6.1 *Weather Computer y Weatherlink Software.*

La estación meteorológica posee un software para el almacenamiento y transferencia de datos denominado Weatherlink Software Versión 2.1, que funciona en sistema DOS. Este programa permite adquirir los datos almacenados en la memoria del Weather Monitor II y almacenarlos en una PC o laptop.

Además presenta un menú que permite seleccionar el intervalo de tiempo de la toma de lecturas, las unidades de medida adoptadas, las constantes de calibración de cada una de las magnitudes, la generación de un archivo que exporta los datos de la base de datos generada a un disquete.

Además se puede "navegar" en la base de datos seleccionando el día y la hora a la cual se necesita acceder para conocer las magnitudes medidas.

Una particularidad muy importante es la utilidad denominada "Boletín Meteorológico", el que permite obtener los datos instantáneos de temperatura, humedad, precitación, presión barométrica y dirección y velocidad del viento, todos expresados en una pantalla y graficados a través del tiempo, como puede verse en la Foto 12.

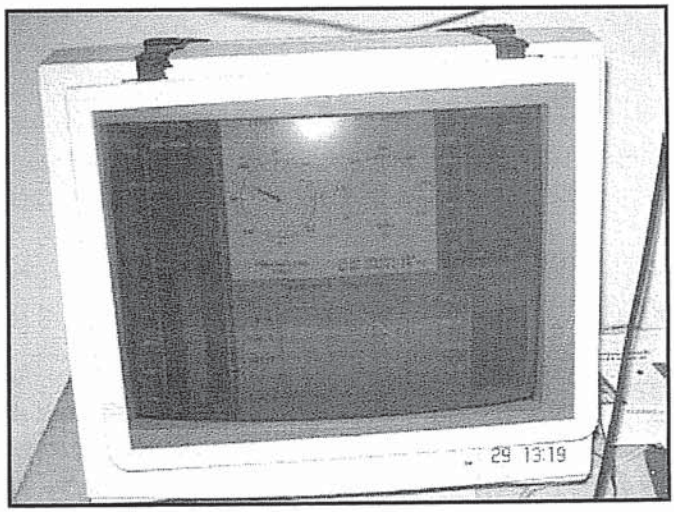


Foto 12. Presentación de pantalla del Boletín Meteorológico emitido por Weatherlink Software.

7 CONCLUSIONES.

La instalación de la estación meteorológica en la Presa El Carrizal implica un avance indudable en la concreción de las tareas preliminares para la elaboración de un Sistema Integrado de Gestión del Embalse El Carrizal.

El monitoreo continuo de las variables meteorológicas ya mencionadas, y de los caudales medidos aguas abajo y aguas arriba de la presa, permitirá, a través de metodologías hidrológicas apropiadas, elaborar el Balance Hídrico de la Presa de Embalse El Carrizal; ajustar las metodologías más usuales a las condiciones particulares del sitio, y en el caso que corresponda elaborar un modelo matemático específico.

8 REFERENCIAS.

[1] Instituto de Hidroeconomía, Metodología para el Cálculo de los balances Hídricos en Embalses, Ciudad de la Habana, Diciembre de 1986.

[2] Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, Metodología para la Determinación del Balance Hídrico Precisado en los Embalses, Ciudad Habana, 1991.

[3] J.J. Braojos Ruiz, Los recursos hídricos superficiales: evaluación y aprovechamiento, 1999.

[4] Davis Instruments Corp., Owner´s Manual Weather Monitor II, 2ª Edition, Hayward, California, 1992.

[5] G. Remenieras, Tratado de hidrología aplicada, Editores Técnicos Asociados S.A., Barcelona, 1974.

[6] R.K. Linsley, M.A. Kohler, J.L.H. Paulhus, Hidrología para Ingenieros, Mc Graw-Hill, México, 1990.

[7] Davis Instruments Corp., Owner´s Manual Weatherlink Software, 5ª Edition, Hayward, California, 1993.

Características de la descomposición isotérmica de la fase beta Cu-Zn-Al (Zr)

A. M. Furlani & A. H. Dávila

amfurlani@uncu.edu.ar
Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo

M. Stipcich
Instituto de Física de Materiales Tandil (IFIMAT), Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

R.Romero
Instituto de Física de Materiales Tandil (IFIMAT), Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires
Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires.

RESUMEN: Las aleaciones con memoria de forma base Cu han adquirido en los últimos años un particular interés tecnológico debido a su bajo costo y a su relativa facilidad de procesamiento. Cuando son tratadas térmicamente a temperaturas correspondientes a las de la región de estabilidad de la fase beta, el excesivo crecimiento de grano deteriora, en forma general las propiedades de la misma y por consecuencia, sus potenciales aplicaciones comerciales. El control del tamaño de grano en la aleación de este tipo se realiza con el agregado de elementos afinadores adecuados, con la aplicación de tratamientos termomecánicos, o con ambos. En particular, algunos investigadores han señalado que el Zr es uno de los elementos mas indicados para el efectivo control del crecimiento de grano durante envejecimientos a temperaturas alrededor de 1100K, también existe información acerca del tipo de estructura generada mediante tratamientos termomecánicos, y el rol que desempeña la misma en el proceso de afinado.
Sin embargo, no se conoce la evolución de la microestructura que se desarrolla frente a tratamientos de envejecimiento a temperaturas intermedias. En este trabajo, se efectúa un relevamiento por microscopía óptica de la evolución morfológica de las fases precipitadas sobre muestras policristalinas en la fase metaestable beta Cu - Zn - Al con aditamento de Zr como afinador de grano y se estudia cuantitativamente la descomposición de la fase β de una aleación de Cu-Zn-Al-Zr, dentro de un rango de temperaturas entre 523 K y 773 K. Como resultado, se produce la descomposición de la fase β en estructuras más estables mediante la precipitación de las fases γ y α, que se compara con estudios similares realizados en CuZnAl y CuZnAlTiB para cada temperatura de envejecido.

1 INTRODUCCIÓN

El efecto memoria de forma es un fenómeno con interés tecnológico que presentan las aleaciones base cobre. La memoria de forma corresponde a que el material puede recuperar la forma que tenía en su fase de alta temperatura luego de haber sido deformado en su fase de baja temperatura (simple efecto), o a que recupere la forma que tenía en las dos fases, luego de un proceso de educación adecuado (doble efecto). Debido a esta característica se considera a estos materiales como inteligentes o astutos, creando así grandes expectativas de aplicación. Los intentos de aplicación de las aleaciones con memoria de forma base Cu han presentado algunas dificultades, debido a la tendencia de formar una microestructura con tamaño de grano relativamente grande en fase β cuando el material es tratado térmicamente a temperaturas del orden de las de estabilidad β y a la disminución de la resistencia mecánica por la alta anisotropía elástica.

Una manera de controlar sus propiedades mecánicas es mediante la disminución del tamaño de grano para lo cual se agregan elementos poco solubles en la aleación base [1,2], se aplican tratamientos termomecánicos adecuados [3], o se realizan ambos procesos a la vez [4,5].

A modo de conocer el nuevo material, es imprescindible conocer el comportamiento de las aleaciones base Cu con la incorporación de afinadores de grano. Hay varios trabajos que detallan algunas características especiales de este tipo de aleaciones [6,7], pero en especial se obtuvieron buenos resultados con Zr [8], debido a que se consiguió un grano pequeño por anclaje de Zener, obteniendo una microestructura muy particular que, por la presencia de precipitados en los bordes de grano, detienen su crecimiento luego de tratamientos isotérmicos. [9,10].

Uno de los requerimientos primarios de cualquier aleación con memoria de forma que se desee utilizar para construir dispositivos controlados por temperatura, es que la temperatura de recuperación de forma debe estar situada dentro de los límites prescriptos y resultar inalterable bajo servicio. Debido a que uno de los procesos que puede modificar el rango de temperaturas de trabajo es la descomposición de la matriz en otras fases más estables, y dado que no se han realizado estudios previos sobre la influencia del agregado de Zr en la descomposición de la fase metaestable β, en este trabajo se realiza una observación preliminar sobre dicho fenómeno mediante el estudio del comportamiento de una aleación policristalina de CuZnAl base cobre con la adición de Zr frente a tratamientos isotérmicos a una temperatura intermedia.

Mediante observaciones por microscopía óptica se analizaron las distintas morfologías microestructurales según los tiempos y temperatura de tratamiento térmico. Para aleaciones similares, ha sido observado que se produce la formación de precipitados correspondientes a las fases γ y α, productos del envejecimiento de la fase matriz β metaestable, como en otras aleaciones [11,12,13], sin embargo, no existe información acerca de las características que el Zr confiere al material durante este tipo de tratamientos térmicos.

2 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Para el desarrollo de este trabajo se utilizaron muestras extraídas de lingotes de composición química según la Tabla 1; la concentración electrónica estimada es de e/a = 1.48. Los metales utilizados para fabricar las aleaciones fueron de pureza comercial, fundidos en ampollas de cuarzo selladas a las que previamente se les había efectuado vacío con bomba mecánica. En el fundido y posterior enfriamiento de las aleaciones, se observó que la presencia de Zr afecta la superficie del lingote debido a una reacción con el cuarzo de la cápsula durante el fundido llegando, en algunos casos, a romperla durante la solidificación posterior. Por esta razón, el Zr fue introducido a las cápsulas empaquetado en láminas de Cu.

Tabla 1. Composición de las aleaciones utilizadas (% en peso). Se indican las temperaturas de transformación espontánea experimental (K).

Muestra	
Cu	74.007
Zn	17.515
Al	7.450
Zr	1.004
imp.	≤ 0.023
Msexp	248 K

Los lingotes fueron homogeneizados a 1073K al menos 48 hs. previo al corte y finalmente se cortaron bloques de $\approx$ 25 mm2 x 3 mm de diámetro mediante una cortadora de disco de diamante de baja velocidad, con el objeto de ser utilizados como muestras para los siguientes procedimientos. Para retener la fase beta de alta temperatura, se realizaron tratamientos de homogeneización de las muestras durante 30 minutos a una temperatura de 1083K, luego se templaron en agua a temperatura ambiente. Con el objeto de eliminar el desorden atómico que pudiera haber quedado retenido, se mantuvieron durante 15 minutos en un baño de agua a 373K, enfriándolas luego al aire. Este tratamiento elimina también gran parte de las vacancias retenidas. Luego se efectuaron los tratamientos isotérmicos por tiempos t variables, siendo $0 \leq t \leq 105$s, durante los cuales las muestras se dejaron durante tiempos variables dentro de un rango de temperaturas de 523 K $\leq T \leq$ 773 K, con enfriamiento posterior al aire. Para su posterior análisis, las muestras fueron tratadas metalográficamente para la observación microscópica de sus características de precipitación, con una técnica que correspondía a la preparación de las muestras con papeles abrasivos y alúmina, seguida de un ataque electrolítico con solución saturada de óxido de cromo en ácido fosfórico.

Las observaciones microscópicas se realizaron con Contraste por Interferencia (DIC). La cuantificación

y caracterización de la microestructura se realizó mediante la adquisición de imágenes por procesamiento digital de imágenes. Para lo cual, se utilizaron programas especialmente preparados para efectuar mediciones en metalografía, en particular se empleó el Materials-Pro-Analyzer. Este es un complemento del programa Image-Pro Plus (de Media Cybernetics), destinado al análisis de imágenes.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este trabajo se presentarán los resultados obtenidos en fracción de volumen de precipitados fase γ respecto a las temperaturas de tratamiento isotérmico, comprendidas dentro del rango 523 K ≤ T ≤ 773 K.

Debido a que para aleaciones de CuZnAl [14,15], la precipitación inicial corresponde a la fase γ, según las observaciones realizadas con microscopía óptica, en el rango total de temperaturas analizadas; se efectuaron las mediciones de fracción de volumen de dicha fase para cada temperatura con respecto al tiempo de tratamiento. La representación gráfica de los resultados obtenidos, se presenta en la figura 1.

En general se observó que, luego de un tiempo de incubación en que no se observan cambios en la fase matriz β, la fracción en volumen de precipitados γ aumenta con el tiempo de tratamiento térmico. Dicho tiempo de incubación disminuye con el aumento de la temperatura de envejecimiento.

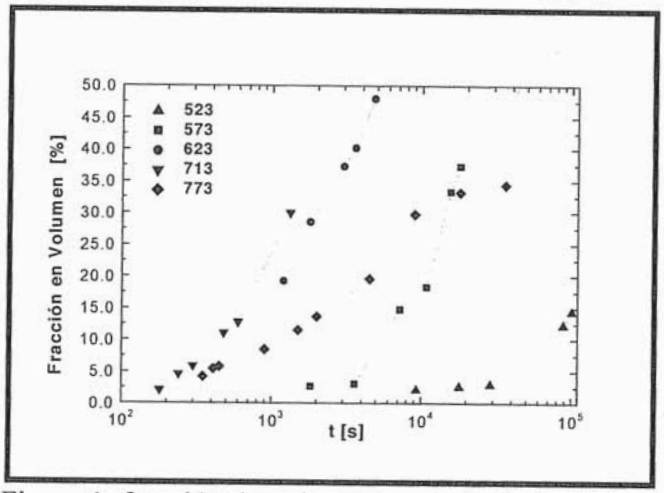


Figura 1: fracción de volumen precipitada de fase γ en función del tiempo de tratamiento térmico para las diferentes temperaturas en estudio. Las líneas son sólo de ayuda visual

La cinética de crecimiento de los precipitados presenta algunas variaciones respecto a las descriptas en aleaciones policristalinas de Cu-Zn-Al-Ti-B [11,12] y en aleaciones monocristalinas de Cu-Zn-Al [13]. Para las temperaturas más bajas, entre 533 K y 713 K, el tiempo de incubación disminuye en la medida que la temperatura de tratamiento térmico aumenta. Sin embargo, a partir de los 773K se invierte el proceso y el tiempo necesario para que la descomposición se manifieste es mayor que el observado para temperaturas más bajas y la curva correspondiente a la fracción en volumen precipitada se desplaza hacia la derecha, hacia tiempo de incubación mayores.

Dado que la evolución de la microestructura obtenida a la temperatura de 573 K, fue descripta en una publicación anterior [16], se realizará la descripción metalográfica en otras temperaturas analizadas en el desarrollo experimental de este trabajo.

Según las observaciones metalográficas realizadas, a los 240 s de tratamiento térmico a 713 K se puede observar la precipitación de fase γ que se agrupa alrededor de los precipitados primarios, característicos de la aleación en estudio (Figura 2). Se denomina precipitación primaria a las partículas precipitadas finamente dispersas en la fase β, producto del agregado del aleante minoritario que cumple el papel de afinador de grano.

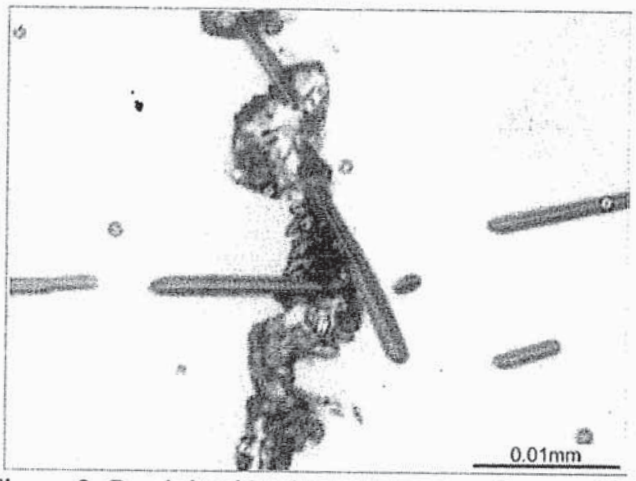


Figura 2. Precipitación de fase γ en interfase matriz-precipitado de Zr, para 240s a 713K

También se presenta la formación de placas aciculares de fase α, que crecen en forma oblicua a partir de los precipitados de Zr (Figura 3). Estas últimas tienen la morfología típica de las placas bainíticas, observadas también en Cu-Zn-Al y en Cu-Zn-Al-Ti-B.

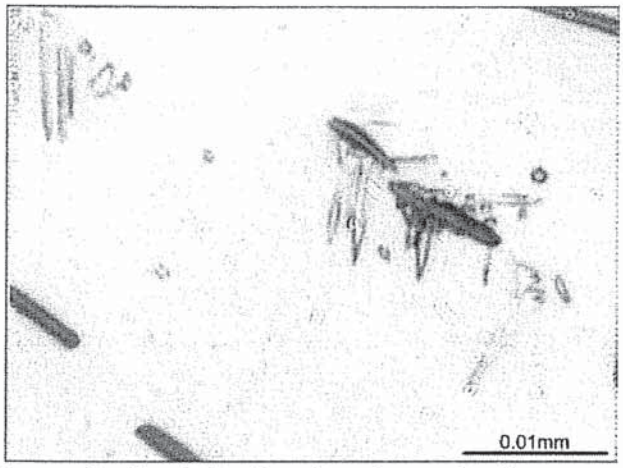


Figura 3. Precipitación de placas de fase α en interfase matriz-precipitado de Zr, para 240s a 713K

A los 300s, se continua observando la aglomeración de fase γ entre los precipitados primarios de Zr (Figura 4), los cuales ocupan grandes extensiones del campo de observación. La precipitación fase γ también se presenta en forma individual con una morfología similar a tréboles de cuatro hojas pero más redondeados.

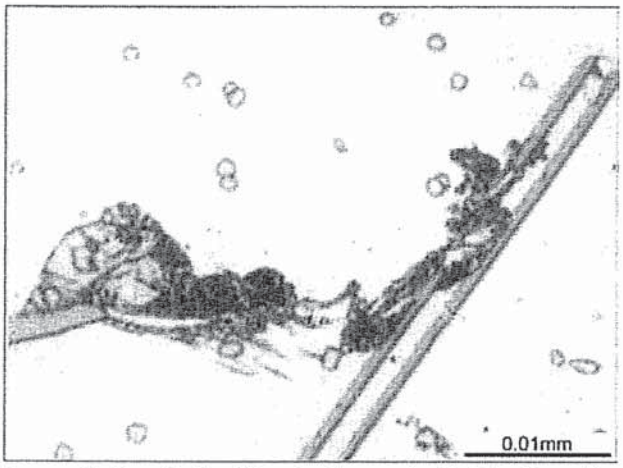


Figura 4. Precipitación de fase γ individual en fase matriz y en forma de aglomerados en interfase matriz-precipitado de Zr, para 300s a 713K

En general al aumentar el tiempo de envejecimiento, a partir de los 480s, resulta notable la presencia de precipitados α en forma de anillos bordeados por precipitados fase γ, como se observa en la Figura 5.

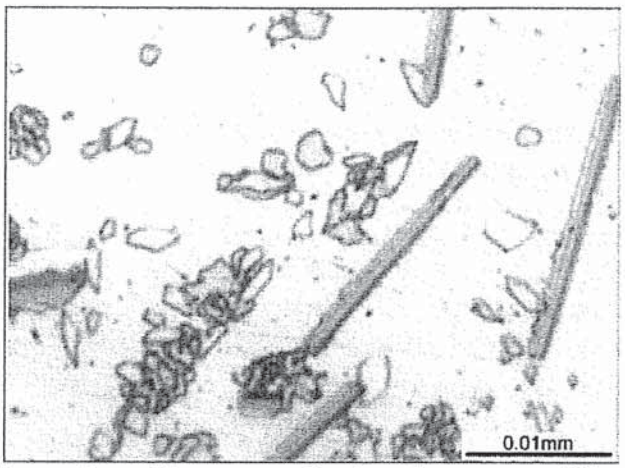


Figura 5: anillos α con bordes de γ, para 480s a 713K

Además de la distribución uniforme en la fase matriz, la fase γ presenta gran concentración en borde de grano (Figura 6).

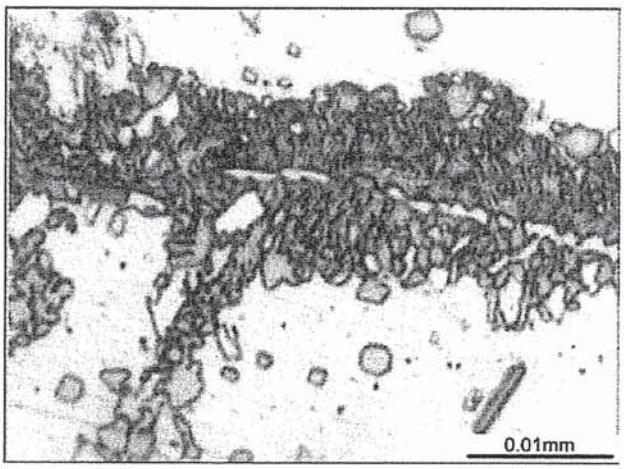
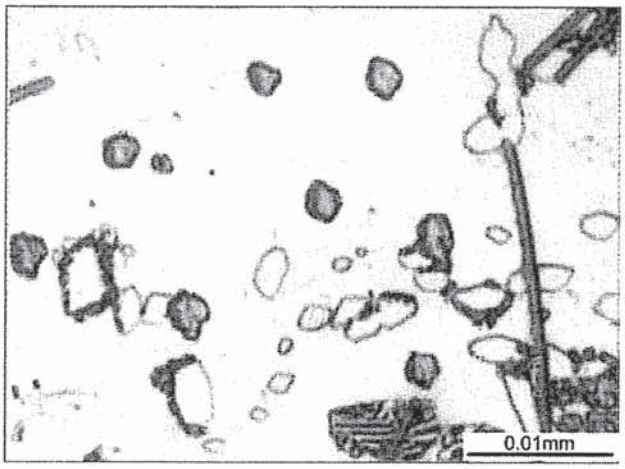
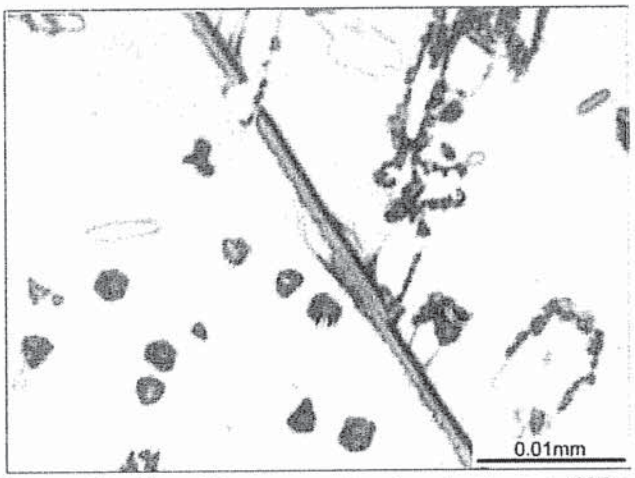


Figura 6: borde de grano con precipitación tipo γ para 480s a 713K

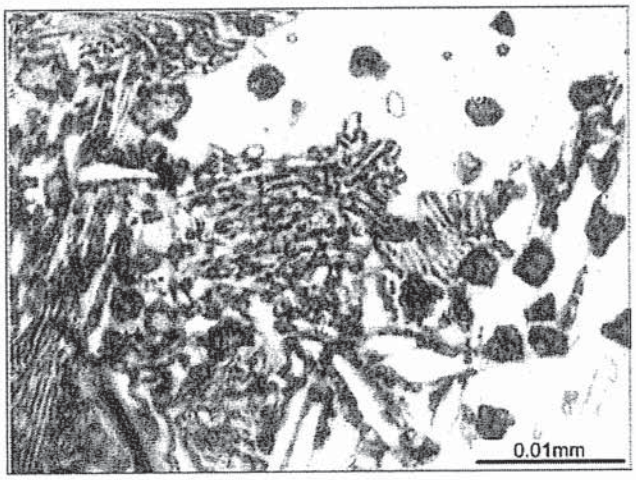
Al aumentar el tiempo de envejecimiento, los precipitados observados incrementan su cantidad y tamaño, presentando precipitados α en forma de islotes delimitados por precipitación γ, Figuras 7 y 8.

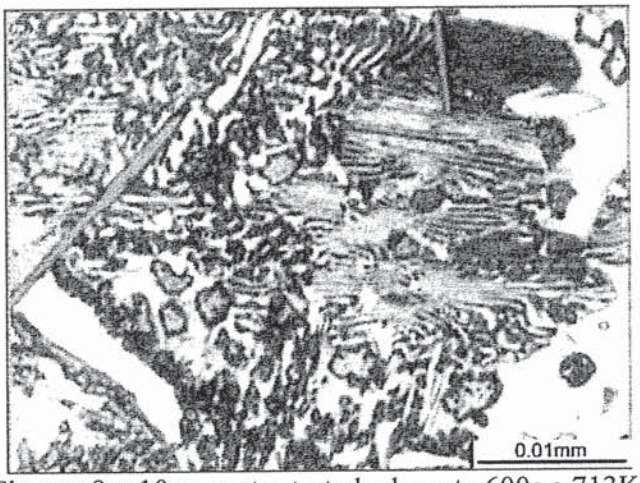




Figuras 7 y 8: anillos α con bordes de γ, para 600s a 713K

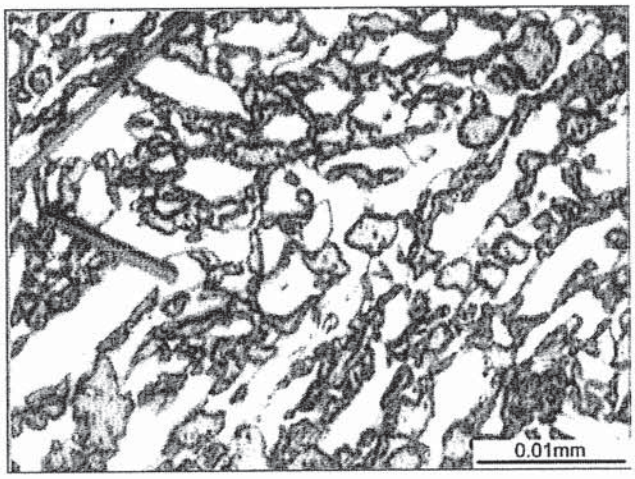
Además, en los bordes de grano se encuentra una formación eutectoide globular y laminar que resulta de la coprecipitación de las fases α y γ, además de la presencia de precipitados γ proeutectoides, según se observa en las Figuras 9 y 10.

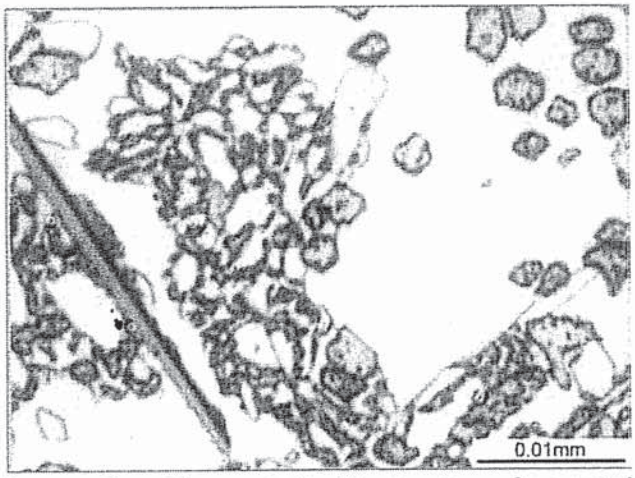




Figuras 9 y 10: muestra tratada durante 600s a 713K; se observa la reacción eutectoide con morfología globular y laminar en borde de grano.

Con el aumento del tiempo de tratamiento térmico se incrementa la cantidad y tamaño de precipitados, con partículas γ de morfología tipo globular o poliédrica e islotes de precipitados fase α, que ocupan gran parte de las zonas de la matriz β libre de precipitación (Figuras 11 y 12).





Figuras 11 y 12: precipitación γ y α en fase matriz para 1320s a 713 K

Para temperaturas de tratamiento térmico mayores, como en el caso de 773K, se puede observar a los 350s la precipitación de fase γ que forma agrupaciones alrededor de los precipitados primarios de Zr, y los precipitados fase α en forma de anillos delimitados por precipitación de fase γ, en la matriz (Figura 13) y para 450s en borde de grano (Figuras 14 y 15).

Se considera precipitación primaria a las partículas precipitadas finamente dispersas en la fase β, producto del agregado del aleante minoritario que cumple el papel de afinador de grano.

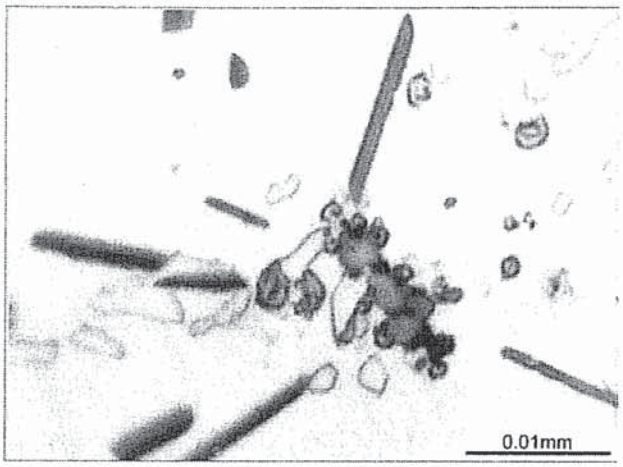
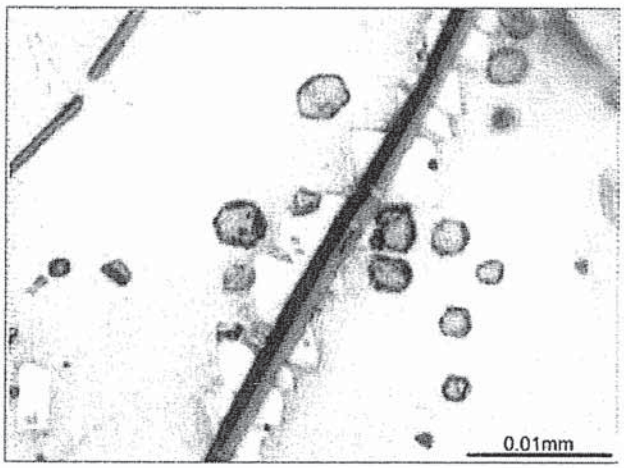


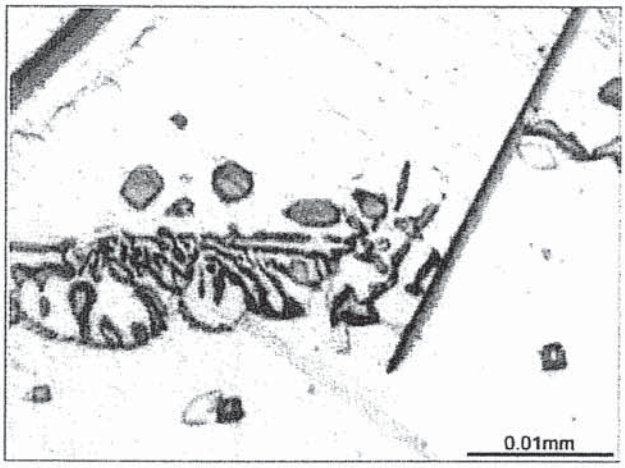
Figura 13. Precipitación de fase γ entre precipitados de Zr, y anillos de fase α, para 350s a 773K

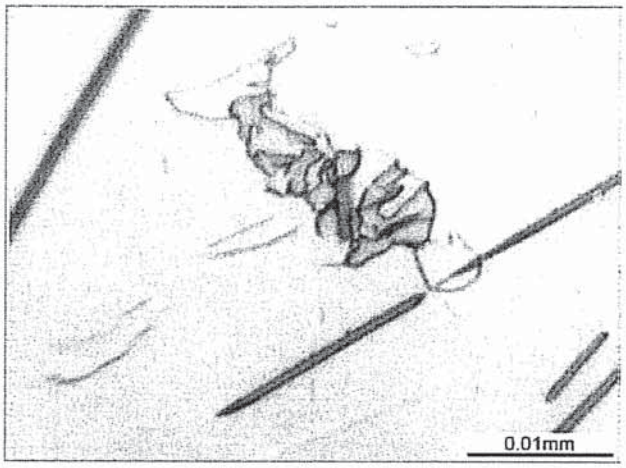




Figuras 14 y 15. Precipitación de fase γ y anillos de fase α en borde de grano, para 450s a 773K

En la fase matriz, a los 450s, se sigue observando la precipitación señalada en el tiempo anterior (Figuras 16 y 17).





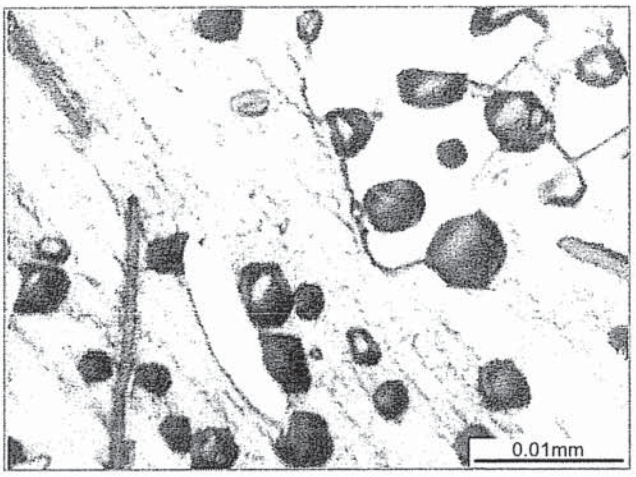
Figuras 16 y 17. Precipitación de fase γ y anillos o islotes de fase α alrededor de los precipitados primarios de Zr, para 450s a 773K

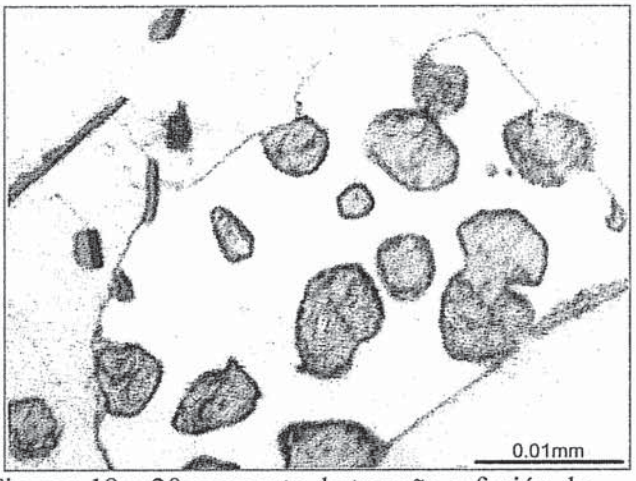
Al aumentar el tiempo de tratamiento isotérmico, también se incrementa el campo ocupado por la precipitación de fases α y γ (Figura 18); lo que se evidencia con el aumento de la fracción de volumen de partículas precipitadas de fase γ, como se muestra en la Figura 1.



Figura 18. Precipitación de fase γ y de fase α, para 3600s a 773K

Con el incremento del tiempo de tratamiento térmico no sólo aumenta el tamaño de los precipitados, sino que también se produce la coalescencia entre partículas γ vecinas adoptando así diversas morfologías (Figuras 19 y 20).





Figuras 19 y 20: aumento de tamaño y fusión de precipitados γ para 18000s a 773 K

También en este último caso se observó que la fracción de volumen γ aumenta rápidamente con el tiempo, pero no alcanza a cubrir la totalidad de la fase matriz β restante.

4 CONCLUSIONES

El comportamiento de las curvas de fracción de volumen en el tiempo es indicativo de la cinética de precipitación de las partículas γ. La tendencia de dichas curvas es de tipo sigmoidal [17,18], en las cuales la fracción en volumen que transforma crece suavemente al principio, luego mas rápidamente, y finalmente, de nuevo suavemente.

Las observaciones microscópicas descriptas especialmente para las temperaturas de 440°C (713K) y 500°C (773k) de tratamiento isotérmico, evidencian un proceso de descomposición de la fase matriz β, debido a la presencia de las fases precipitadas de equilibrio α y γ.

Las características microestructurales observadas en la aleación con Zr presentan leves variaciones respecto a las correspondientes a CuZnAlTiB [19] y a la aleación monocristalina CuZnAl [13].

En general, para todas las temperaturas analizadas por microscopía óptica en las muestras con Zr, se observa simultáneamente la precipitación de las fases α y γ.

La diferencia más notoria respecto a las dos últimas aleaciones se refiere a que la precipitación de ambas fases se produce también sobre la interfase matriz-precipitado de Zr, como así también que la fase γ da lugar a precipitados que se agrupan en forma aleatoria.

Además, en forma similar a los otros casos estudiados, aparecen en la matriz y borde de grano las placas bainíticas de fase α en forma acicular y formando anillos bordeados de precipitados fase γ. Aunque, en las muestras con Zr y a bajas temperaturas de tratamiento térmico, la precipitación de fase α se presenta con antelación respecto a la aleación con TiB.

También se presenta la reacción eutectoide con morfología globular y laminar. Al incrementar el tiempo de tratamiento, también aumentan las dimensiones de las fases precipitadas, cubriendo gran parte del campo ocupado por la fase matriz β inicial, al finalizar el tratamiento isotérmico.

5 REFERENCIAS

[1] J.S.Lee et al; *Metallography* **19** (1986), p.401;
[2] D.N.Adnyana; *Metallography* **18** (1985), p.187;
[3] R.Elst, et al; *Z.Metallkde.* **77** (1986), p.421;
[4] G.N.Sure, et al; *Met.Trans.* **15A** (1984), p.1613;
[5] H.Morawiec, et al; *Z.Metallkde* **81** (1990), p.419;
[6] J.S.Lee and C.M.Wayman, Metallography 19:401-419, (1986), p.401.
[7] W.H.Zou, C.W.H.Lam, C.Y.Chung, and J.K.L.Lai, Scripta Materialia, 36, (1997), p. 955-960.
[8] A. Furlani, M. Stipcich y R. Romero; *Anales AFA* **11** (2000), p.289;
[9] C.H.Wörner; Scripta Met., 23 (1989), p.1990.
[10] C.H.Wörner and P.M.Hazzledine; JOM, 44 (1992), p.16.
[11] A. M. Furlani, M. Stipcich y R.Romero, *Jornadas SAM-CONAMET-AAS* (2001), p359-366;

[12] A. M. Furlani, M. Stipcich y R.Romero, *Jornadas SAM-CONAMET-AAS* (2002), p303-308;
[13] M.L.Castro, Tesis Doctoral; Universidad Nacional del Centro, (1999);
[14] E. Lee y Y. Kim, Met. Trans. 21 (1990), p. 1681.
[15] E. Lee y Y. Kim, Scripta 24 (1990), p. 745.
[16] A. M. Furlani, M. Stipcich y R.Romero, *Jornadas SAM-CONAMET-AAS* (2005);
[17] M.Avrami; *J.of Chem.Phys.*, 7 (1939), p.1103.
[18] W.A.Johnson y R.F.Mehl; Trans. AIME, 135 (1939), p.416.
[19] A. M. Furlani, Tesis Doctoral; Universidad Nacional de Cuyo, (2005).

Mecanismos de cinética de generación de HMF en miel durante el almacenamiento.

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

RESUMEN: EL hidroximetilfurfural o 5-hidroximetil 2-furaldehído, HMF, es considerado por el *Codex Alimentarius* y adoptado por la legislación Argentina como índice de deterioro de calidad en mieles. El HMF es un intermediario que a temperaturas de almacenamiento se acumula poco antes que se manifieste el pardeamiento por reacciones de Maillard o, por degradación de los azúcares a temperaturas elevadas. La velocidad de formación del HMF depende en general de la temperatura, el tiempo de procesamiento y del almacenaje, ya que en mieles recién extraídas la concentración de HMF es prácticamente nula. Se ha observado deformación en la cinética de producción de HMF que estaría asociada a la composición inicial de la materia prima.

1 INTRODUCCIÓN

La miel es el producto alimenticio elaborado por las abejas melíferas a partir del néctar de las flores o de las secreciones procedentes de partes vivas de las plantas o que se encuentran sobre ellas, que las abejas liban, transforman, combinan con sustancias específicas propias, almacenan y dejan madurar en los panales de la colmena.
La elaboración de la miel se inicia una vez recolectado el polen de las flores, el néctar y el rocío dulce en la vesícula melífera de las abejas obreras que reciben la materia bruta, concluyendo el proceso cuando se llenan las celdillas del panal con miel. La transformación comprende esencialmente las siguientes etapas: espesamiento del néctar, aumento del azúcar invertido (por acidificación del material de partida y acción de las enzimas del cuerpo de las abejas, produciéndose también en le estómago melífico de éstas la isomerización de la glucosa en fructosa), incorporación de sustancias proteicas de las plantas y las abejas, de ácidos procedentes del cuerpo del insecto, agregación de minerales, vitaminas y sustancias aromáticas de los vegetales y de enzimas de las glándulas salivares y vesícula melífera de las abejas. Cuando la tasa de humedad de la masa de miel ha disminuido hasta un 16-19%, se cierran las celdillas con película de cera. En las celdillas la miel experimenta ulteriores transformaciones, sobre todo la inversión del azúcar. Como producto final, la miel es esencialmente una solución acuosa concentrada de azúcar invertido, contiene además una mezcla muy compleja de otros hidratos de carbono, diversas enzimas, aminoácidos, ácidos orgánicos, minerales, sustancias aromáticas, pigmentos, ceras, granos de polen, etc.
La República Argentina es uno de los principales proveedores mundiales de miel, posicionado en el segundo lugar luego de los Estados Unidos, siendo el tercer producto luego de China y Estados Unidos . El producto se ubicó en un lugar de privilegio entre los principales mercados compradores por sus

características de calidad, aroma y color lo que, acompañado por un bajo consumo interno y el crecimiento continuo de la producción en los último años, ha permitido sostener e incrementar la oferta.
Este noble producto apreciado por sus propiedades terapéuticas, por ser un producto natural, por su poder edulcorante y características sensoriales exige a sus productores a implementar una metodología de recogida y tratamiento que no altere su composición primitiva.
La metodología de obtención más utilizada, en nuestro país, es por centrifugación de panales sin larvas y templados. El calentamiento necesario para disminuir la viscosidad durante el tratamiento y envasado, que sirve a la vez para acabar de disolver la glucosa y pasteurizar el producto debe llevarse con el mayor cuidado posible, ya que la miel como consecuencia de su pH relativamente bajo y de su elevada tasa de fructosa sufre alteraciones en su composición que traen aparejado una pérdida de calidad.
El 5 - hidroximetil - 2 - furaldehído o hidroximetilfurfural (HMF) es considerado, entre otros, un factor de calidad (indicador de frescura) de las mieles por el *Codex Alimentarius* Mundial. Las mieles recién extraídas (por escurrimiento) no contienen prácticamente HMF. Este compuesto se acumula poco antes de la aparición de la pigmentación oscura existiendo para los alimentos en general una fuerte correlación ente la velocidad de formación de HMF, y la intensidad del pardeamiento Ref. [1]. Los mecanismos de las reacciones que dan origen a la formación de HMF, siguen distintos modelos según sean las composiciones, temperaturas y condiciones de calentamiento del alimento. Uno de los mecanismos es la reacción de Maillard la que ha sido considerada como la causa principal del pardeamiento no enzimático de los alimentos y para que ella ocurra es necesario la presencia de azúcares simples, aminoácidos y temperaturas no necesariamente elevadas, el otro mecanismo de producción de HMF se lleva a cabo por deshidratación de los azúcares y puede darse en ausenci8a de aminoácido requiriendo temperaturas mucho mayores que la reacción de Maillard Ref. [2] .
Los principales azúcares de la miel son la fructosa (38% por término medio) y glucosa (31%). Hasta ahora no se han hallado otros monosacáridos y se han identificado más de 20 oligosacáridos, ocupando la maltosa el primer lugar en ésta fracción que se ve muy influenciada por las plantas a partir de las cuales se elaboró la miel, siendo la tasa de sacarosa variable según el grado de maduración. Las enzimas más importantes que posee son las glucoxidasas (invertasa, sacarasa), α- y β- amilasas (diastasas), glucosaoxidasa, catalasa y fosfatasa ácida. La miel contiene aminoácidos libres en cantidades de 100mg/100g de extracto seco predominado la prolina que procede de las abejas, constituyendo entre el 50 y el 85% de la fracción aminoácida. El ácido principal de la miel es el glucónico y en pequeña cantidad están presentes el ácido acético, láctico, cítrico, succínico, fórmico, málico, maleico y oxálico presentando un pH medio de 3,5 Ref. [3].
Esta composición es la que permite que la miel sufra el pardeamiento no enzimático según Maillard no solo cuando se la calienta durante el proceso de extracción, fluidificación y pasteurización (temperaturas inferiores a los 75°C) sino, durante su almacenamiento, ocasionando oscurecimientos que se hacen n visibles con la consiguiente pérdida de valor comercial.
El camino propuesto en éste trabajo como la causa principal de la acumulación de HMF Ref. [2] en mieles almacenadas entre 8° y 35°C es por reacción de Maillard.
Según el Código Alimentario Argentino (CAA) la cantidad permitida de HMF en la miel es de 40 mg/kg, pero la resolución Mercosur N° 89/99, que deroga las anteriores resoluciones N° 15/94 y 56/99, en su último artículo establece lo siguiente....los Estados partes del Mercosur deberán incorporar la normativa a sus ordenamientos jurídicos nacionales antes del 29/03/00.., y en el punto 6 eleva la concentración máxima permitida a 60 mg/kg, por su parte, algunas federaciones europeas (Alemania, Bélgica, Italia, Austria, España) comercializan una porción de sus mieles como miel de calidad, la cual contiene un máximo de 15 mg/kg miel. El mercado Internacional ha constatado que un máximo de 40 mg/kg es satisfactorio. La propuesta del Codex adoptada por los países integrantes del Mercosur (Brasil, Argentina, Uruguay) de fijar un máximo de 60 mg HMF/kg miel responde al hecho de que el HMF aumenta más rápido durante el almacenamiento en los países tropicales. La más reciente propuesta de la EU exige un máximo de 40 mg/KG miel porque la validez de este estándar ha sido demostrada en condiciones europeas Ref. [4] .
En la Argentina no hay estudios publicados sobre velocidades de producción de HMF en mieles, a distintas temperaturas de almacenamiento, que permitan predecir el comportamiento de las mismas durante su vida útil. Hay quienes han medido la

cantidad de HMF presentes en muestras de miel tomadas en forma aislada, sin metodología de muestreo, con el objeto fundamental de poner a punto técnicas de análisis para su cuantificación Ref. [5]. En la provincia de Chaco, Argentina se han realizado mediciones de HMF en mieles de la región para conocer si se ajustan o, no a la reglamentación vigente Ref. [6], en Mendoza hay antecedentes de mediciones de HMF a disitntas temperaturas de calentamiento Ref. [7] contándose con dos o tres publicaciones más, que muestran los valores de HMF en mieles de otras provincias Argentinas, pero no se han encontrado publicados estudios de cinética de formación de HMF.

Es claro que el HMF varía con el tiempo y la temperatura de almacenamiento, convirtiéndose en un importante índice de deterioro de la calidad de la miel y es por lo que, el propósito de este trabajo es evaluar el desarrollo de este furfural durante el almacenamiento de mieles poliflorales de la región, en función de la temperatura, y plantear ecuaciones cinéticas que permitan estimar el daño térmico sufrido y al mismo tiempo que sirvan de modelos predictivos que aporten conocimiento científico a los productores, a la hora de fijar tiempos de aptitud en sus productos.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 *Recolección de muestras de miel*

Las muestras se obtuvieron a través de la Asociación de Apicultores de San Rafael, Mendoza, trabajando sobre ocho muestras de mieles poliflorales (identificadas con números del 1 al 8), provenientes de los centros de mayor producción de la zona, correspondientes a la cosecha 98. Las áreas muestreadas fueron: El Algarrobal; Cuadro nacional; Real del padre, Cuadro Benegas; El Toledano; Cuadro Bombal; Colonia Tabanera y El Cerrito.

En todos los casos la metodología de extracción declarada fue la centrifugación de panales, una vez desoperculados.

2.2 Tratamiento y caracterización de muestras de miel

2.2.1 Medición del contenido de HMF

El contenido de HMF de todas las muestras se determinó por método de White Ref. [8]; el que ha sido integrado (marzo de 1989) a la metodología analítica oficial del Código Alimentario Argentino.

En dicho método se mide la absorbancia característica del HMF a 284 nm. en una muestra previamente desproteinizada con respecto a la misma muestra tratada con sulfito ácido que destruye el grupo cromóforo del HMF, además se introduce una corrección por absorbancia específica a 336 nm. Cinco gramos de miel se transfieren a un matraz volumétrico de 50 ml., utilizando 25 ml. de agua destilada, se agregan 0,50 ml. de la solución carrez I (solución al 15% de hexacianato de hierro (II) y potasio trihidratado) mezclando y diluyendo a volumen con agua destilada previo agregado de unas gotas de alcohol para evitar la formación de espuma.

Una vez filtrada la muestra se toman 5 ml. de sendos tubos de ensayo y se agrega 5ml de agua destilada a uno de los tubos (muestra) y 5 ml. de solución sulfito ácido 0,2% al otro (referencia) luego de agitar enérgicamente se mide la absorbancia de la muestra con respecto a la referencia a 284 y 336 nm. Si la absorbancia leída es mayor de 0,6se debe diluir la solución de la muestra con agua y la solución de referencia con la solución diluída de sulfito ácido de sodio en la misma proporción, multiplicando antes del cálculo los valores de absorbancia por el factor de dilución que corresponda.

Cálculo:

HMF mg/100g de miel = [(A284 - A336) x 14,97 x 5] / g de muestra

El factor 14,97 resulta = (126 g / 16,83) x (1000 x 10 ml.) x (50ml. / 5 ml.)

donde:

126 = peso molecular de HMF en gramos.
16.83 = absortividad del HMF a 284 nm.
1000= gramos a miligramos.
10 = dilución previa a la lectura de A.
5= peso nominal de la muestra.
100 = gramos de miel a los que se refiere el contenido de HMF.

2.2.2 Clasificación de las mieles según el contenido inicial de HMF

Inmediatamente de ingresadas las muestras al laboratorio se midió, en repeticiones de tres, el

contenido de HMF, lo que permitió clasificar las muestras en dos grupos a los que se convino en llamarlos (por la diferencia en color que presentaban) Grupo de las Mieles Claras, integrado por 3 de las muestras y Grupo de las Mieles oscuras, formado por 5 de ellas.

2.3. Selección de muestras de trabajo, Fraccionamiento, Almacenamiento y Seguimiento del HMF

Se tomó una muestra del grupo de las mieles claras, seleccionando la que presentaba el menor contenido de HMF, aunque no presentaban diferencias significativa, y otra de las mieles oscuras eligiendo en este caso la de mayor contenido de HMF, las que si presentaban diferencias significativas entre ellas, fraccionando cada una en 12 potes de material plástico trasparente a la luz, siendo incubadas a 8; 18; 25 y 35°C, durante 564-578 días respectivamente.

Posteriormente en base a los resultados obtenidos se realizó una nueva serie para incluir la temperatura de 30 °C, con un seguimiento de 1 año para muestras claras y 180 días para muestras oscuras.

A intervalos de 30-40 días se determinó cuantitativamente el contenido de HMF (en repeticiones de tres) mediante el método de White Ref. [8]. Con los datos obtenidos y a partir de la evolución con el tiempo del contenido de HMF se plantearon ecuaciones cinéticas y determinaron las constantes de velocidad en cada uno de los casos.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La caracterización de las muestras de miel, de los principales distritos del sur de Mendoza, según su contenido inicial de HMF, se detalla en la tabla 1. Se observa que no existe homogeneidad de grupo entre las mieles llamadas oscuras en lo que hace al HMF, pero sí en la apreciación sensorial del color.

Tabla1. Valores medios del contenido de HMF y homogeneidad de las muestras según este parámetro.

Muestra	HMF (ppm)	Homogeneidad de grupos
2	0,02 ± 0,005	a
4	0,11 ± 0,01	a
7	0,16 ± 0,01	a
8	10,41 ± 0,02	b
6	11,34 ± 0,02	c
3	11,98 ± 0,02	d
5	13,02 ± 0,02	e
1	13,38 ± 0,02	f

Los valores de nitrógeno total para las muestras seleccionadas (la de mayor y menor contenido de HMF respectivamente) para el estudio arrojó valores de (0,087 ± 0,03) %. para mieles claras y (0,120 ± 0,03) % para mieles oscuras lo que se manifiesta como una diferencia significativa entre ambas en cuanto al contenido de sustancias nitrogenadas

La concentración de HMF en mieles claras con contenidos iniciales muy bajos (0,02 ± 0,01) del mencionado compuesto a temperaturas de almacenamiento de 8; 18 y 25°C; al cabo de 18 meses de almacenamiento, no supera el valor máximo (60 ppm.) fijado por la legislación vigente Argentina, no ocurre lo mismo cuando la temperatura se mantiene a 35°C en donde los valores de HMF a los 90 días superan dicho límite.

De igual forma se puede apreciar que las mieles oscuras, aquellas que comienzan el almacenamiento con contenidos de HMF más altos (13,38 ± 0,02) a temperaturas de almacenamiento de 8 y 18°C no superan el máximo establecido por la legislación vigente al cabo de 18 meses de almacenamiento, mientras que a 25°C el límite queda superado a los 440 días de incubación, ocurriendo lo mismo a los 30 días de seguimiento a 35°C.

Como se aprecia en la figura 1 y 2 el contenido de HMF aumenta más rápidamente en mieles oscuras que en claras lo cual podría indicar que las características iniciales de la materia prima y/o productos generados durante su manipulación influyen en la cinética de HMF.

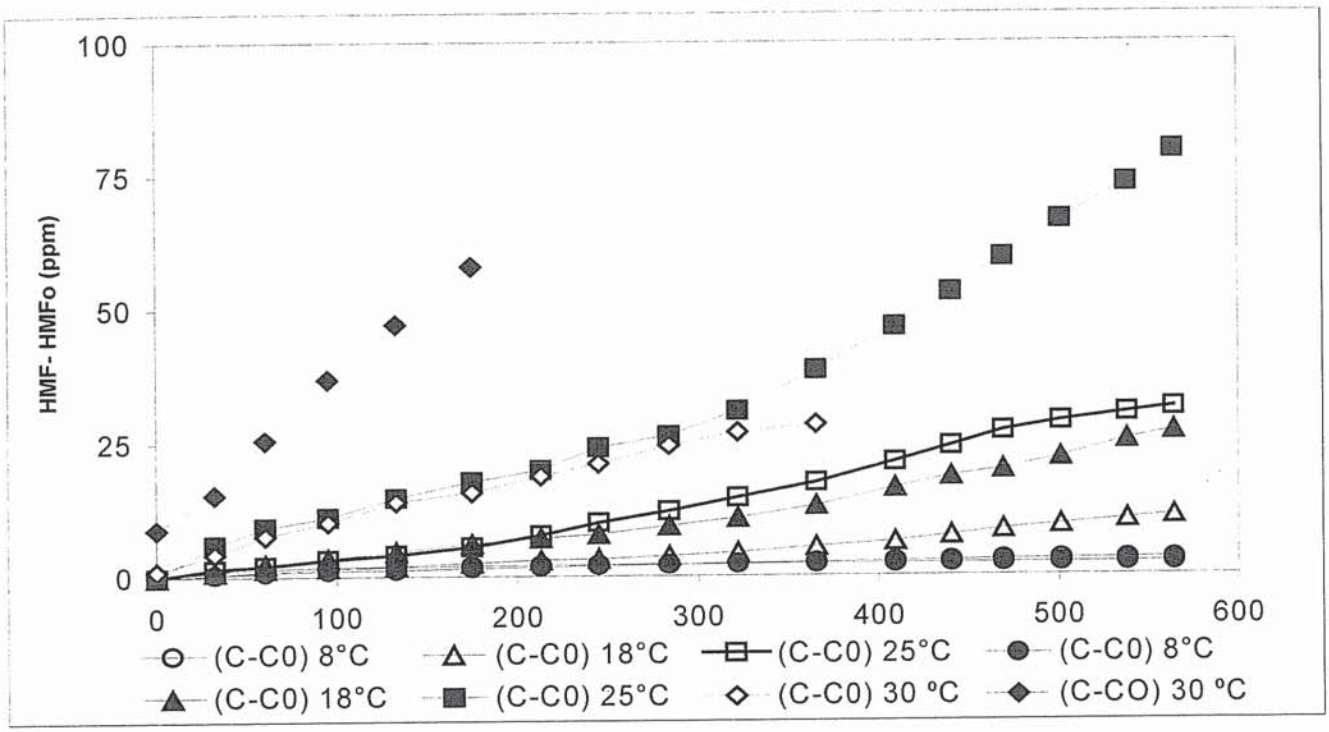


Figura 1. Evolución con el tiempo de la concentración de HMF, reducida con la concentración inicial, para mieles claras y oscuras a temperaturas entre 8 y 30° C

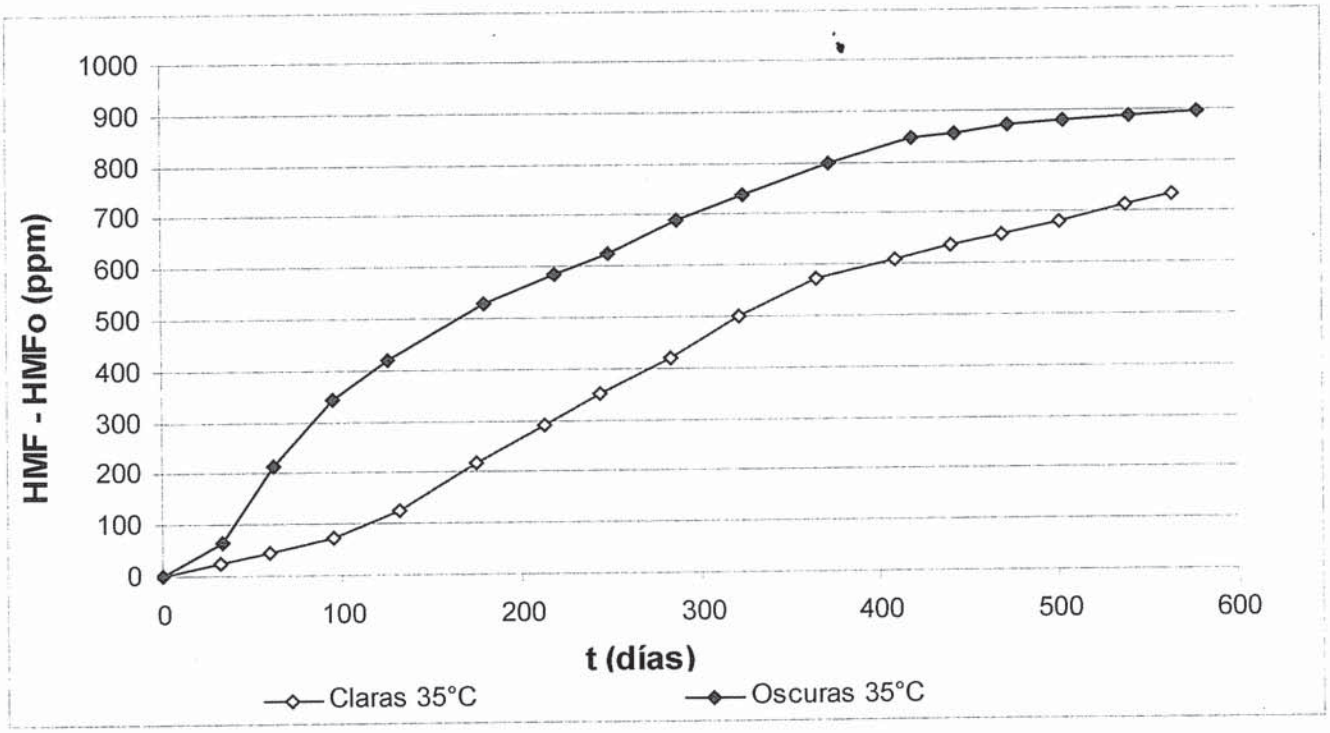


Figura 2. Evolucióncon el tiempo de la concentración de HMF, reducida con la concentración inicial, para mieles calras y oscuras a 35°C.

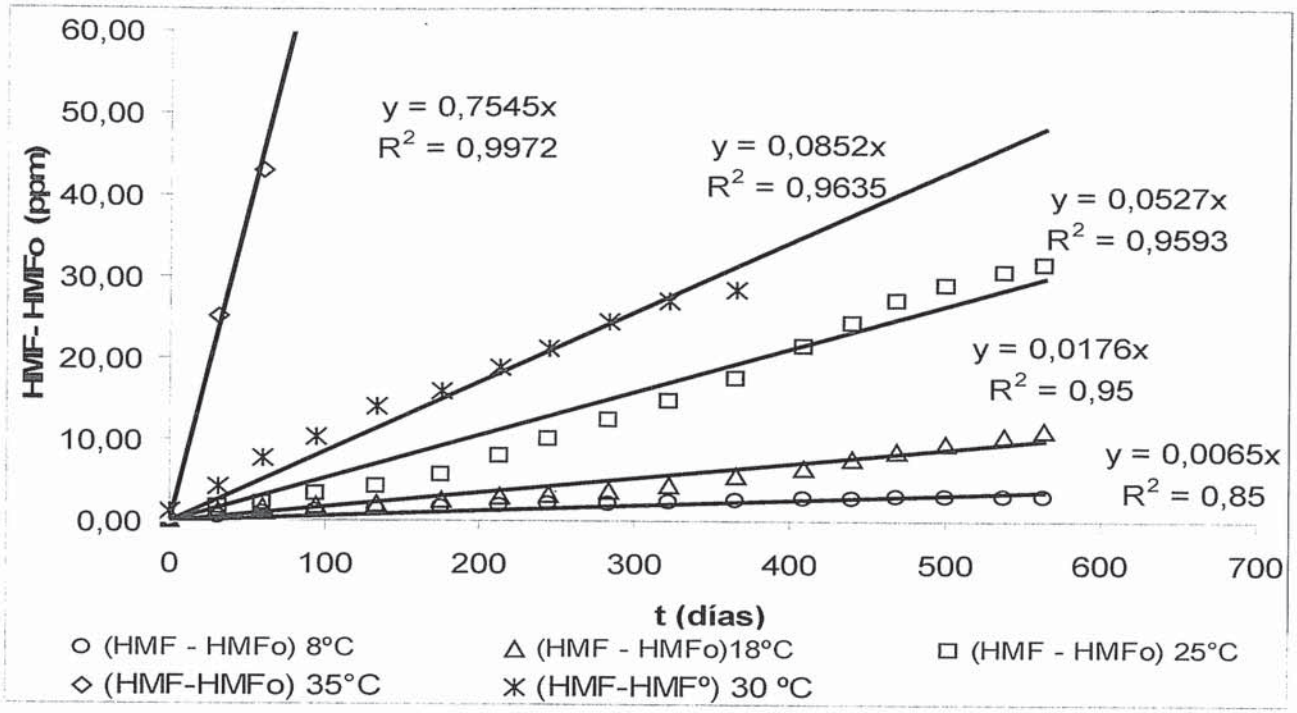


Figura 3. Gráfico concentración de HMF, reducida con la concentración inicial, con el tiempo de almacenamiento a las diferentes temperaturas para mieles claras

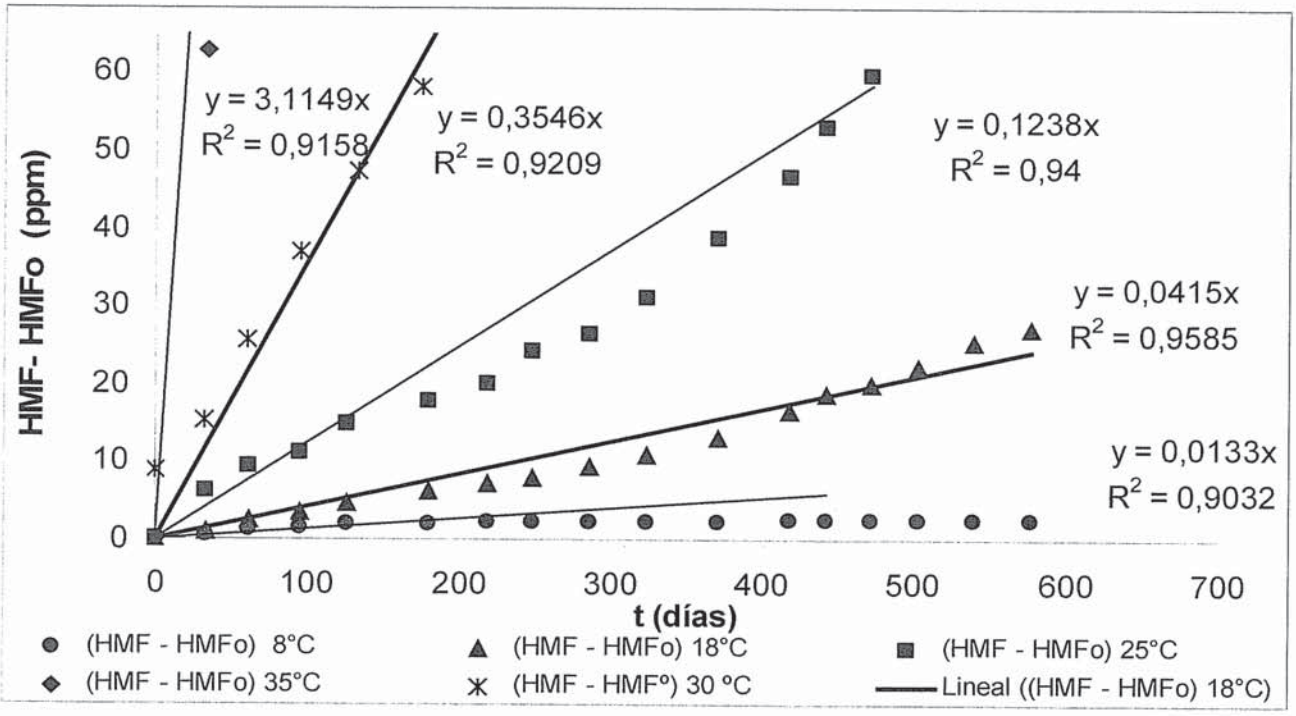


Figura 4. Gráfico concentración de HMF, reducida con la concentración inicial, con el tiempo de almacenamiento a las diferentes temperaturas para mieles oscuras

El análisis de varianza sobre los valores de HMF reducidos con la concentración inicial, entre los grupos 1 y 2 para 18; 25 y 35°C refleja diferencias significativas, mientras que el análisis para 8°C indica la no existencia de diferencias significativas entre ellos. A temperaturas bajas (8; 18°C) se observa una evolución propiamente lineal del contenido de HMF para mieles claras y oscuras, no obstante, desde los 25°C en adelante parece detectarse una aceleración de la producción de HMF a partir de un punto dado o valor crítico del compuesto, lo que se ve más acusado en las muestras que parten de un contenido inicial mayor de HMF. A 35°C el desarrollo es mucho más rápido de lo esperado a partir de las tendencias a temperaturas inferiores, lo que parece indicar la puesta en marcha de otros mecanismos de reacción en los que el HMF está involucrado.

Considerando esta observación se ha ajustado una cinética de orden cero dentro del intervalo de tiempo en que no se observa aceleración de la formación del compuesto.

En las figuras 3 y 4 pueden verse las rectas ajustadas en cada caso y en la tabla 2 se dan los valores de las constantes de velocidad de orden cero así como el intervalo de tiempo y de concentración de HMF dentro del cual el modelo permite una predicción adecuada.

Tabla 2 - Constantes de velocidad a distintas temperaturas en intervalos donde es aplicable el modelo lineal

Muestras Claras			
T (°C)	t (días)	HMF (ppm)	k ($días^{-1}$)
8	0 - 564	0,02 - 3,20	0,007
18	0 - 564	0,02 - 11,20	0,018
25	0 - 564	0,02 - 32,00	0,053
30	0 - 365	1.10 – 28,37	0,079
35	0 - 60	0,02 - 43,00	0,754
Muestras Oscuras			
T (°C)	t (días)	HMF (ppm)	k ($días^{-1}$)
8	0 - 287	13,38 - 16,00	0,011
18	0 - 372	13,38 - 27,00	0,033
25	0 - 126	13,38 - 28,00	0,124
30	0 - 180	8,90 – 57,99	0,321
35	0 - 33	13,38 - 76,00	3,115

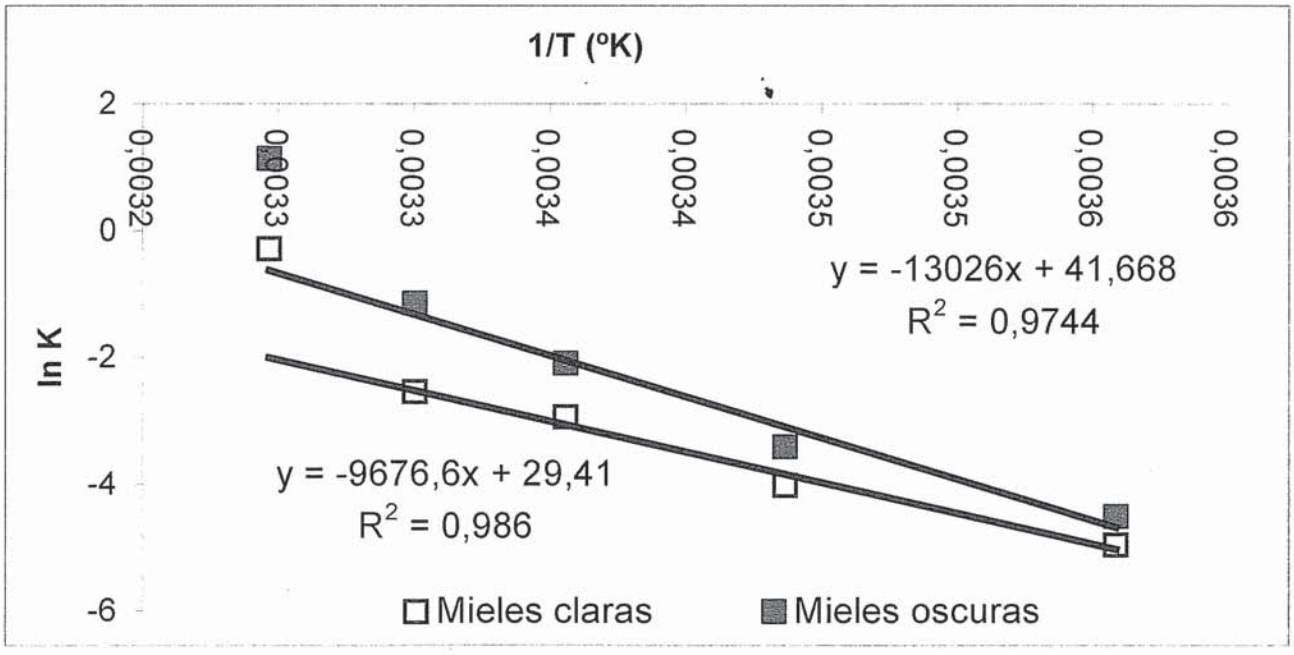


Figura 5. Gráfico de la presentación de Arrhenius para las constantes cinéticas

Salvo en el caso de temperaturas de 35 °C los tiempos de predcción en mieles claras no superiores a un año y los niveles de HMF están dentro de los permitidos, mientras que en las mieles oscuras a 18°C los tiempos de predicción superan el año, no así a 25°C que permite el modelizado hasta los 126 días, no superando en ambos casos el límite crítico de HMF.

El análisis de la influencia de la temperatura sobre la constante de velocidad puede observarse en la figura 5 donde se ajusta el modelo de Arrenhius para mieles claras y oscuras. El valor de la constante cinética a 35°C escapa a la tendencia marcada por el resto de las temperaturas, lo que como se comentó anteriormente indica la actuación de otros mecanismos de reacción en la formación de HMF. Dado que lo indicado no se observa a 30 °C, puede concluirse que dichos mecanismos solo influyen a partir de temperaturas muy cercanas a los 35 °C o superiores. El factor pre-exponencial y la energía de activación se dan en la tabla 3 para los dos tipos de mieles. Puede observarse mayor sensibilidad de las mieles llamadas oscuras (con contenidos iniciales de HMF más altos) ya que presentan mayor energía de activación.

Tabla 3 - Energías de activación y factor pre-exponencial, según Arrhenius, para mieles claras y oscuras

	Mieles Claras	Mieles Oscuras
Ea (kJ .mol^{-1})	44,26	59,59
k_0 (días^{-1})	$5{,}90.10^{12}$	$1{,}20.10^{18}$

4 CONCLUSIONES

El estudio de la evolución del HMF, como parámetro de calidad en las mieles constituye una herramienta válida para predecir el deterioro por acción del tiempo y la temperatura durante el amacenamiento y al mismo tiempo para alertar a los procesadores de miel sobre la necesidad de minimizar el daño térmico durante el proceso de extracción, purificación, pasteurización y fraccionamiento del producto. Así mismo se detectaron diferencias de comportamiento en el desarrollo de HMF para mieles claras y oscuras que probablemente estén asociados con sus variaciones composicionales. De igual forma es importante destacar que las mieles poliflorales claras u oscuras no deben ser almacenadas a más de 25°C por tiempos mayores a los 12 meses a partir del envasado.

5 REFERENCIAS

[1] Cheftel, J. C.; Cheftel, H., Vol. 1, 1976. Introducción a la Bioquímica y Tecnología de los Alimentos. Acribia, S. A., España.

[2] Braverman, J. B. 1986. Introducción a la Bioquímica de los Alimentos. El manual Moderno, S.A., México.

[3] Hans, D. B.; Werner,G., 1985. Química de los Alimentos. Acribia, S.A., España.

[4] Bogdanov, S. et al 2000. Honey Quality and International Regulatory Standards: Review of the Work of the International Honney Commission

[5] Varoli, M., Guerrero H. 2000. Hidroximetilfurfural (HMF) en Miel. Caliba N° 8: 20, 21

[6] Montenegro, S. 1998. Derterminación de HMF (hidroximetilfurfural), Antibióticos y Plomo en Mieles de Chaco (período 96/97). I Jornadas Internacionales de Alimentos de Origen Agropecuario.

[7] Sánchez, C. , Balanza M., Ordóñez, A., 1998. Variación de Hidroximetilfurfural en Mieles, en Función del Tiempo y la Temperatura de Calentamiento. II Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos, VIII - 18

[8] A.O.A.C. 1995. Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis. Ref.980.23.

[9] Atkins, P. W. 1986. Fisicoquímica Addison - Wesley Iberoamericana. Argentina.

[10] Belitz, H. D.; Grosch, W.,1985. Química de los Alimentos. Acribia, S. A., España.

[11] Senasa, Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2000. Producción Mundial de Miel. Alimentos Argentinos, SAGPyA. N° 14: 63, 67

Pronóstico de la demanda en entornos multiproducto

J. F. Roig Zamora

jroig@fing.uncu.edu.ar
Maestría en Logística, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo
Master Design Global-RICI, ENSGSI, Institut National Polytechnique de Lorraine
EII, Escuela de Ingeniería Industrial, Universidad de Costa Rica

M. Camargo Pardo

mauricio.camargo@ensgi.inpl-nancy.fr
Master Design Global-RICI, Ecole Nationale Supérieure en Génie des Systèmes Industriels (ENSGSI), Institut National Polytechnique de Lorraine
PREMER Programme UNCuyo/INPL

R. Q. Forradellas Martínez

kike@uncu.edu.ar
Maestría en Logística – Centro de Estudios y Aplicaciones Logísticas
Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo

RESUMEN: Algunos de los elementos que aumentan la complejidad de la Administración de la Cadena de Abastecimiento son la proliferación en la variedad de los productos, la reducción de los ciclos de vida del producto y la presión de disminuir su "lead time de producción". Estos factores complican la gestión logística en términos de la complejidad de hacer concordar la oferta con la demanda. En ciertos sectores de manufactura predominan aún restricciones que presionan al negocio hacia la producción del tipo "push", lo cual crea una clara necesidad para con el pronóstico de la demanda. La complejidad de calcular los pronósticos en entornos multiproducto concierne la definición del nivel de agregación a utilizar a la hora de calcularlos, además de la dificultad de tomar en cuenta los resultados de métodos cuantitativos y cualitativos. El presente artículo propone un algoritmo para calcular el pronóstico de ventas en entornos multiproducto, el cual se basa en la ponderación de pares ordenados "cualitativo-cuantitativo, agregación alta-baja"; pares ordenados que son diseñados dentro de la Matriz "Categoría de Método-Nivel de Agregación". Se presenta una comparación de los pronósticos con base en un análisis de costo de la tenencia de inventario contra el costo de ventas perdidas.

1 INTRODUCCION

La complejidad del mundo actual, dada las nuevas tendencias mundiales de la manera de hacer negocios, marca una nueva tendencia hacia los entornos multiproductos. Ya sea a nivel de distribución o manufactura, las empresas cada día tienen más la necesidad de planificar la utilización de sus recursos para abastecer las diversas demandas dada la gran variedad de productos que abastecen. Efectos tales como las exigencias mayores de los

clientes, presión por la reducción de los tiempos de entrega, reducción de los ciclos de vida de los productos, aumento en el riesgo de obsolescencia de los productos (riesgo de no venta), ponen un gran estrés en la necesidad de la precisión de hacer concordar la oferta con la demanda.

Varias técnicas han sido implementadas para contrarrestar la proliferación de la variedad de los artículos, entre las más conocidas la "especialización retrasada de manufactura" ó "especialización retrasada de la logística", Ref. [1]. Sin embargo, la gran mayoría de los negocios sienten la presión que ejerce el medio, cuyo efecto es una fuerte dependencia hacia las estrategias de manufactura del tipo "push" debido a la necesidad de responder con rapidez a demandas especulativas en vez que a demandas reales, Ref. [2]. Dicha dependencia hacia el estilo "push" vuelve crítica la dependencia del industrial para con la precisión en la determinación de los pronósticos de venta.

El presente artículo se organiza como a continuación se detalla: la sección 2 describe la complejidad del cálculo del pronóstico dentro del entorno multiproducto; la sección 3 comenta sobre los métodos cuantitativos y sus usos; la sección 4 propone el mismo análisis pero esta vez para con los métodos cualitativos; la sección 5 presenta el concepto de integración de ambas anteriores categorías de métodos; la sección 6 detalla el algoritmo propuesto para el cálculo del pronóstico para una gran gama de referencias y posteriormente la sección 7 muestra una aplicación industrial de dicho algoritmo; finalmente la sección 8 detalla ciertas conclusiones y posibilidades futuras de investigación.

2 COMPLEJIDAD DEL CALCULO DEL PRONOSTICO

La complejidad del cálculo del pronóstico en entornos multiproducto concierne efectos internos y externos. Entre los factores internos que una empresa debe enfrentar se pueden mencionar: grandes cantidades de referencias, un gran número de clientes, amplia gama de familias de productos, nuevos productos que surgen día a día, productos con correlaciones de demanda, productos complementarios, altas tasas de obsolescencia relacionadas con la naturaleza del producto, entre otros. Todos estos factores deben ser tomados en cuenta a la hora de calcular el pronóstico de las diferentes referencias.

Paralelamente a la complejidad que ofrecen los factores internos, el estratega debe considerar los factores externos tales como: mercados cambiantes, aumento del riesgo de venta, mercados en expansión, oscilación de la demanda, obsolescencia del producto debido a nuevas tecnologías, proliferación de la competencia, etc.

Es preciso considerar los factores internos y externos a la vez. Una fuente de información básica, necesaria para manejar los factores internos puede ser la información histórica de las ventas. Es a partir del estudio del histórico de ventas que se puede estudiar las características de la demanda tales como el nivel, la estacionalidad, la tendencia, entre otros. En este ámbito se puede utilizar la técnica de "back-casting" en la cual se utiliza el mejor método cuantitativo para analizar los datos históricos y predecir el futuro, como lo propone Ref. [3]. Usualmente esta técnica se adecúa a la facilidad de automatizar el cálculo del pronóstico. Dado que los algoritmos de pronóstico están compuestos por cálculos matemáticos, es posible calcular los pronósticos de una gran cantidad de referencias invirtiendo poco tiempo computacional. Sin embargo, este método se basa sobre el supuesto que la realidad futura podrá extrapolarse a partir de la historia reciente; es decir, se presupone que las condiciones internas y externas de la compañía se mantendrán, de manera tal que el futuro tiende a repetirse. Este enunciado no es totalmente válido, sin embargo es preciso considerar qué nos dice la historia de ventas.

Por otro lado, esta dependencia hacia la historia de las ventas nos hace reflexionar en la necesidad de incorporar en el pronóstico factores que puedan potencialmente originar cambios en el futuro. Varios autores concuerdan con este criterio y aseguran que "para mejorar los pronósticos se necesita recoger información hacia adelante", Ref. [4].

Entonces, además de los ya citados factores internos y externos, se anexa a la complejidad del cálculo del pronóstico la necesidad de ponderar el análisis de los datos históricos y los factores que a futuro puedan cambiar la demanda. Es decir, se deben usar métodos de análisis de la demanda histórica a la vez que métodos que tomen en cuenta los posibles cambios en las circunstancias en el futuro cercano.

Para esto se propone el uso de métodos cuantitativos y métodos cualitativos, y una integración de ambos resultados.

3 MÉTODOS CUANTITATIVOS

A la hora de analizar la demanda histórica, la utilización de métodos cuantitativos es de gran interés. Primeramente, se destaca la ya comentada facilidad de automatizar el cálculo dado que el algoritmo matemático se puede usar para miles de referencias en poco tiempo. Segundo, los métodos cuantitativos permiten un análisis rápido de las demandas y consiguen determinar sus parámetros de mayor interés, tales como el nivel, la tendencia y la estacionalidad (según sea el caso).

Entre los métodos cuantitativos más comunes de uso se tienen: el método estático, la media móvil, el suavizado exponencial, el suavizado exponencial con tendencia ó modelo de Holt, y el suavizado exponencial con tendencia y estacionalidad ó modelo de Winter. Para un mayor detalle de los algoritmos que conciernen dichos métodos refiérase a Ref. [2].

Dichos métodos pueden ser aplicados a diferentes demandas históricas y analizar su factibilidad de uso en la predicción de demandas futuras. Dicha factibilidad de uso se puede determinar a partir de los indicadores de errores del pronóstico y otros índices que miden la efectividad del método para calcular los pronósticos de la demanda. Igualmente, es posible determinar políticas de inventarios de seguridad basándose en los errores de los pronósticos calculados con los métodos cuantitativos. Para un mejor detalle de la aplicación de dichos métodos en un entorno multiproducto de distribución refiérase a Ref. [5].

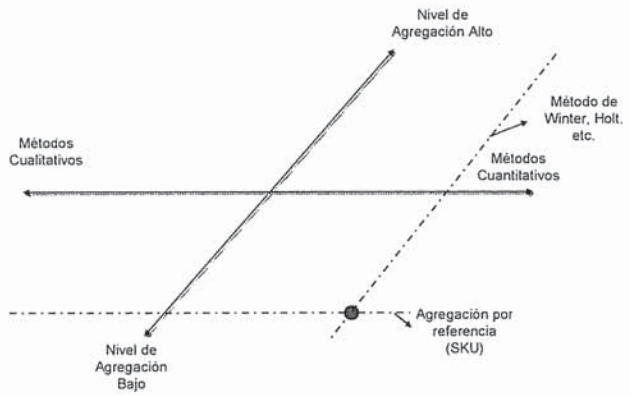


Figura 1. Utilización de Métodos Cuantitativos en Niveles de Agregación bajos, según Matriz "Categoría de Método-Nivel de Agregación".

A partir de la aplicación de los métodos cuantitativos a las demandas individuales de las referencias (SKU, *stock keeping unit*), es posible determinar pronósticos individuales para cada referencia beneficiándose así de la capacidad de los métodos cuantitativos de calcular matemáticamente pronósticos individuales. Es decir, se propone utilizar los métodos cuantitativos en niveles de agregación bajos, en este caso a nivel de referencias. Nótese en la Fig. 1 la posición del par ordenado dentro de la matriz propuesta.

4 MÉTODOS CUALITATIVOS

La necesidad de incorporar variables subjetivas en el cálculo del pronóstico ha dado peso a la incorporación de los métodos cualitativos. Los factores subjetivos que se incorporan en estos métodos varían desde la intuición de la persona que toma la decisión (intuición desarrollada a lo largo de su gestión dentro de la empresa basándose en el "know-how" de la misma), hasta el conocimiento de variables que afectarán los niveles de demanda (por ejemplo: la importación temporal de producto que competirá directamente con el producto de la empresa).

El criterio experto tiene la particularidad que, de una forma subjetiva, logra incorporar dentro del pronóstico el carácter intuitivo de la decisión. El criterio experto igualmente permite incluir dentro del pronóstico factores que afectarán el futuro y que no han afectado el pasado, factor que los métodos cuantitativos no serían capaces de incorporar dentro de sus cálculos.

Dentro de los métodos cualitativos más conocidos se tienen: a. Jurado de opinión ejecutiva, b. Proposición del Personal Comercial, c. Método Delphi, d. Estudio de Mercado, entre otros. Para un mayor detalle de dichos estudio refiérase a Ref. [6].

Dentro de un entorno multiproducto, sin embargo, el criterio experto a la hora de pronosticar es generalmente de mayor impacto en niveles de agregación altos y en términos monetarios (ventas monetarias). Es muy difícil que un gerente o alguien del personal de ventas puedan estimar con exactitud un pronóstico para cada una de las múltiples referencias. Sin embargo, a la hora de pronosticar familias o grupos de referencias, el pronóstico tiende a ser factible y más preciso. Por ejemplo, es fácil entender que un gerente de ventas pronostique ventas globales para el siguiente mes de 4 millones de pesos, y es probable que dicha predicción sea precisa pues él conoce como se ha comportado su empresa; su criterio experto le permite hacer estimaciones subjetivas relacionadas con múltiples variables, estimaciones bastante difíciles de representar matemáticamente. Igualmente, a la hora de pronosticar el comportamiento del mercado ante

una reevaluación de la moneda de un país vecino, un gerente puede estimar globalmente como estos factores externos afectarán la demanda globalmente, no así como esto afectará a cada uno de sus múltiples productos. Según Ref. [7] existe una relación entre el método que se utilice y el nivel de agregación; el criterio experto humano es esencial para los pronósticos agregados de mediano plazo.
En la Fig. 2 se detallan los dos pares ordenados bases de este artículo. Por un lado el par "cuantitativo-baja agregación", y por el otro lado el par "cualitativo-alta agregación".

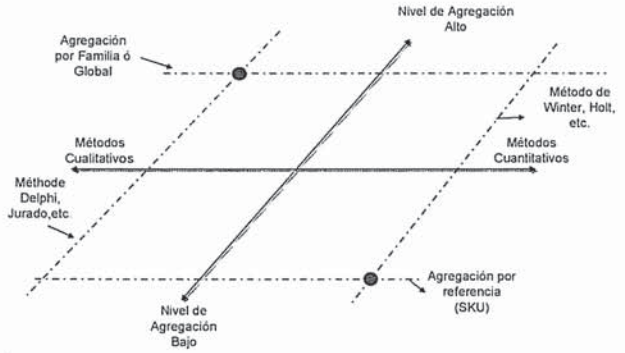


Figura 2. Utilización de Métodos Cualitativos en Niveles de Agregación altos, según Matriz "Categoría de Método-Nivel de Agregación".

5 INTEGRACIÓN DE AMBAS CATEGORÍAS DE MÉTODOS

Tanto en la Fig. 1., como en la Fig. 2., se puede distinguir dentro de la Matriz el concepto del par ordenado "tipo de método-nivel de agregación".
En la Fig. 1., se destaca dentro de la matriz el par ordenado "método cuantitativo-nivel de agregación bajo". En este caso se pretende mostrar la conveniencia de utilizar los métodos de pronóstico cuantitativos en niveles de agregación bajos tales como referencias individuales, grupos pequeños de productos que convenga agruparlos en pequeñas familias, productos con demandas complementarias, entre otros. En este caso, se busca sacar provecho de la factibilidad del cálculo del método cuantitativo a la hora de ser calculado múltiples veces debido a las múltiples referencias (entornos multiproducto). Igualmente, se destaca que para cada referencia es posible determinar cual de los métodos cuantitativos conviene más aplicar de acuerdo al tipo de la demanda; es decir, se debe estudiar cual método es más eficiente para el pronóstico de una referencia en específico.

En la Fig. 2., se destaca el par ordenado "método cualitativo-nivel de agregación alto". En este caso se pretende sacar provecho de esta combinación dado que el criterio experto es más fácilmente utilizable para lograr pronósticos agregados; por ejemplo: grandes familias de productos, segmentos de mercados, etc. Es lógico utilizar agregadamente el criterio experto de los ejecutivos, dado que si se pretendiese calcular "cualitativamente" los pronósticos para cada referencia sería bastante costoso debido a que el cálculo es intenso en horas-hombre (en este caso horas ejecutivo).
Partiendo de la conveniencia de cada uno de los pares ordenados citados anteriormente, se propone posteriormente la unificación de ambos pronósticos y sacar provecho de las bondades de ambos métodos.
Para conceptualizar esta unificación se presenta en la matriz el "eje de la constante de compromiso (Φ)", este eje une los pares ordenados (entiéndase por "compromiso" un sinónimo de "ponderación" a lo largo de este trabajo). Este eje presenta las infinitas combinaciones de ponderación que se pueden hacer entre los dos pares ordenados.

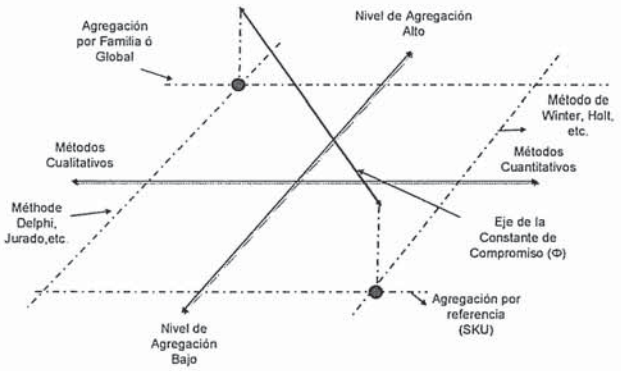


Figura 3. Matriz "Categoría de Método-Nivel de Agregación" y "eje de la constante de compromiso"; (Φ).

Una vez determinado el eje de la constante de compromiso, se requiere determinar el valor de la constate de compromiso Φ que mejor integre la información de ambos pares ordenados.
A la hora de definir Φ se propone recurrir al uso del "criterio de experto". Una vez definido Φ, es posible ajustar este valor de acuerdo a los resultados de pronóstico obtenidos. Es decir, se propone modular Φ con el transcurso del tiempo y el criterio experto desarrollado a partir de conocer como se comporta el método con la Φ escogida.
Gráficamente, se podría visualizar la constante de compromiso en la siguiente Fig. 4.

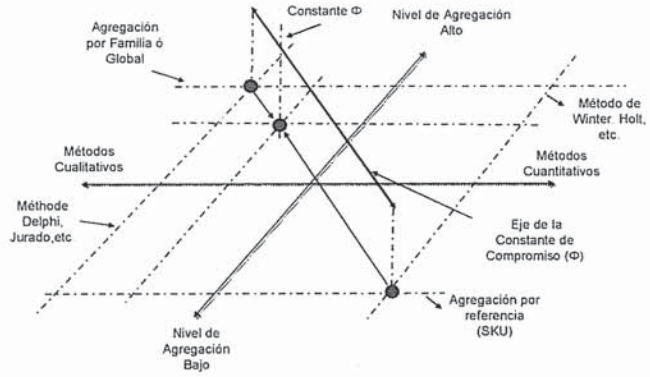


Figura 4. Matriz "Categoría de Método-Nivel de Agregación" y determinación de la constante de compromiso Φ.

Nótese cómo la integración de ambos pares ordenados da como resultado un nuevo par ordenado. El nuevo par ordenado presenta un nuevo pronóstico que tiene componentes intermedias tanto a lo largo del eje de categoría de método como a lo largo del eje del nivel de agregación.
En la práctica, este concepto es sumamente atractivo pues se podría sacar provecho de la facilidad del cómputo de los modelos cuantitativos (a niveles de referencia bajos) y ponderarlos con los pronósticos realizados cualitativamente (niveles de agregación alto). Este esquema permite integrar los esquemas de pronóstico Top-Down y los esquemas Bottom-Up con la inteligencia humana, de acuerdo a lo que propone Ref. [3]. Por esquema Top-Down se entiende el calcular el pronóstico partiendo de un nivel de agregación alto y posteriormente desglosar el pronóstico a conveniencia. Por esquema Bottom-Up se entiende lo inverso, es decir, calcular el pronóstico a partir de un nivel de agregación bajo para luego agregar los pronósticos según convenga.

6 ALGORITMO PROPUESTO DE CALCULO

Una vez expuesto el marco conceptual anterior, se procede a presentar la descripción del algoritmo que se propone en este artículo.

6.1 *Cálculo Bottom-Up*

Partiendo de los niveles inferiores de agregación, se propone utilizar los métodos cuantitativos anteriormente propuestos. Para mayor información de cómo calcular el pronóstico a partir de los métodos cuantitativos refiérase a Ref. [5].

Los niveles inferiores de agregación se definirán preferiblemente en términos de "familias de referencias" ó F_r's. Las familias de referencias se deben escoger basándose en criterios como complementariedad de los productos, correlación de las demandas y la conveniencia de calcular los pronósticos de manera conjunta. La idea es determinar pequeños grupos de referencia que por semejanzas en sus características convenga pronosticar en grupo. Por ejemplo, para el caso de la distribución en un supermercado conviene calcular los pronóstico conjuntos de productos con comportamiento similar como gaseosas, posteriormente se puede desglosar el pronóstico por marca de gaseosa en función de los porcentajes históricos de cada referencia; esto obviamente dentro del contexto multiproducto, es decir, cuando la cantidad de productos dentro de la F_r es pequeña en comparación a la cantidad total de referencias.
Luego, se procede a calcular con los métodos cuantitativos el pronóstico para las F_r's, es decir el P_{fr} (pronóstico para la familia de referencias); se procede a escoger el método que mejor calcule el P_{fr}; ver Ref. [5].
Una vez calculada el P_{fr} se procede a desagregarlo en un pronóstico para cada referencia (P_r). En este caso se basará en el peso o porcentaje histórico de la referencia dentro de la familia de referencia (F_r).
Para este cálculo se calcula el factor de proporcionalidad de demanda dentro de cada F_r para cada referencia, de acuerdo a:

$$FP_r = \frac{\sum D_r}{(\sum D_t)} \qquad (1)$$

donde:
FP_r: factor de proporcionalidad de demanda para la referencia; con respecto a las ventas totales de la F_r.
D_r: demanda histórica para la referencia r.
D_t: demanda total para la totalidad de productos que pertenecen a la F_r.

Una vez calculados para cada una de las referencias los valores FP_r, se procede a calcular cada P_r a través de la siguiente fórmula:

$$P_r = P_{fr} \cdot FP_r \qquad (2)$$

donde:
P_r: pronóstico individual para la referencia r.
P_{fr}: pronóstico global para la familia de referencia
FP_r: factor de proporcionalidad de demanda para la referencia; con respecto a las ventas totales de la F_r.

En este momento se tienen los pronósticos P_r para cada una de las referencias que componen la familia de referencia F_r.
Este mismo procedimiento se hace para cada referencia hasta que se tengan los datos de P_r para cada una de las referencias del entorno multiproducto.
Para el caso de referencias nuevas, cuyo caso no tienen datos, se deben calcular los P_r según sea el mejor método (puede ser un método cualitativo especulativo para con la demanda del nuevo producto). Este cálculo de pronóstico se excluirá de la presente investigación.
Una vez calculadas las P_r's se procede a calcular la AP_r ó agregación de los pronóstico P_r. Lo anterior se hará de la siguiente manera:

$$AP_r = \sum P_r \cdot \rho_r \qquad (3)$$

donde:
AP_r: constituye la suma de todos los pronósticos de cada referencia, en términos monetarios.
ρ_r: Precio de cada referencia

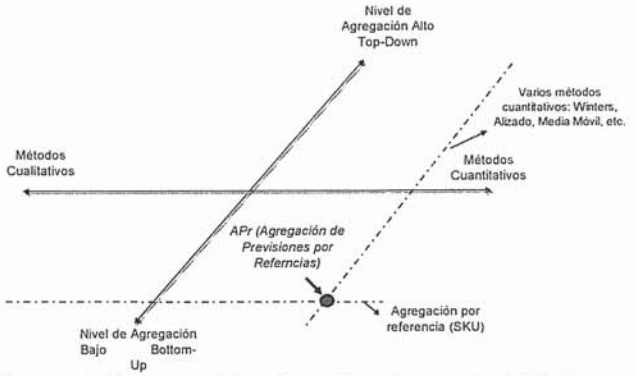


Figura 5. Bottom-Up. Constitución de la AP_r dentro de la Matriz "Categoría de Método-Nivel de Agregación".

6.2 *Cálculo Top-Down*

Posteriormente, se procede a calcular los pronósticos globales de las ventas. Para mayor detalle de la aplicación de las diversas técnicas cualitativas de pronóstico refiérase a Ref. [6].
Los pronósticos globales de ventas se determinan a través de las técnicas de Opinión de Jurado Experto, Proposición del Personal de Ventas y del Estudio de Mercados.
Cabe mencionar que nuestro experimento se llevó a cabo a partir de un cálculo global del pronóstico. Es decir, se estimaron ventas globales para la totalidad de los productos.

En caso de que sea posible, es aconsejable segregar aún más la globalidad de dicho cálculo, es decir, se podría plantear la posibilidad de calcular los pronósticos por grandes familias de productos. Directamente proporcional a la cantidad de macro familias será el costo del cálculo de dichos pronósticos, dado lo intenso en horas-hombre del cálculo.
Otra restricción típica de este cálculo es el conocimiento del personal respecto a las ventas desglosadas en las macro familias. En nuestro caso, el personal se sintió cómodo haciendo las predicciones de forma global para todas las referencias dado que no consideró tener criterio experto para segregar más su pronóstico.
A partir de este cálculo cualitativo se determina el pronóstico global P_g.

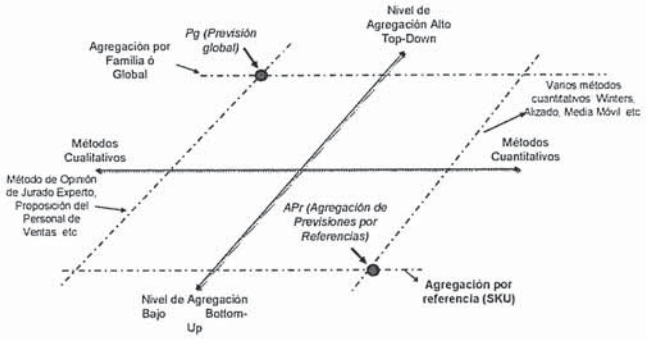


Figura 6. Top-Down. Constitución del P_g dentro de la Matriz "Categoría de Método-Nivel de Agregación".

6.3 *Integración de Pronósticos Bottom-Up Cuantitativo /Top-Down Cualitativo*

Una vez definidos los puntos AP_r y P_g se procede a ponderar ambos puntos a lo largo del eje de la constante de compromiso", (Φ). La ponderación de ambos puntos recibirá el nombre de *Pronóstico Global Comprometido* ó P_{gc}.
Posteriormente, para ponderar ambos resultados se procede a utilizar la siguiente fórmula:

$$P_{gc} = APr \cdot (1-\phi) + Pg \cdot (\phi) \qquad (4)$$

El *Pronóstico Global Comprometido* se puede representar gráficamente como a continuación se detalla.

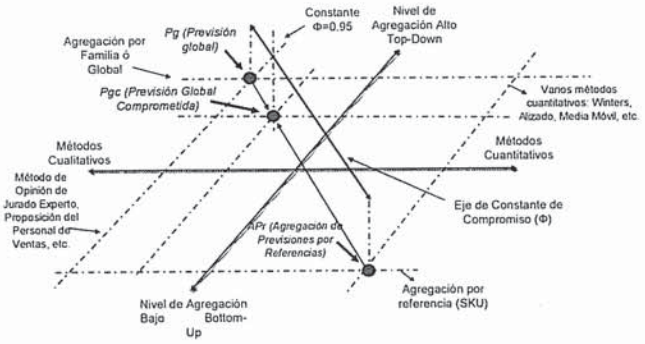


Figura 7. Integración Bottom-up / Top-Down. Determinación de $\Phi=0.95$ dentro de la Matriz "Categoría de Método-Nivel de Agregación".

Una vez calculado el P_{gc} se debe desglosar dicho pronóstico global en pronósticos para cada referencia. Se procede entonces a desglosarlo en los pronósticos comprometidos a nivel de referencias, es decir, a calcular el pronóstico comprometido por referencia (P_{cr}). La siguiente es la fórmula de dicho cálculo.

$$P_{cr} = P_r \cdot \left(\frac{P_{gc}}{AP_r} \right) \tag{5}$$

7 APLICACIÓN DEL ALGORITMO PROPUESTO DE CALCULO

Una vez definido el algoritmo y sus ecuaciones, se procede a aplicar el modelo en datos reales. Específicamente se corrió el modelo para los meses de octubre del 2005 hasta marzo del 2006, en una empresa de manufactura con aproximadamente 250 referencias diferentes.

Con respecto al análisis cuantitativo, se tuvo la posibilidad de analizar la historia anterior a octubre del 2005, por lo que a partir de dicho análisis se determinó un pronóstico para los meses de octubre del 2005 hasta marzo del 2006. Inicialmente se calcula el pronóstico de las referencias, es decir, la P_r; luego usando (3) se procede a determinar AP_r. Igualmente, siguiendo el procedimiento ya comentado, se procede a calcular la P_g a través de los métodos cualitativos.

Luego, con ayuda del criterio experto, se procede a definir $\Phi=0.95$. En este caso se quiere dar mucho peso al criterio experto y al nivel de agregación alto dadas las tendencias del mercado propio de la empresa donde se llevo a cabo el estudio.

Usando $\Phi=0.95$ en (4) se determina P_{gc}. En seguida se utiliza (5) para calcular los pronósticos comprometidos para cada referencia (P_{cr}).

Dentro de los resultados globales destaca una disminución del MAPE (medición de error) del AP_r del 13.2% a un MAPE de P_{gc} del 3.2%. Por otro lado, es lógico esperar que al comparar los errores del P_{gc} con la P_g estos hayan aumentado dado que la P_g siempre será más precisa dado su grado de agregación. Específicamente, el MAPE de P_g es de 2,9% contra el 3.2% para la P_{gc}. Nótese que, sin embargo, el uso de la P_{gc} en lugar de la P_g, permite suavizar posibles errores en la predicción global cualitativa. En entornos de distribución o manufactura, es indispensable el pronóstico con desglose de unidades por referencia tomando en cuenta las tendencias derivadas de los valores históricos; por esta razón es válido perder eficiencia en el pronóstico a expensas de ganar en desglose en función de los valores históricos y conseguir un pronóstico comprometido en cantidades, es decir P_{cr}.

Respecto a los resultados a nivel de referencia (es decir, a nivel de P_r's con las P_{cr}'s) la eficiencia del pronóstico se propone contrastar en términos de costos de ambas políticas. A la hora de comparar las eficiencias de ambos métodos de pronóstico (es decir, la diferencia entre utilizar únicamente los métodos cuantitativos y el utilizar el algoritmo propuesto) se propone comparar los costos asociados cada método de pronóstico.

Para esto se propone, en primer lugar, comparar los P_r's y P_{cr}'s con las ventas reales (nótese que se cuenta ya con los datos de las ventas reales que en su momento fueron pronosticados). Se propone penalizar el costo de overstock con el costo mensual de mantenimiento de inventario (sea este TMMS); se penalizará el costo de ruptura de stock (sea este TCRS) en términos del margen de venta que se pierde, es decir, el porcentaje del precio del producto que en promedio la empresa perdería en caso de no hacer efectiva una venta.

Asignando al error positivo del pronóstico un costo relacionado con el TMMS y relacionando al error negativo al costo TCRS, se procede a calcular el costo relacionado a la política de pronóstico; posteriormente se comparan ambas políticas. Lo anterior se hace a través de la siguiente fórmula:

$$CPP = (ep \cdot (TMMS) + en \cdot (TCRS)) \cdot \rho_r \tag{6}$$

donde:

CPP: Costo de la política de pronóstico

TMMS: Tasa mensual de mantenimiento de stock

TCRS: Tasa del costo de ruptura de stock
ep_r: Error positivo por referencia; en unidades
en_r: Error negativo por referencia; en unidades
ρ_r: Precio de la referencia

Luego de comparar ambos métodos de pronóstico (tomando en cuenta las referencia de mayor venta dentro de la empresa), se llega a la conclusión que el algoritmo propuesto genera una disminución en costos de en promedio un 6.60% del margen de contribución del producto; lo cual es bastante atractivo.
Nótese que en este estudio no se consideró el costo a mediano o largo plazo del deterioro de imagen de la compañía a la hora de perder ventas e imagen.

7.1 *Conclusiones de la aplicación del algoritmo*

El algoritmo propuesto presenta una solución para el complejo problema de generar pronósticos en entornos multiproductos. Quizás la pregunta más complicada para el decidor es el determinar hasta que nivel de agregación se debe de preocupar por analizar. La misma complejidad se encuentra en el definir hasta que punto puede basar la toma de la decisión en términos del comportamiento de la historia de las ventas o hasta que punto tomar en cuenta el criterio experto que mira al futuro.
La propuesta comentada permite al decidor mezclar ambas fuentes de información (sea la histórica como la de criterio experto) y ambos niveles de agregación (sea a nivel global ó a nivel de referencia); no solo permite mezclar ambas fuentes sino modular la ponderación a lo largo del tiempo (a través de la modulación de Φ) según sea conveniente. Todo esto para obtener un pronóstico P_{cr}, el cual se es crítico a la hora de planificar la producción de las referencias en el entorno de manufactura multiproducto.

8 CONCLUSIONES

En el presente caso se utiliza un único pronóstico P_g. Es decir, se hizo un pronóstico global para el volumen total de ventas de la compañía. Las razones de dicha decisión se relacionaron con las limitaciones del personal de sentirse cómodos realizando una proyección con un mayor nivel de agregación dado que a lo largo de la historia siempre lo han hecho globalmente y han construido su criterio experto alrededor de dicho cálculo agregado; no así a niveles más desagregados.
Este mismo algoritmo de cálculo de pronóstico se puede utilizar al aplicarse a niveles P_g menos agregados. Es decir, la globalidad usada en nuestro cálculo puede ser desagregada y usarse el mismo algoritmo en varios puntos diferentes P_g. Posteriormente, los resultados de las P_r's pueden volver a juntarse para construir el pronóstico global de la empresa. Queda como tema de investigación futura el estudio de cómo definir la partición de la globalidad para determinar cuantos puntos P_g son convenientes.
Otra línea de investigación futura será determinar los valores que puede tomar la constante Φ de acuerdo a los entornos socio-económicos en donde se encuentre la compañía; por ejemplo: a mayor estabilidad socio-económica mayor ponderación para con los datos históricos.
Por último, este artículo pretende mostrar la ventaja de calificar la eficiencia de un método de pronósticos según su capacidad para maximizar las ventas y minimizar los costos de mantenimiento de stock y pérdida de ventas. Es decir, al valorarse la capacidad de predicción de los métodos de pronóstico en términos de sus costos relacionados, se logra un enfoque económico de gran interés a la hora de estudiar la conveniencia de las técnicas de pronóstico. Se plantea esta línea de investigación como de interés para ser desarrollada y ampliada en futuras investigaciones.

9 REFERENCIAS

[1] D. Bowersox, D. Closs & M. Cooper, Supply Chain Logistics Management, McGraw Hill, 2002.

[2] S. Chopra, P. Meindl, Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operations, Prentice Hall (Ed.), 2004.

[3] E. Frazelle, Supply Chain Strategy, McGraw Hill (Ed.), 2002.

[4] O. Carranza, F. Sabria, P. Resende, Logística: Mejores practicas en latinoamérica, Thomson, 2004.

[5] J.F. Roig, M. Camargo, R. Forradellas, Multiproduct Supply Chain Strategic Planning, Third International Conference on Production Research – America's Region 2006 Proceedings. ICPR-AM06.

[6] J. Heizer, B. Render, Dirección de la Producción, Decisiones Estratégicas, Pearson Education, 2001.

[7] E. Silver, R. Peterson, Decision Systems for Inventory Management and Production Planning, John Wiley and Sons, 1985.

Influencia del diámetro de tubo de evaporadores de circulación forzada sobre la transferencia de calor

L. A. Rubio, E. Muñoz Puntes, S. A. Sini & H. N. Possa

Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria (U.N.Cuyo)
larubio@fcai.uncu.adu.ar

RESUMEN: Se operó un evaporador de un tubo de escala industrial, que puede ser armado según seis principios diferentes, lo que permite comparar los resultados obtenidos para los distintos casos. Se desarrolló un método modelístico para la identificación y reducción de variables utilizando el modelo de caja negra aplicado a la situación local y a la global. Se evaluó experimentalmente en la configuración de circulación forzada ascendente con tubos internos de distintos diámetros. Con los datos obtenidos, aplicando parcialmente el método modelístico, se obtuvo una ecuación predictiva en función de variables macroscópicas independientes.

1 INTRODUCCIÓN

Los estudios sobre evaporadores existentes en la literatura han sido realizados sobre equipos, sea a escala piloto o industrial, de configuración fija y totalmente distintos unos de otros, asumiendo que, por el principio de similitud, los resultados son escalables, es decir, válidos a una escala distinta y por ello también comparables. Sin embargo, en fenómenos que implican simultáneamente transferencias de masa, calor y cantidad de movimiento, como es el caso de la evaporación, la similitud sólo puede lograrse en forma parcial. Esto limita seriamente la validez de las ecuaciones obtenidas [1] y ha llevado a cuestionar los resultados alcanzados para este tipo de fenómenos [2]. Una revisión crítica de los distintos métodos modelísticos [3] ha constatado las inconsistencias del marco teórico en uso. Se propone un nuevo enfoque para los fenómenos de transferencia complejos, lográndose resultados parciales con gran respaldo experimental.

2 OBJETIVOS

1. Identificar las variables macroscópicas significativas;
2. Evaluar el equipo con fluidos newtonianos operando en su configuración de circulación forzada ascendente;
3. Experimentar con tubos internos de distinto diámetro;
4. Obtener modelos predictivos.

3 METODOLOGÍA APLICADA Y RESULTADO

Identificación y selección de variables macroscópicas

Las variables macroscópicas identificadas en la bibliografía que intervienen comúnmente en los procesos de transferencia de calor se resumen en la Tabla 1

Tabla 1: Resumen de variables macroscópicas	
Primer grupo: Características geométricas y físicas:	1. Tipo de configuración 2. Diámetro del tubo (d) 3. Largo del tubo (L) 4. Material de construcción 5. Espesor de pared del tubo (e_W) 6. Naturaleza de la superficie (r_W)
Segundo Grupo: Parámetros operativos:	7. Velocidad media de producto. (u) 8. Temperatura de vahos (T_V) 9. Temperatura de vapor de calefacción (T_S) 10. Diferencia de temperatura (ΔT) 11. Alejamiento de la temp. de equilibrio 12. Concentración de sólidos solubles (C_C) 13. Tipo de producto
Tercer grupo: Propiedades del fluido líquido a la temperatura de la masa del producto	14. Temperatura de la masa de producto (t_i) 15.Tensión superficial (σ) 16. Viscosidad: (μ_L) 17. Calor específico 18. Conductividad térmica 19. Calor latente de vaporización 20. Gradiente crítico de temperaturas ($\Delta T_{critico}$) 21. Elevación del punto de ebullición

Variables seleccionadas

Las variables de la Tabla 1 pueden ser reducidas de la siguiente manera:

1. Considerando el modelo local como una caja negra, por aplicación de la Regla de las fases, se reducen las propiedades del tercer grupo a tres parámetros operativos: temperatura de producto, temperatura exterior y concentración de sólidos solubles.

2. Considerando el modelo global como una caja negra, a partir de la definición de variable independiente se obtienen como variables macroscópicas: tipo de producto; temperatura de vapor de calefacción (T_S); temperatura de vahos (T_V); velocidad media de producto (u); y concentración de sólidos solubles (c_C).

3. Los parámetros de temperatura del modelo local se pueden a su vez reducir a los ya elegidos para el modelo global.

Matemáticamente el modelo global ha de expresarse como:

$$q = f(T_V, T_S, u, C_C) \qquad (1)$$

Materiales y equipos

Se utiliza un equipo de evaporación con un intercambiador de calor de doble tubo de 6 m de longitud que puede ser armado según seis principios diferentes, permitiendo la comparación de los resultados obtenidos para los distintos casos.

En la Figura 1 se muestra un esquema a escala del evaporador en su configuración de circulación forzada ascendente.

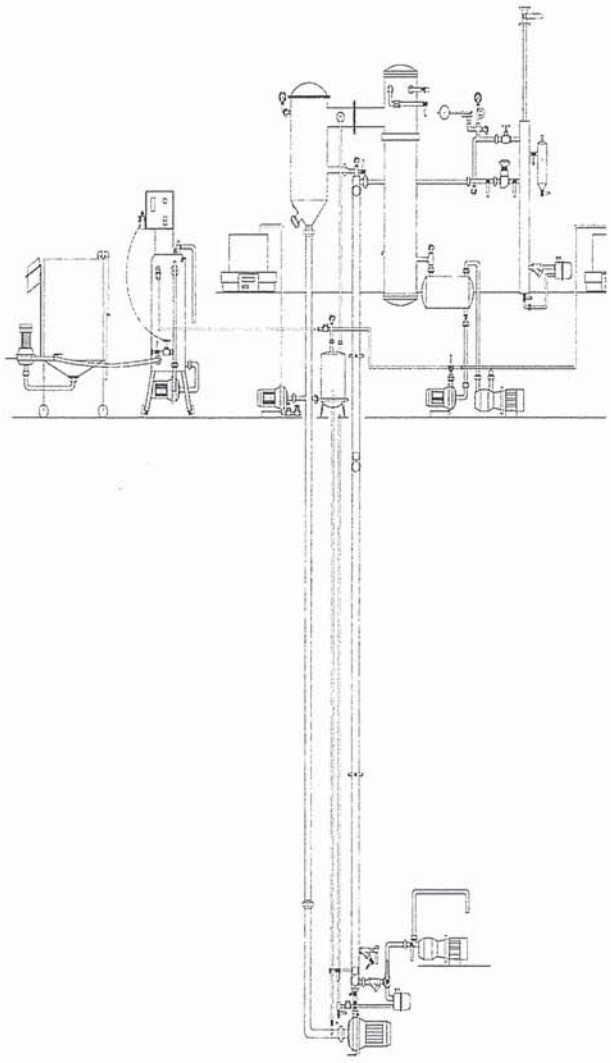


Figura 1. Esquema a escala del evaporador completo

En la figura 2 se muestra el Diagrama de cañerías e instrumentación (P&ID) del evaporador completo, donde se indican los parámetros que son leídos y/o registrados durante los ensayos.

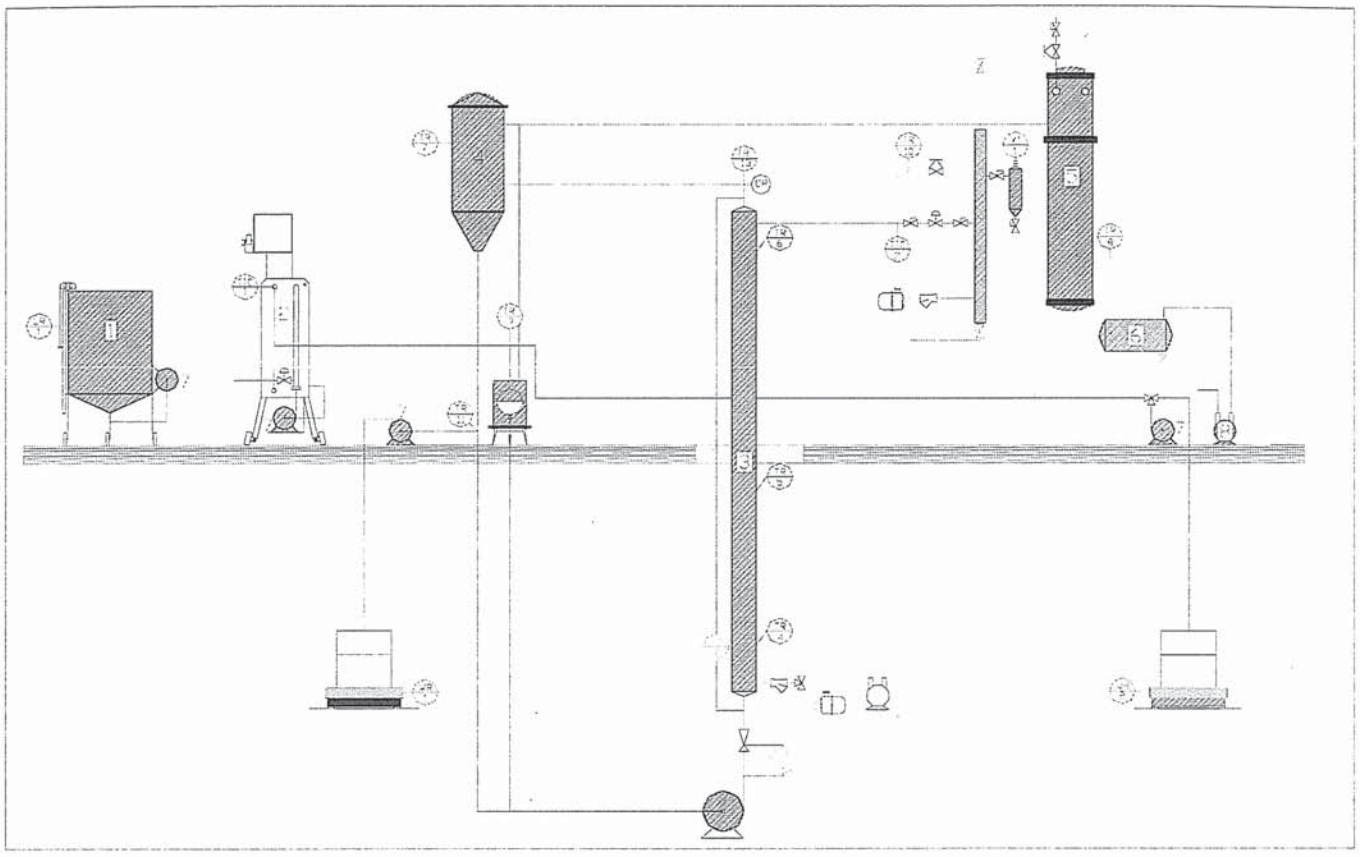


Figura 2. Diagrama de cañerías e instrumentación

Referencias

Equipos

1. Tanque de alimentación
2. Precalentador de placas
3. Intercambiador de calor de doble tubo
4. Separador ciclónico de vahos
5. Condensador
6. Pulmón de condensados
7. Bombas centrífugas
8. Bombas de vacío de anillo de agua

Variables registradas

TR: Registro de temperatura de:

4. Centro de tubo, parte superior
5. Vahos
6. Centro de tubo, parte inferior
7. Producto a la salida del precalentador
8. Salida de condensados
9. Vapor de caldera
10. Pared externa del tubo, parte central
11. Pared externa del tubo, parte central
12. Pared externa del tubo, parte inferior

TIC: Indicador - controlador de temperatura

1. Precalentador
2. Vapor de caldera

WR: Registro de peso

1. Peso concentrado
2. Peso condensado

Como antes se mencionará, el evaporador es armado y operado en la configuración de circulación forzada ascendente, manteniendo el tubo externo de intercambio de calor y experimentando con dos tubos internos de distintos diámetros, uno de 1" y el otro de 1¼", estudiando su influencia sobre la transferencia de calor.

El equipo se pone a punto con agua y luego se lo hace operar con soluciones diluidas de sacarosa.

Los datos son obtenidos utilizando un sistema de adquisición especialmente configurado para tal fin, TAS®, con el empleo del sistema SCADA, Supervisory - Control - And - Data – Acquisition que se traducen como: supervisión, control y adquisición de datos; siendo las tres partes básicas del sistema : el software SCADA, una computadora en la que se ejecuta dicho software y el equipamiento de campo que incluye sensores, controladores, actuadores, transmisores.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos obtenidos son luego volcados a una planilla electrónica EXCEL® donde son equiespaciados, recortándose aquellos correspondientes a los estados estacionarios; por corrida y por variable se toman 150 lecturas, obteniendo aproximadamente 45.000 datos, de los que se calcula la media y la desviación standard. Sobre estos se realizan los cálculos necesarios para los balances.

Finalmente, utilizando el programa comercial STATGRAPHICS se realiza una regresión múltiple partiendo de una expresión potencial de la forma:

$$y = b_0 . x_1^{b1} . x_2^{b2} .... x_n^{bn} \qquad (2)$$

El modelo obtenido para el flujo de calor en función de parámetros macroscópicos es:

$$q = 4{,}184 \left(\frac{T_V^{1/4} . C_C^{\,4} + 12 \left(d/D\right)^{19} . u^2}{t_V . u^2} \right)^{0.58 (d/D)^{4.1}} . (\Delta T)^{1.01 (d/D)^{1/2}} \qquad (3)$$

Los estadígrafos más importantes que permite caracterizar este modelo que relaciona el flujo de calor q con las variables macroscópicas seleccionadas, se resumen en la Tabla 2.

Tabla 2. Información de salida del sofware			
Variable dependiente: ln q			
Parámetro	Estimado	Error estándar	P_valu e
$\ln(Tv^{0.25}Cc^4 + 12(d/D)^{19}u^2)$	0.232902	0.113549	0.0449
ln (Tv. u^2)	-0.23290	0.045493	0.0000
ln (ΔT)	0.901042	0.087942	0.0000
R^2: 92.12			
R^2 aj.: 91,84			
D-W: 1.7			

En cuanto a la posibilidad de simplificar el modelo eliminando alguna variable se observa que el valor de Pvalue más alto en las variables independientes, es 0.0449 para $\ln(Tv^{0.25}*Cc^4+0.17*u^2)$, que es menor que 0.05, lo que indica que este término es estadísticamente significativo con un nivel de confianza del 95 %. Para los dos términos restantes el valor de P_value es inferior a 0.01, lo que implica que ambas variables son estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 99 %.

El valor de P en la tabla ANOVA es menor de 0,01 lo que revela que hay una relación estadísticamente significativa entre las variables con un nivel de confianza del 99%.

El valor de R^2 indica que el modelo, como fue ajustado, explica el 92.12 % de la variabilidad de ln q. El valor de R^2aj, más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 91.85 %.

El estadístico de Durbin-Watson evalúa si existe alguna correlación significativa entre los residuos. Al ser D-W = 1.694, mayor que 1.4, probablemente no haya una autocorrelación seria en los residuos.

La Ecuación 3 es directamente comparable con la expresión obtenida por [4] en estudios previos del evaporador para idénticas condiciones de operación, pero utilizando un tubo interno de 1" de diámetro. En aquel caso el modelo obtenido es el mostrado por la ecuación 4:

$$q = 4{,}184 . \left(\frac{T_V^{1/4} . c_C^4 + 12 . u^2}{T_V . u^2} \right)^{0{,}58} . \left(T_S - T_V\right) \qquad (4)$$

En la Ecuación 3, *d/D* es la relación entre diámetros para distintos tubos internos. Si en la Ecuación 3 se hace *d/D* = 1, se obtiene la Ecuación 4.

La Figura 3 muestra una gráfica de los valores predichos por el modelo propuesto en función de los calculados por balances (observados).

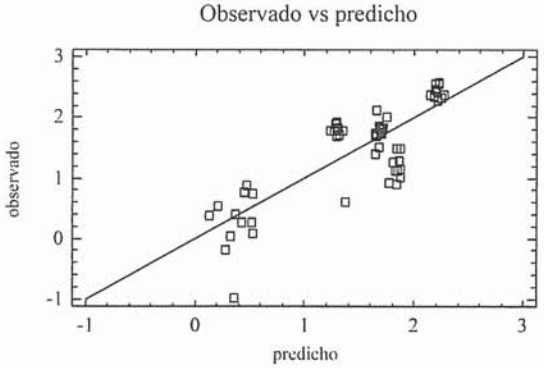


Figura 3. Valores observados vs predicho

La Figura 4 muestra el flujo de calor en kcal/h.m^2 calculado con el modelo obtenido y con dos ecuaciones de referencia: la de Fraguen-Badger y la de Dittus–Boelter modificada para evaporadores de circulación forzada.

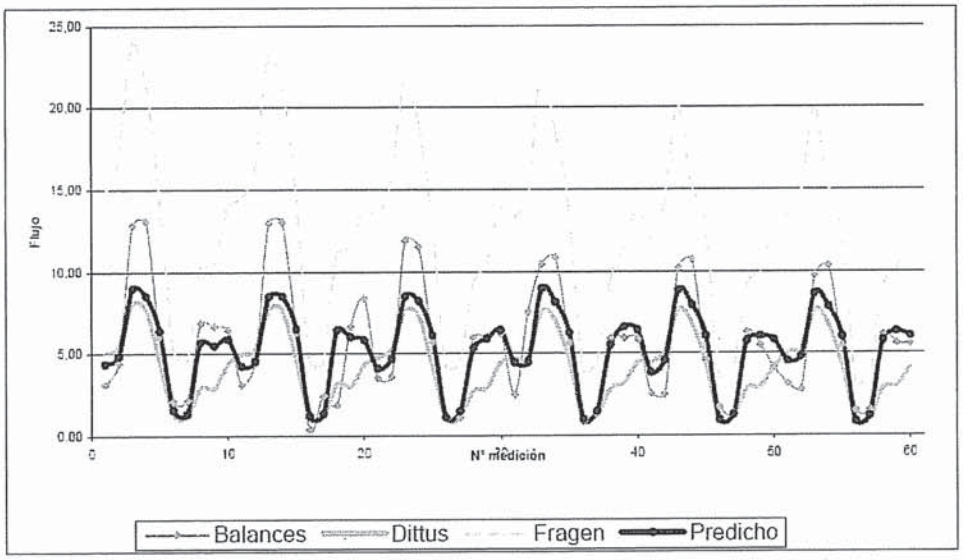


Figura 4. Comparación de flujos obtenidos por distintos modelos

La Figura 5 muestra los residuos Studentizados frente a los valores predichos

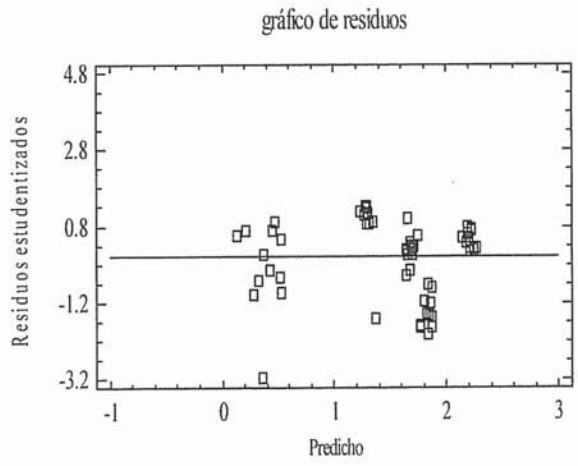


Figura 5.- Residuos Studentizados vs Valores Predichos

5 CONCLUSIONES

1.- Se seleccionaron las variables en base a consideraciones teóricas, y se verificó si eran estadísticamente significativas al obtener la ecuación.

2.- Se redujeron todas aquellas propiedades que podían expresarse en función de otras variables intensivas, independientes y macroscópicas.

3.- Se obtuvo un modelo sencillo que da cuenta en gran medida de la variabilidad de la información experimental obtenida, utilizando parámetros macroscópicos de fácil medición.

4.- La ecuación de Dittus – Boelter, ampliamente probada, predice valores muy cercanos a los obtenidos por el modelo propuesto. En el caso de la expresión de Fragen – Badger, que es más sencilla en si misma, se deduce que si bien sigue la forma de las curvas obtenidas al calcular el flujo de calor por balance y por los modelos, los valores obtenidos son marcadamente más elevados.

5.- El modelo muestra, respecto a estudios previos, la influencia del diámetro de tubo interno al flujo de calor.
6.- El ajuste logrado manifiesta ser mejor cuanto mayor es la concentración de la solución en el evaporador.

6 REFERENCIAS

[1] Chen, J. C., Correlation for boiling heat transfer to saturated fluids in convective flow, I&EC Process Design and Development, Vol. 5 Nª 3, 1966.

[2] Cao, E., Correlaciones para diseño de reboilers del tipo kettle, Procesos, Marzo 10-18, 1995.

[3] Rubio, L. et al., Una nueva mirada a los fenómenos de transferencia: aplicación al caso de evaporadores. IV Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos (CIBIA IV) Viña del Mar (Chile), 26–30/ 09, 2003

[4] Chernikoff, R., "Diseño, construcción y evaluación experimental de un evaporador", Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España, 2004

Evaluación de la habitabilidad en viviendas de interés social

N. F. Pizarro, N. G. Maldonado & R. J. Michelini

ceredetec@frm.utn.edu.ar
Centro Regional de Desarrollos Tecnológicos para la Construcción, Sismología e Ingeniería Sísmica (CeReDeTeC), Facultad Regional Mendoza,Universidad Tecnológica Nacional.

RESUMEN: en este trabajo se realiza la evaluación de parámetros de habitabilidad para una vivienda de interés social diseñada para el caso fortuito de una catástrofe, como puede ser un terremoto, para la que sea necesario brindar una solución inmediata a la problemática habitacional posterior a tal evento, con la particularidad de que ésta no sólo brinde una solución momentánea sino que también tenga la vida útil apropiada para cumplir con los requisitos que establece la Subsecretaría de Vivienda de la Nación. La vivienda crece modularmente satisfaciendo en una primera instancia las necesidades básicas en caso de emergencia para luego ir aumentando superficie y brindando los servicios de una vivienda tipo. Debido a esta premisa de trabajo, los locales habitables estarán expuestos de diferentes formas a las condiciones climáticas, en función del desarrollo modular de la vivienda. Se realiza el análisis del panel prefabricado que se utilizará para la vivienda, estudiando las distintas condiciones de habitabilidad en función del crecimiento de la misma y se compara con una vivienda emplazada en las mismas condiciones con construcción tradicional de mampostería cerámica para evaluar el consumo energético para su calefacción.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 *Marco de referencia*

La evaluación de la habitabilidad de viviendas de interés social es parte del proyecto de investigación y desarrollo denominado "Evaluación, construcción y habilitación Prototipo de vivienda VIS05-07". La condición de zona expuesta a riesgo sísmico también es determinante en esta evaluación.

Los problemas de patologías detectados en viviendas de interés social alertan sobre la necesidad de considerar también a la habitabilidad como un factor importante en el diseño y construcción de viviendas. Las reglamentaciones aplicadas a viviendas no son suficientes para asegurar una vida útil compatible con el mantenimiento y uso, ya que solo incluyen conceptos de diseño estructural como prioritarias y en forma indirecta, los aspectos de durabilidad y de habitabilidad. En el año 2000, la Subsecretaría de Vivienda de la Nación estableció los "Estándares mínimos de calidad para viviendas de interés social" [1] que requieren una vida útil mínima de 30 años para estas construcciones.

En este trabajo se analizan los parámetros más significativos de la habitabilidad en el diseño y para los materiales utilizados en la construcción en viviendas de interés social para las soluciones habitacionales tradicionales comparados con un sistema constructivo no tradicional, prefabricado e industrializado, propuesto como cerramiento en este proyecto, demostrando que el ahorro en los materiales tradicionales trae aparejada una disminución de la calidad higrotérmica y energética de la vivienda.

1.2 *Requisitos mínimos de calidad.*

La Disposición N° 18 de la Subsecretaría de Vivienda de la Nación [1] establece los requisitos mínimos para viviendas de interés social como

resultado de la inconveniencia de realizar obras de mala calidad donde a los pocos años el Estado se ve obligado a utilizar sus recursos, siempre escasos, para repararlas o reemplazarlas.
Dentro de estos requisitos se destaca el de la habitabilidad, con los que se pretende lograr condiciones mínimas de confort tanto en verano como en invierno, evitar la condensación superficial e intersticial en muros y techos, asegurar condiciones mínimas de iluminación, ventilación y asoleamiento, extremar los recaudos para que no se produzca ingreso de humedad desde el exterior a través de muros, techos y aberturas y obtener una privacidad acústica aceptable entre viviendas o entre éstas y los espacios comunes.

1.3 *Habitabilidad y vivienda social*

En lo que respecta a habitabilidad es imprescindible que la sociedad tome conciencia de su importancia. El concepto de uso racional de la energía y de desarrollo sustentable ha ido en aumento en las escuelas de arquitectura de nuestro país, pero ha demorado demasiado en alcanzar otras profesiones responsables del diseño y construcción de edificios [2]. Los códigos de edificación no son suficientes para lograr una sustentabilidad natural de la construcción, lo que genera contaminación ambiental y costos de funcionamiento (efecto de la isla de calor en las ciudades, aumento de la temperatura de termómetro globo, efectos de la desforestación, etc.), a diferencia de lo sucedido en países desarrollados.

2 METODOLOGÍA DE TRABAJO

2.1 *Descripción general*

En este trabajo se presenta la evaluación técnica de los dos sistemas constructivos de viviendas de interés social desde el punto de vista de algunas características de la habitabilidad.
El sistema denominado "tradicional" corresponde a una construcción con mampostería de ladrillón para los cerramientos verticales, hormigón armado para fundaciones, columnas y vigas de encadenado y una estructura de madera y tejas cerámicas para cubierta liviana o bien losas alivianadas de hormigón armado para techo.
Por otro lado se analiza el sistema constructivo no tradicional, prefabricado e industrializado, que posee bases prefabricadas de hormigón armado, columnas y vigas metálicas, cerramientos livianos con placas prefabricadas y cubierta, también prefabricada, de estructura mixta, hormigón armado y estructura metálica, con sus correspondientes aislaciones [3].

2.2 *Diseño*

El diseño que se analiza está propuesto en un crecimiento modular, donde el primer módulo se denomina "Módulo de la Emergencia Sísmica" (MES) (Fig. 1) y al ir incorporándose nuevos módulos de ampliaciones se alcanza al finalizar el diseño de la vivienda completa (Fig. 2).

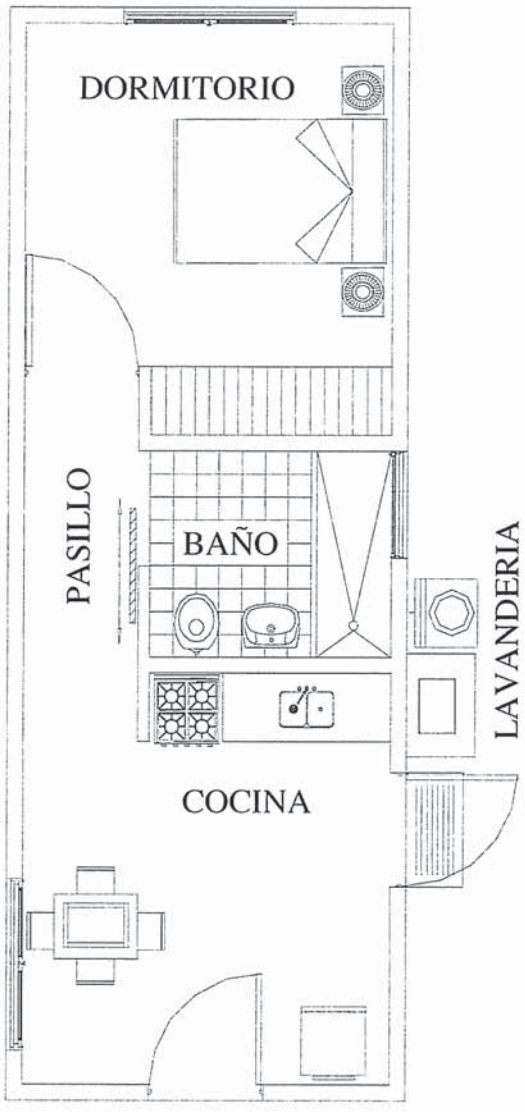


Figura 1: Diseño del MES

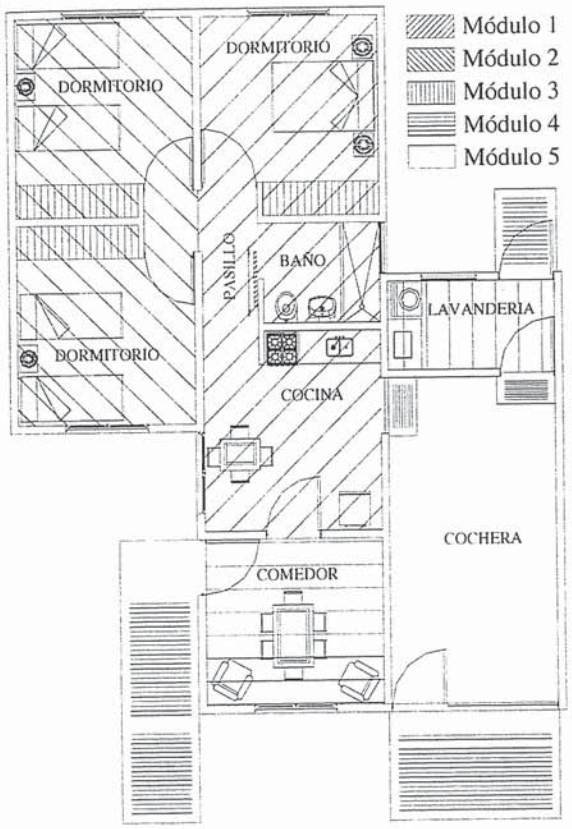


Figura 2: Diseño de la vivienda completa y crecimiento modular

2.3 *Verificaciones según normativa*

Primero se realiza la verificación de la condensación superficial e intersticial del panel diseñado para la vivienda, denominado "panel VIS" según normas IRAM 11625 y 11630 [4], luego se calcula la cantidad de calor necesaria para calefaccionar la vivienda en su crecimiento modular y para distintas orientaciones de la misma según norma IRAM 11604 [4], y se comparan los resultados con una vivienda de idéntico diseño arquitectónico pero construida en forma tradicional, evaluando distintos tamaños del mampuesto utilizado (ladrillón) y con distintas disposiciones y tamaño de los revoques.

3 RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 *Determinación del coeficiente de transmitancia térmica*

El "panel VIS" estudiado presenta seis secciones diferentes por donde puede circular el calor. Para determinar el coeficiente de transmitancia térmica K, se analizó cada una de ellas y se calculó su participación según el área que ocupa cada una en la totalidad del panel. El esquema del panel se presenta en (Fig. 3) y las secciones características están entre la (Fig. 4) y la (Fig. 8), detallando su composición en las referencias de la Tabla 1. El panel está compuesto de una estructura metálica resistente, con placas cementicias en ambas caras externas y un alma que conforma el aislamiento térmico, compuesto por poliuretano inyectado, cámara de aire y lana de vidrio.

Se analiza primero que la estructura metálica posea cámara de aire sin ventilación (sin ningún tipo de relleno) y luego la opción de la incorporación de relleno con poliuretano y con hormigón.

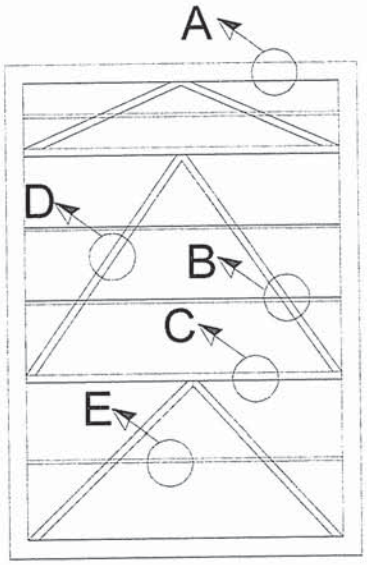


Figura 3: Esquema del panel VIS – Secciones de análisis

Para el caso de la sección A del panel VIS se lo considera directamente con relleno ya que como se verá en 3.2, si no posee relleno no verifica la condición de condensación intersticial.

En la Tabla 2 se presentan los valores de los coeficientes K obtenidos para las distintas secciones. De acuerdo a los resultados, el coeficiente ponderado del "panel VIS" es de 0.48 W / m^2 K, valor que cumple con los requerimientos de la clasificación bioambiental correspondiente a toda la provincia de Mendoza según norma IRAM 11603 [4].

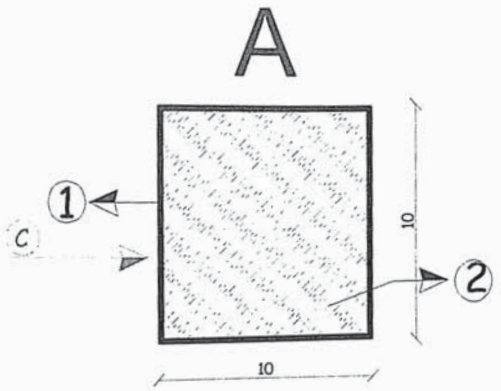


Figura 4: Sección A del panel VIS en cm

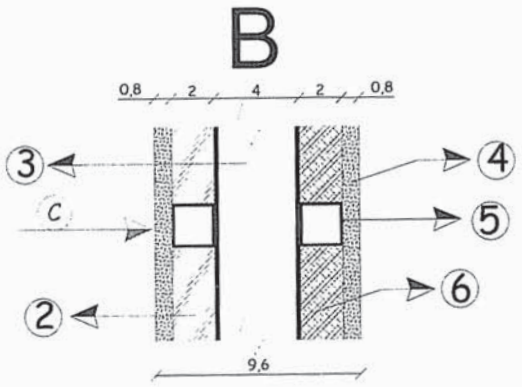


Figura 5: Sección B del panel VIS en cm

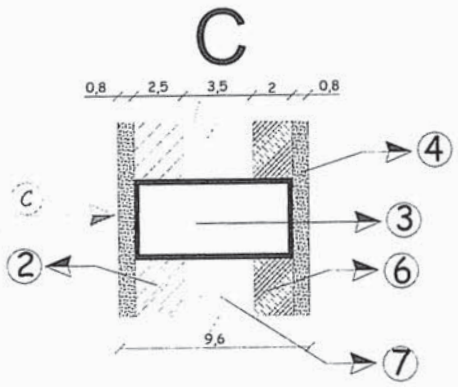


Figura 6: Sección C del panel VIS en cm

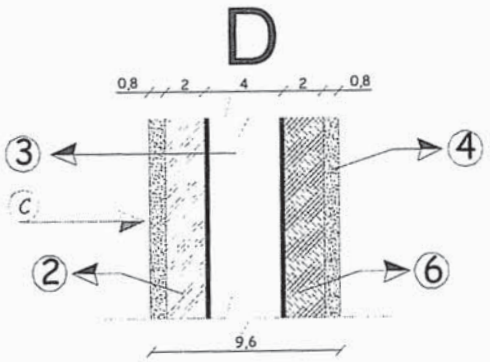


Figura 7: Sección D del panel VIS en cm

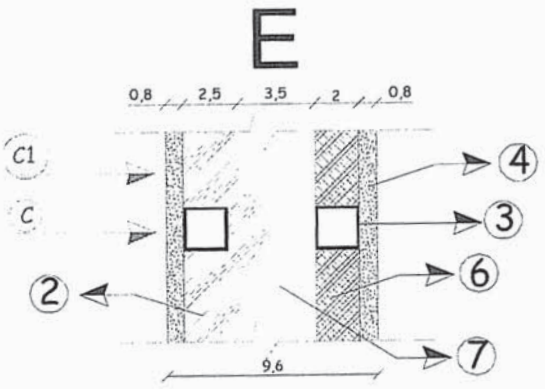


Figura 8: Sección E del panel VIS en cm

Tabla 1: Referencias de Fig. 4 a Fig. 8

Referencia	Descripción
1	Caño estructural 100 x 100 x 2 mm
2	Poliuretano 20 mm
3	Caño estructural 40 x 80 x 2 mm
4	Placa cementicias de 8 mm
5	Caño estructural 20 x 20 x 2 mm
6	Lana de vidrio de 20 mm
7	Cámara de aire 35 mm variable

Tabla 2: Valores del coeficiente K del panel VIS

Sección	K [W / m^2 K]
A	1,77
B	0,79
C	1,87
D	0,52
E	0,36

En segunda instancia se calcula el coeficiente K de la mampostería construida con ladrillón para distintas dimensiones de los mampuestos y para espesores variables de revoques. Las dimensiones estudiadas para los mampuestos se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3: Dimensiones de los diferentes tamaños de mampuestos analizados

Largo [cm]	Ancho [cm]	Espesor [cm]
28,0	18,0	8,0
27,0	17,0	7,0
26,5	16,5	6,5
26,0	16,0	6,0

Las alternativas de ubicación de los revoques, en cuanto a su disposición, espesores y al mortero de asiento se presentan en la Tabla 4 y se grafica en Fig. 9. y su análisis se debe a que con la intención de disminuir costos se deja el ladrillo visto, tanto al exterior como al interior, lo que provoca problemas de condensación y afecta la durabilidad [2].

Tabla 4: Disposición de revoques y espesores

Disposición del revoque	Espesor [cm]
Sin revoque	0
En una cara interior	1,5
En las dos caras	1,5
En una cara interior	2,0
En las dos caras	2,0

Los resultados obtenidos se grafican y se comparan en la Fig. 10, variando los valores del coeficiente K entre 2,40 W / m² K y 2,83 W / m² K, siendo la diferencia menor del 20 % entre las condiciones extremas analizadas. Si se lo compara con el valor obtenido para el "panel VIS", éste es el 20 % mejor de la condición más favorable de las distintas disposiciones de mampostería estudiadas.

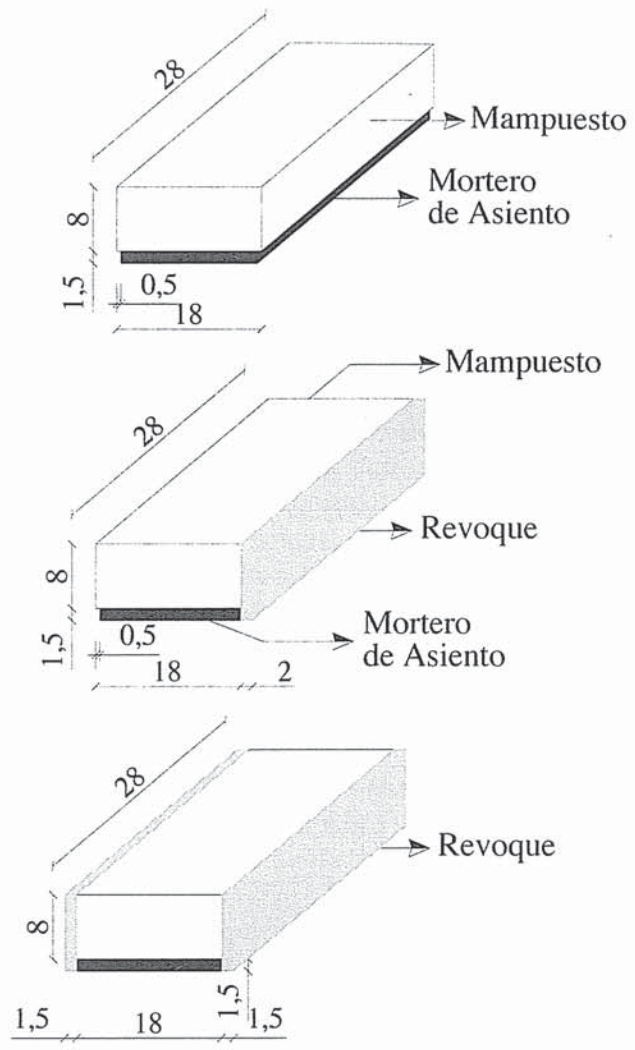


Figura 9: Disposición de revoques y mortero de asiento en la mampostería analizada en cm.

3.2 *Condensación Superficial*

El análisis de condensación superficial para las diferentes secciones transversales que componen el "panel VIS" indica que no existe ningún tipo de riesgo que esta problemática ocurra, en el diseño utilizado como se presenta en la Tabla 5.

3.3 *Condensación Intersticial.*

Las secciones del "panel VIS" presentan riesgo de condensación intersticial en todos los casos considerando el interior de los perfiles estructurales como cámaras de aire cerradas, por tal motivo todos los perfiles metálicos deben ser rellenados con poliuretano o con hormigón. En tales casos no se corre ningún riesgo de que ocurra este tipo de problema obteniendo así una propuesta

económicamente aceptable vista desde la óptica de la vida útil de la construcción.

3.4 *Balance térmico de invierno*

Para el desarrollo del balance térmico de invierno se ha considerado para la ciudad de Mendoza y sus alrededores un $\Delta t = 21$ °C, una velocidad del viento de 16 km / h y las carpinterías de cerramientos según la categoría "puerta correcta con burlete" y "ventana normal con burlete". El análisis se ha desarrollado para distintas orientaciones de la vivienda y para su crecimiento modular, comparando la construcción del tipo tradicional con las distintas combinaciones de mampostería descriptas en el apartado 3.1.
En la Fig. 11 se presentan los valores y la comparación de los resultados obtenidos del balance térmico para la vivienda completa con la fachada orientada hacia el Norte para las distintas opciones analizadas.
De los resultados obtenidos se observa que la utilización del "panel VIS" con respecto a la mejor opción de mampostería tradicional da un ahorro de energía del 64.41 %. Cabe mencionar que al variar la orientación de la fachada los resultados no varían en forma apreciable, donde, comparándolos con la orientación Sur, la variación para cualesquiera de las tipología analizadas no supera el 1,5 % entre ellas.

4 CONCLUSIONES

4.1 *De los cerramientos*

Las propiedades térmicas del "panel VIS", estudiado en este trabajo, superan ampliamente la efectividad respecto a muros de construcción tradicional con mampuestos de la zona. Cumple satisfactoriamente con los requerimientos de las normas IRAM respecto a los valores de K máximos correspondientes con la clasificación bioambiental que corresponde a toda la Provincia de Mendoza y verifica las condiciones de condensación intersticial y superficial.

4.2 *De la vivienda*

El uso del "panel VIS" estudiado disminuye el consumo energético necesario para calefaccionar la unidad habitacional respecto a la construcción tradicional, lo que implica un ahorro importante para los usuarios.

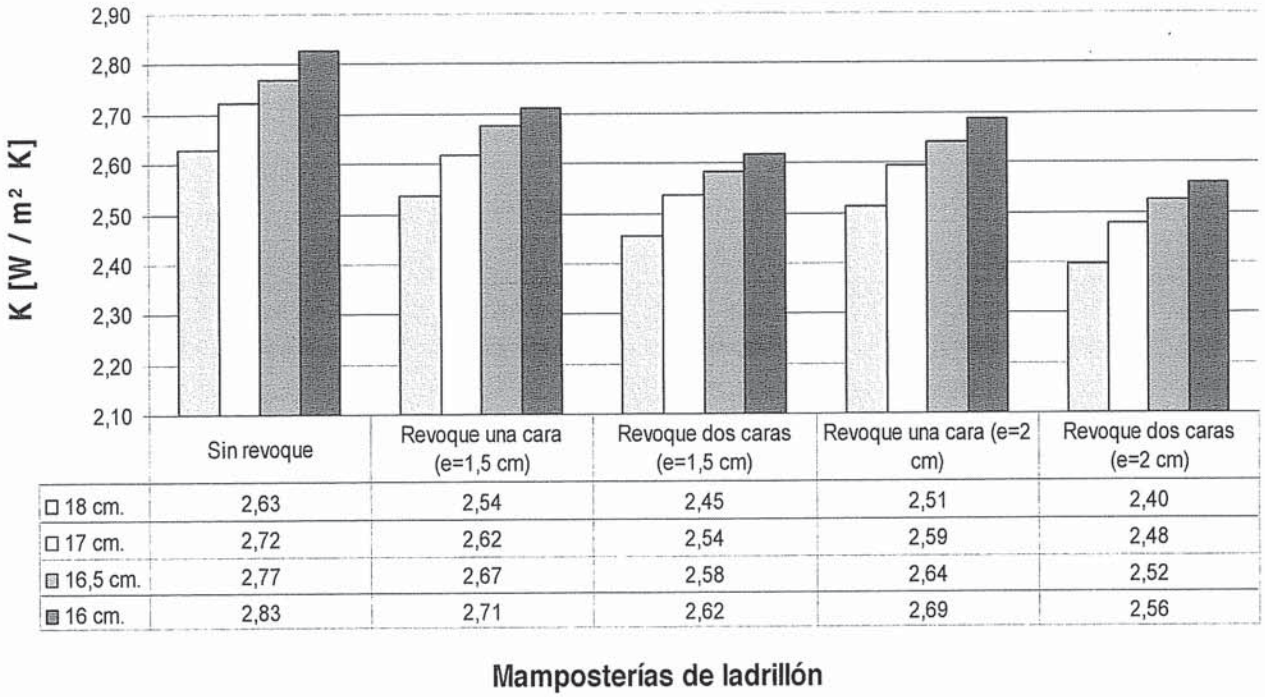
5 REFERENCIAS

[1] Subsecretaría de Vivienda de la Nación. Disposición N° 18 para el Plan Federal de Infraestructura y Vivienda, Argentina, 2000.

[2] N.G. Maldonado et al. Evaluación de la importancia de la habitabilidad en en viviendas de interés social en una zona de elevado riesgo sísmico. Memorias VIII Congreso Latinoamericano de Patología de la Construcción y X Congreso de Control de Calidad. v1. Asunción de Paraguay.2005.

[3] N.F.Pizarro, R.J.Michelini y N.G.Maldonado. Vivienda de interés social, con aplicación para la emergencia sísmica, utilizando un sistema constructivo innovador. Proyecto VIS. UTN. FAC. REG. MZA. 01C. Memorias II Simposio La Vivienda en la Sociedad de Hoy. 2004.

[4] Instituto Argentino de Normalización. Catálogo Normas IRAM. 2006.

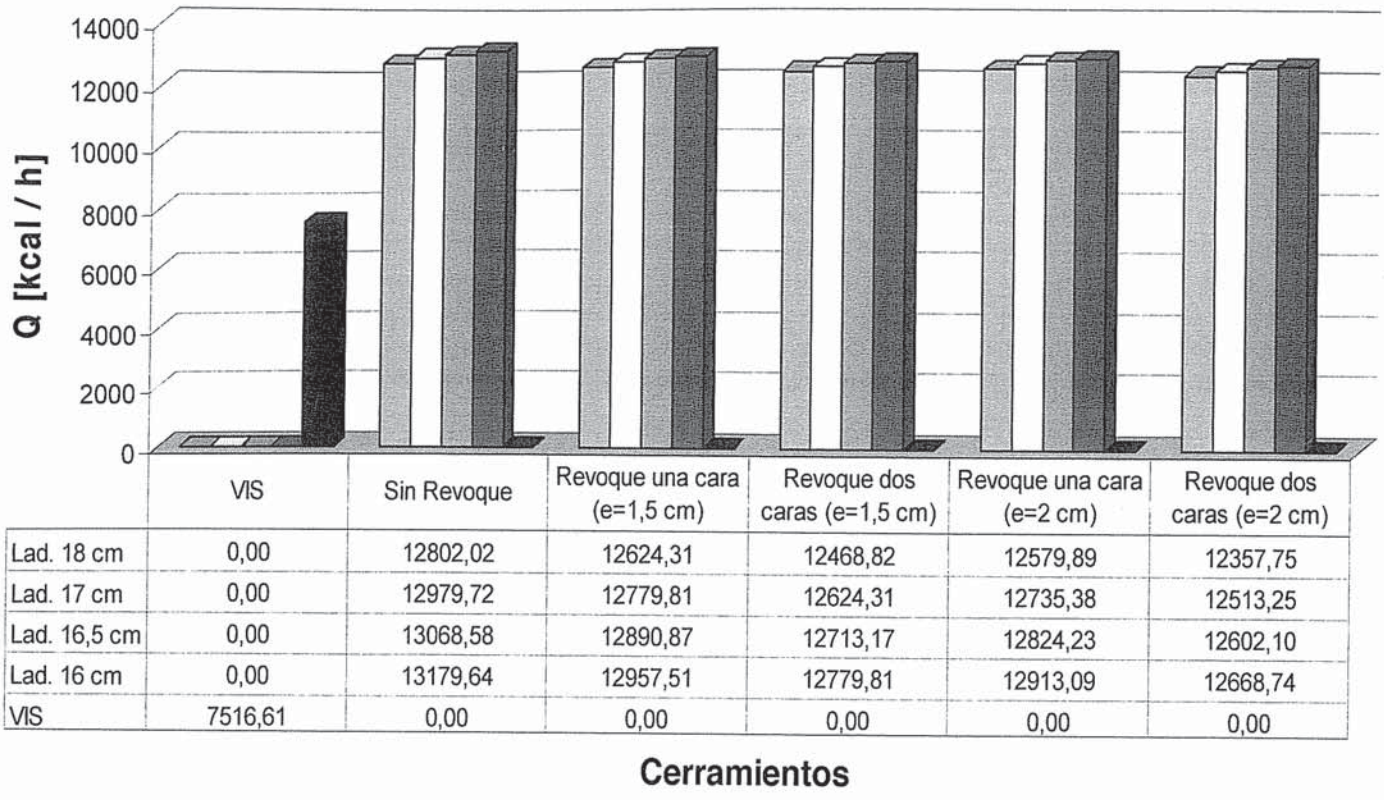


	Sin revoque	Revoque una cara (e=1,5 cm)	Revoque dos caras (e=1,5 cm)	Revoque una cara (e=2 cm)	Revoque dos caras (e=2 cm)
18 cm.	2,63	2,54	2,45	2,51	2,40
17 cm.	2,72	2,62	2,54	2,59	2,48
16,5 cm.	2,77	2,67	2,58	2,64	2,52
16 cm.	2,83	2,71	2,62	2,69	2,56

Figura 10: Valores y variación del coeficiente K para las mampostería analizadas

Tabla 5: Resultados de la verificación de la condensación superficial según norma IRAM 11625 [4]

Conducción - Figura - Sección	Rsi [m^2 K/w]	R [m^2 K/w]	TR [°C]	qi [°C]	T rocio Aire int. [°C]	Condición
Panel VIS (K con caño vacío)	0,17	1,530	2,03	15,97	12,5	Verifica
Panel VIS (K con caño con poliuretano)	0,17	2,446	1,27	16,73	12,5	Verifica
Detalles						
C - Figura 6 - Sección E	0,17	1,255	2,48	15,52	12,5	Verifica
C - Figura 8 - Sección D	0,17	1,924	1,62	16,38	12,5	Verifica
C - Figura 7 - Sección C	0,17	0,535	5,81	12,19	12,5	Verifica
C - Figura 9 - Sección E	0,17	2,792	1,11	16,89	12,5	Verifica
C - Figura 9 - Sección E	0,17	2,152	1,45	16,55	12,5	Verifica
C - Figura 5 - Sección A sin poliuretano	0,17	0,566	5,50	12,50	12,5	Limite
C - Figura 5 - Sección A con poliuretano	0,17	4,574	0,68	17,32	12,5	Verifica



	VIS	Sin Revoque	Revoque una cara (e=1,5 cm)	Revoque dos caras (e=1,5 cm)	Revoque una cara (e=2 cm)	Revoque dos caras (e=2 cm)
Lad. 18 cm	0,00	12802,02	12624,31	12468,82	12579,89	12357,75
Lad. 17 cm	0,00	12979,72	12779,81	12624,31	12735,38	12513,25
Lad. 16,5 cm	0,00	13068,58	12890,87	12713,17	12824,23	12602,10
Lad. 16 cm	0,00	13179,64	12957,51	12779,81	12913,09	12668,74
VIS	7516,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Cerramientos

Figura 11: Balance térmico de invierno de la vivienda completa para las mamposterías estudiadas y para el panel VIS. Orientación de la fachada al Norte.

Análisis de deformación espacio-temporal de Mendoza mediante interferometría SAR diferencial: primeros resultados obtenidos con datos ENVISAT

P.A. Euillades & M.H. Blanco

peuillades@uncu.edu.ar & mblanco@uncu.edu.ar
CONICET, Instituto CEDIAC, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo

L.D. Euillades & G.A. Cabrera

leuillades@cediac.uncu.edu.ar & gcabrera@cediac.uncu.edu.ar
Instituto CEDIAC, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo

F. Casu

casu.f@irea.cnr.it
Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente(IREA),CNR, Italia

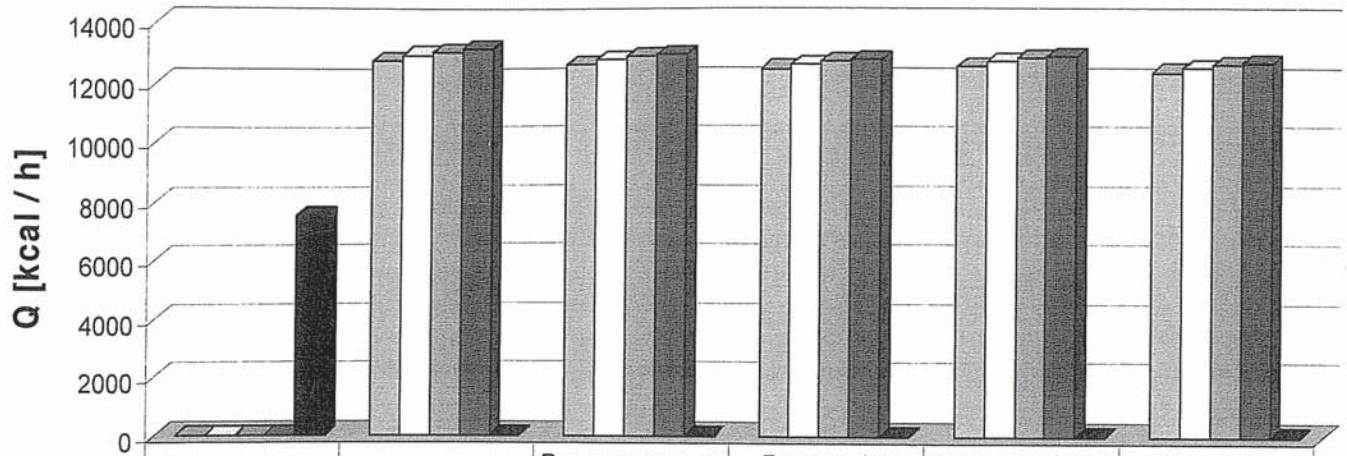
A. Pepe

pepe.a@irea.cnr.it
Università degli Studi di Napoli Federico II, Dipartimento di Ingegneria Elettronica e delle Telecomunicazioni, Napoli, Italia

RESUMEN: en este trabajo se presentan los primeros resultados obtenidos mediante procesamiento interferométrico diferencial de imágenes de radar del área Mendoza adquiridas por el satélite ENVISAT. El área procesada abarca a la ciudad de Mendoza y alrededores, con una extensión aproximada de 100x100km. La técnica utilizada se denomina SBAS y permite la construcción de series temporales de deformación. Como resultado se muestra la serie de interferogramas calculados y se realiza un análisis de los mismos. Se identifican dos áreas de potencial deformación. Finalmente, se concluye que es necesario un mayor número de imágenes que permitan confirmar las tendencias evidenciadas en los resultados y se plantean los lineamientos generales para el trabajo futuro.

1 INTRODUCCIÓN

El advenimiento de la tecnología de radar de apertura sintética (SAR) ha tenido como consecuencia el desarrollo de aplicaciones revolucionarias en el campo de la percepción remota. Una de ellas es la técnica denominada interferometría diferencial (DInSAR)[1], que permite medir movimientos de la superficie terrestre del orden de algunos centímetros, o aún milímetros, con una cobertura espacial muy amplia. La misma contrasta y complementa a otras tecnologías, tales como GPS diferencial o nivelación [2], que permiten realizar mediciones de la misma naturaleza, pero en



	VIS	Sin Revoque	Revoque una cara (e=1,5 cm)	Revoque dos caras (e=1,5 cm)	Revoque una cara (e=2 cm)	Revoque dos caras (e=2 cm)
Lad. 18 cm	0,00	12802,02	12624,31	12468,82	12579,89	12357,75
Lad. 17 cm	0,00	12979,72	12779,81	12624,31	12735,38	12513,25
Lad. 16,5 cm	0,00	13068,58	12890,87	12713,17	12824,23	12602,10
Lad. 16 cm	0,00	13179,64	12957,51	12779,81	12913,09	12668,74
VIS	7516,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Cerramientos

Figura 11: Balance térmico de invierno de la vivienda completa para las mamposterías estudiadas y para el panel VIS. Orientación de la fachada al Norte.

Análisis de deformación espacio-temporal de Mendoza mediante interferometría SAR diferencial: primeros resultados obtenidos con datos ENVISAT

P.A. Euillades & M.H. Blanco
peuillades@uncu.edu.ar & mblanco@uncu.edu.ar
CONICET, Instituto CEDIAC, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo

L.D. Euillades & G.A. Cabrera
leuillades@cediac.uncu.edu.ar & gcabrera@cediac.uncu.edu.ar
Instituto CEDIAC, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo

F. Casu
casu.f@irea.cnr.it
Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente(IREA),CNR, Italia

A. Pepe
pepe.a@irea.cnr.it
Università degli Studi di Napoli Federico II, Dipartimento di Ingegneria Elettronica e delle Telecomunicazioni, Napoli, Italia

RESUMEN: en este trabajo se presentan los primeros resultados obtenidos mediante procesamiento interferométrico diferencial de imágenes de radar del área Mendoza adquiridas por el satélite ENVISAT. El área procesada abarca a la ciudad de Mendoza y alrededores, con una extensión aproximada de 100x100km. La técnica utilizada se denomina SBAS y permite la construcción de series temporales de deformación. Como resultado se muestra la serie de interferogramas calculados y se realiza un análisis de los mismos. Se identifican dos áreas de potencial deformación. Finalmente, se concluye que es necesario un mayor número de imágenes que permitan confirmar las tendencias evidenciadas en los resultados y se plantean los lineamientos generales para el trabajo futuro.

1 INTRODUCCIÓN

El advenimiento de la tecnología de radar de apertura sintética (SAR) ha tenido como consecuencia el desarrollo de aplicaciones revolucionarias en el campo de la percepción remota. Una de ellas es la técnica denominada interferometría diferencial (DInSAR)[1], que permite medir movimientos de la superficie terrestre del orden de algunos centímetros, o aún milímetros, con una cobertura espacial muy amplia. La misma contrasta y complementa a otras tecnologías, tales como GPS diferencial o nivelación [2], que permiten realizar mediciones de la misma naturaleza, pero en

forma puntual. Así, es posible estudiar con un nivel de detalle sin precedentes deformación producida por tectónica activa, bombeo de fluidos del subsuelo, deformación relacionada con vulcanismo y consecuencias de la intervención humana, tales como minería, construcción de subterráneos, etc.[3]

El SAR es un instrumento que ilumina la superficie terrestre con 'luz' coherente en el rango de las microondas, y registra los ecos reflejados. De esta manera, una imagen SAR contiene información de amplitud, que es en cierta medida similar a una imagen óptica, e información de fase, que está directamente relacionada con la distancia sensor-tierra, con la propagación de la energía EM a través de la atmósfera y con las características del terreno iluminado. La fase es la información que interesa para aplicar DInSAR.

Sucintamente, la técnica se basa en calcular la diferencia de fase entre dos imágenes adquiridas en momentos distintos. Al producto se lo denomina interferograma y contiene componentes de fase directamente relacionada con la topografía, con las diferencias en la propagación (por cambios en las variables atmosféricas), con deformación coherente de la superficie terrestre y con cambios en el interior de la celda de resolución [4-6]. El objetivo de DInSAR es aislar la componente relacionada con deformación, que es denominada fase diferencial. Para ello, la componente topográfica es eliminada mediante la utilización de un Modelo Digital de Elevación (MDE)[7]. Los cambios en el interior de la celda de resolución producen decorrelación (ruido), que si supera un nivel aceptable torna inservible el dato[6]. La componente atmosférica es algo más difícil de evaluar, y normalmente se requiere de varios interferogramas, realizados con imágenes de distintas fechas, para estimarla. Una vez filtrada, la fase diferencial puede ser fácilmente transformada en desplazamiento mediante un cambio de escala.

La dificultad para resolver el fenómeno de decorrelación y las componentes atmosféricas ha conducido en los últimos años al desarrollo de técnicas que, a partir de grandes volúmenes de imágenes, permiten obtener series temporales de deformación confiables. De ellas, las más conocidas son SBAS (por Small Baseline Subsets)[8] y PS (por Permanent Scatterers)[9]

En el presente trabajo se trata la aplicación de SBAS a un conjunto de imágenes de la ciudad de Mendoza y alrededores. Algunos trabajos previos sobre el área pueden verse en [10].

2 ÁREA DE INTERÉS Y DATASET

2.1 *Área de interés*

El área de interés se ubica entre las coordenadas 32°36'S a 33°25'S y 68°24'W a 69°12'W. Está centrada en la ciudad de Mendoza e incluye varios núcleos poblacionales, a saber: Mendoza y Gran Mendoza, Luján, Maipú, Palmira, San Martín, Junín y Rivadavia. También comprende los embalses El Carrizal y Potrerillos, este último de reciente construcción, el yacimiento de petróleo Barrancas y la zona pedemontana. Gran parte de las tierras de uso agrícola ubicadas en los departamentos de Las Heras, Maipú, Luján, Junín, Rivadavia y San Martín se hallan también incluidas. La Figura 1 muestra el área de interés y la división política departamental correspondiente.

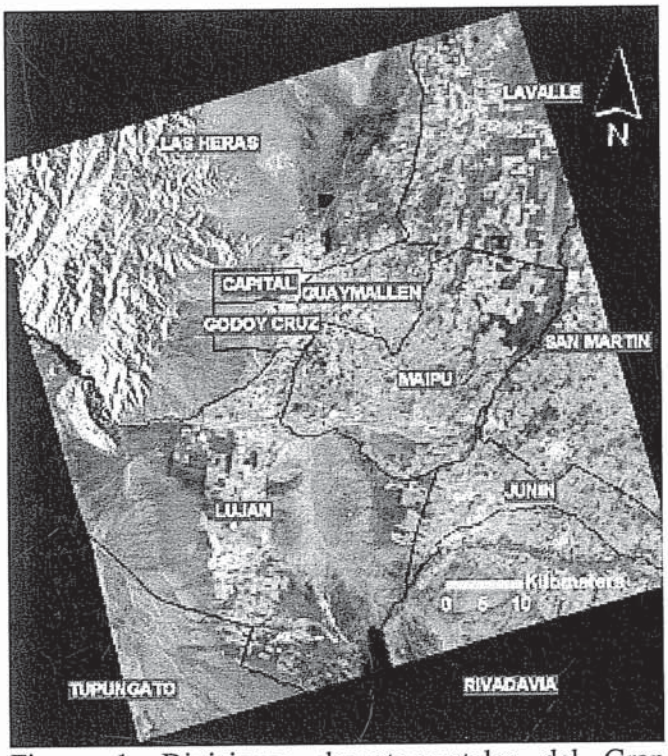


Figura 1. Divisiones departamentales del Gran Mendoza sobre una imagen SAR multilook del área de interés.

Fisiográficamente, el AOI presenta características montañosas. La esquina noroeste es francamente escarpada y corresponde a la precordillera mendocina. La zona de Barrancas presenta elevaciones del orden de los 1200m. Las áreas dedicadas al cultivo son principalmente llanas. El clima de la región es semiárido, con escasa vegetación en las áreas de secano. La superficie irrigada, en cambio, presenta plantaciones de vid, chacra y algunos frutales. Desde el punto de vista de

la técnica a aplicar, salvo en las áreas cultivadas, las características del terreno minimizan la ocurrencia de decorrelación temporal y por lo tanto la hacen propicia para su aplicación.

2.2 *Conjunto de imágenes*

Se utilizó un conjunto de 11 imágenes adquiridas por el satélite europeo ENVISAT, mediante el sensor ASAR, que es un radar de apertura sintética, funcionando en el modo denominado IS4 [11], en pasada ascendente. Este modo de operación, debido al ángulo de visión lateral de ~36°, permite obtener imágenes con menor distorsión por topografía. Las imágenes fueron tomadas a partir de enero de 2005, cubriendo un lapso de 1 año, y son parte de un dataset de mayor envergadura que está actualmente siendo aquirido.

2.3 *Estaciones GPS*

Dentro del área de estudio se encuentran distribuidas una serie de Estaciones Permanentes (EP) GPS y Estaciones Survey (ES) GPS (Fig.2) que permitirán en un futuro realizar la validación de los resultados. En la Tabla 1 se muestran las principales características de las EP, es decir nombre, ubicación y proyecto al cual pertenece.

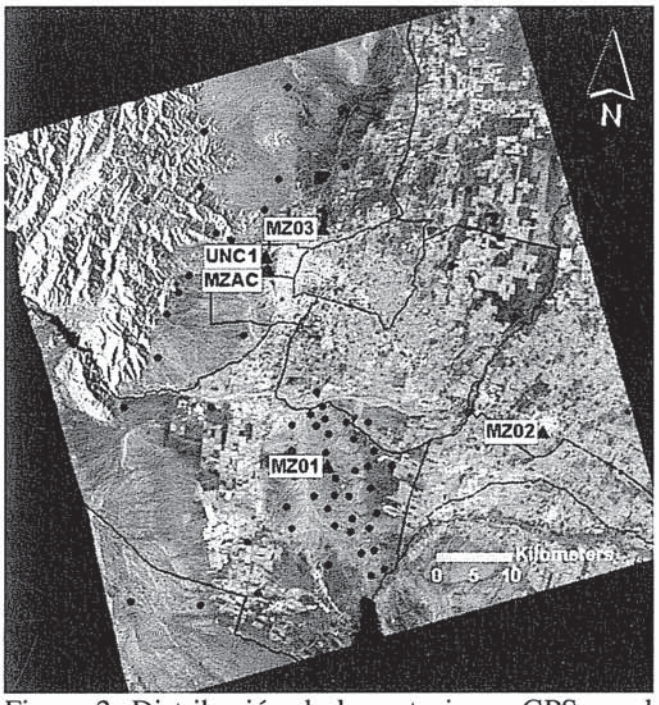


Figura 2. Distribución de las estaciones GPS en el área de interés. Las EP están representadas con triángulos y las ES con círculos.

Tabla 1. Estaciones de GPS permanentes

Código	Sitio	Proyecto	Lat (°S)	Lon (°W)
MZ01	Barrancas	BODEGA	33.134	68.787
MZ02	San Martín	TAM	33.091	68.477
MZ03	Aeropuerto	TAM	32.843	68.796
UNC1	U.N.Cuyo	BODEGA	32.878	68.877
MZAC	CRICyT	RAMSAC	32.894	68.875

3 METODOLOGÍA

3.1 *Técnica de procesamiento utilizada*

Las imágenes SAR fueron procesadas utilizando la técnica de interferometría diferencial conocida como SBAS (Small BAseline Subsets)[8]. La misma consiste en recuperar, para cada píxel coherente de cada adquisición (imagen), la fase absoluta relacionada con deformación, a partir de las diferencias de fase entre imágenes (interferogramas). Un Modelo Digital de Elevación externo se utiliza para eliminar las componentes de fase topográfica y una serie de filtros en cascada permite eliminar la contribución atmosférica y los errores orbitales. La serie temporal de fases es transformada posteriormente en serie temporal de deformación, mediante una sencilla operación de cambio de escala.

Una característica importante de la técnica utilizada es que los resultados son válidos solamente en aquellos píxeles con coherencia elevada en todos los interferogramas. Es por ello, y de ahí viene la denominación de Small Baseline Subsets, que solamente se construyen interferogramas con líneas de base cortas. La línea de base espacial es la distancia entre los satélites al momento de adquirir las imágenes. Su componente perpendicular a la dirección de vista no debe ser mayor a un tercio de la línea de base crítica. Esta última es aquella distancia entre satélites que provoca decorrelación completa[12]. La línea de base temporal es el tiempo transcurrido entre adquisiciones y se restringe a no más de 1500 días. De esta manera se mantiene acotado el fenómeno de decorrelación, tanto geométrica como temporal, y se maximiza la cantidad de píxeles útiles en el resultado final.

Además, el filtrado en cascada requiere la existencia de un elevado número de adquisiciones para ser efectivo en la eliminación de las componente de fase atmosférica, topografía atribuible a errores del MDE y rampas orbitales. Un número de imágenes menor a

20 unidades no hace imposible la aplicación de la técnica, pero produce resultados con menor grado de confiabilidad.

3.2 *Aplicación al caso de interés*

Las 11 imágenes disponibles en el presente caso constituyen un subconjunto del dataset definitivo, que está actualmente siendo adquirido por el satélite y contará con al menos 30 imágenes, tomadas entre 2005 y 2007. Debido a que el número de adquisiciones es relativamente pequeño, en este trabajo se presentan solamente resultados parciales, obtenidos mediante el procesamiento SBAS. Los resultados finales serán publicados oportunamente.
Los valores umbral de líneas de base perpendicular y temporal utilizados son 600m y 1500 días, respectivamente. La línea de base temporal en este caso carece de importancia práctica, ya que el período de adquisición completo es menor a 1500 días. La Figura 3 muestra la distribución de imágenes en el plano B_P-T (Línea de base perpendicular – tiempo), y evidencia las relaciones espacio-temporales entre las mismas. En base a la figura es posible determinar qué interferogramas cumplen con las condiciones antedichas.

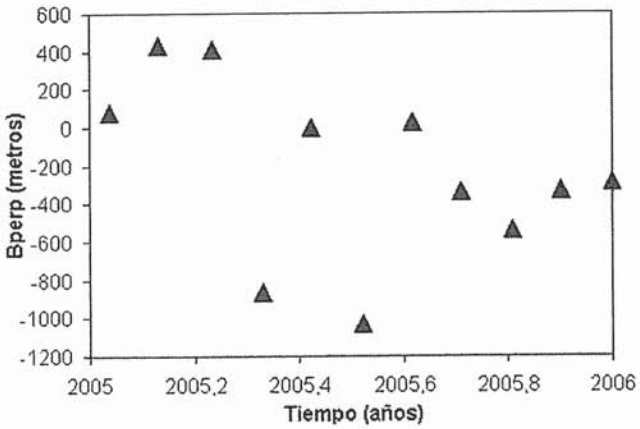


Figura 3. Relaciones espacio-temporales entre las escenas utilizadas.

Se construyeron 28 interferogramas y la Tabla 2 detalla algunas características de los mismos, tales como escenas intervinientes, línea de base perpendicular y línea de base temporal. La resolución de los mismos fue reducida mediante una operación de submuestreo, con un factor de 4 en la dirección de rango (perpendicular al vuelo del satélite) y de 20 en azimuth. Este procesamiento permite reducir el nivel de ruido inherente y genera un resultado de resolución media, con un píxel de aproximadamente 80 metros de lado.

Para remover la componente topográfica de la fase se utilizó el Modelo Digital de Elevación SRTM[13], cuya resolución espacial es de aproximadamente 90 m. Las rampas orbitales fueron calculadas mediante la utilización de órbitas de precisión provistas por la Agencia Espacial Europea (ESA).

Tabla 2. Listado de interferogramas construidos

Interferograma	Bperp[m]	Δt[días]
14012005-03062005	82.6	140
14012005-16092005	420.9	245
14012005-18022005	-348.3	35
14012005-12082005	55.2	210
14012005-25032005	-325.8	70
14012005-25112005	416.1	315
18022005-25032005	22.5	35
18022005-03062005	430.9	105
18022005-12082005	403.5	175
25032005-12082005	381.0	140
25032005-03062005	408.4	70
29042005-08072005	171.3	70
29042005-21102005	-321.2	175
29042005-16092005	-522.0	140
29042005-25112005	-526.8	210
29042005-30122005	-573.2	45
03062005-16092005	338.3	105
03062005-30122005	287.0	210
03062005-12082005	-27.4	70
03062005-25112005	333.5	175
08072005-21102005	-492.5	105
12082005-30122005	314.4	140
16092005-30122005	-51.2	105
16092005-25112005	-4.8	70
16092005-21102005	200.8	35
21102005-30122005	-252.0	70
21102005-25112005	-205.5	35
25112005-30122005	-46.5	35

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 *Resultados*

Dadas las características climáticas del área analizada, que es de naturaleza semidesértica, la coherencia interferométrica mantiene valores elevados en grandes zonas de la misma. Esto permite que los resultados tengan buena cobertura en amplias zonas, siendo ésta prácticamente completa en el secano, pedemonte y zonas urbanizadas. La cobertura es un poco menor en áreas de cultivo, muy baja en zonas muy escarpadas, debido a los fenómenos de acortamiento e inversión[14], y nula en espejos de agua.

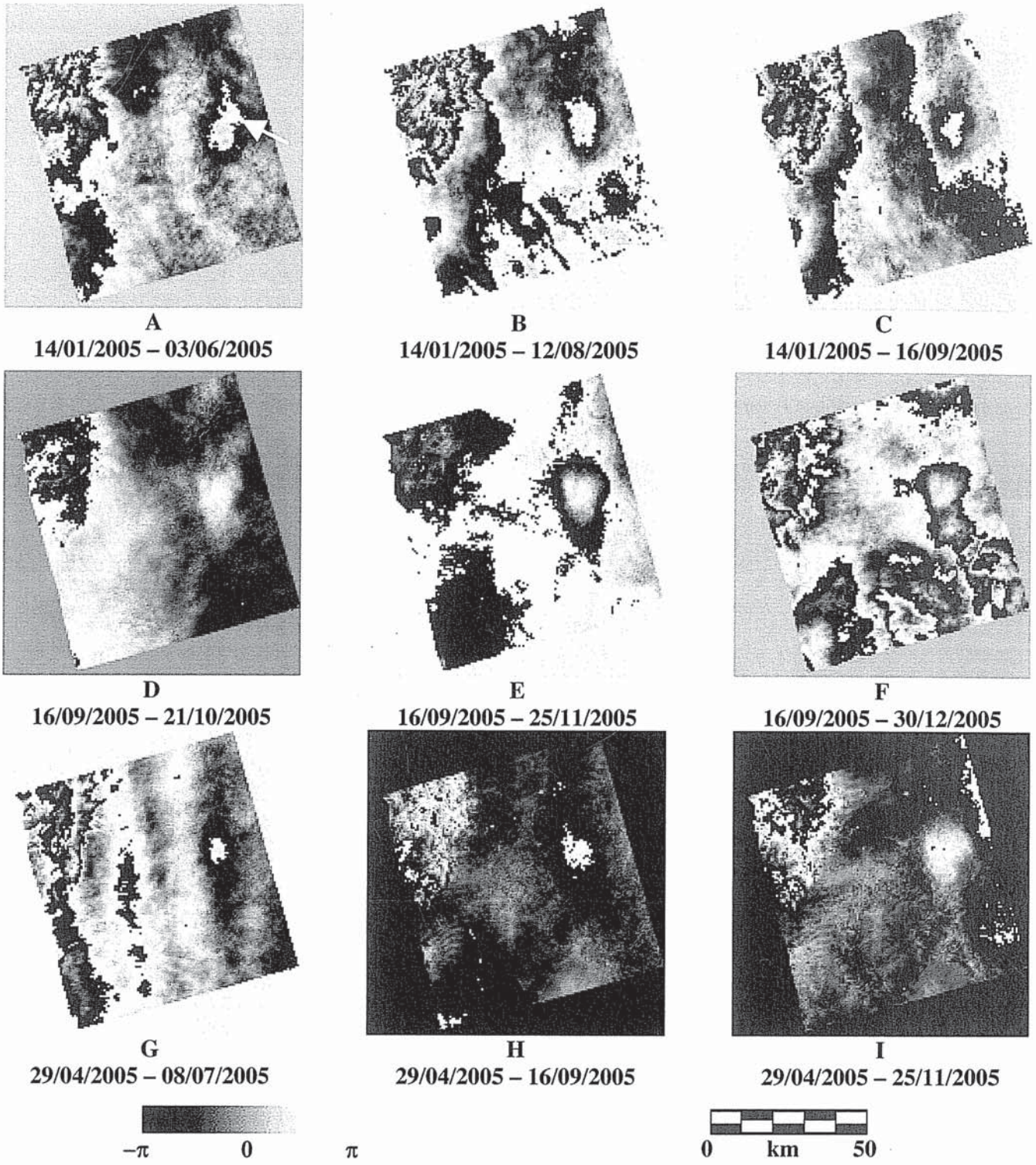


Figura 4. Selección de 9 interferogramas que cubren completamente el área de interés. Los niveles de gris representan valores de fase en radianes. De particular interés es el patrón de fase que se encuentra ubicado hacia el centro derecha de las imágenes.

Se seleccionaron los interferogramas diferenciales más significativos entre los 28 construidos, con la intención de destacar ciertos aspectos de particular interés. En general, conviene separar los fenómenos caracterizados por una alta variabilidad temporal, es decir efectos atmosféricos y rampas orbitales, de los fenómenos que se presentan sistemáticamente en varios interferogramas. Estos últimos pueden ser el reflejo de patrones de deformación, aunque solamente un análisis realizado con gran cantidad de imágenes puede dar resultados definitivos.

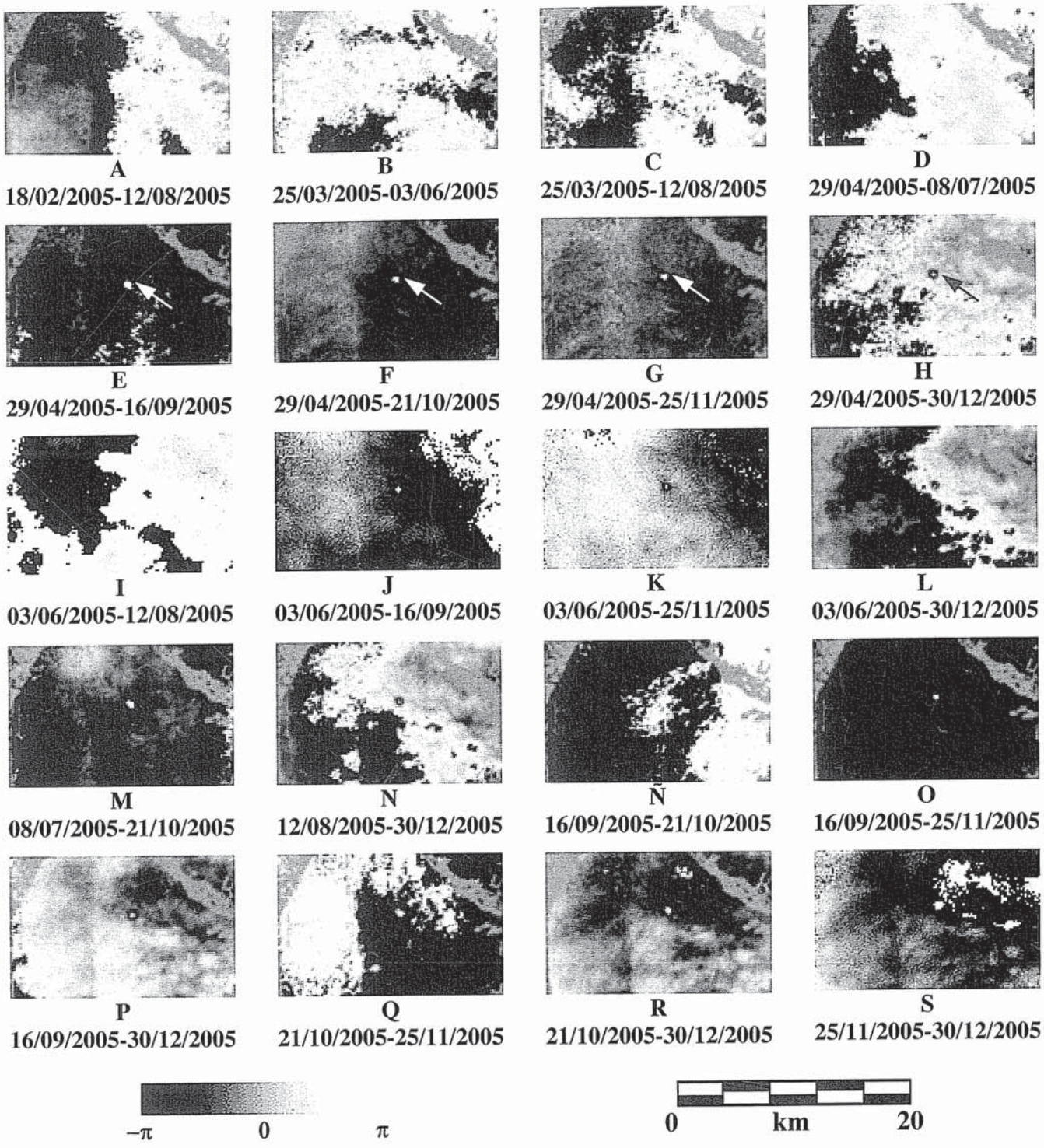


Figura 5. 20 interferogramas significativos sobre la zona norte del yacimiento Barrancas. Puede notarse el fenómeno puntual que comienza a manifestarse a partir del mes de septiembre, indicado con una flecha en la secuencia de interferogramas que tienen como master la imagen del 29/04/2005.

La figura 4 muestra un conjunto de 9 interferogramas, 5 de ellos entre imágenes de verano-invierno (a,b,c,g,h) y 4 entre imágenes de invierno-verano (d,e,f,i). Nótese que se ha considerado al mes de abril como muy cercano al verano, ya que lo importante es distinguir entre estación fría y cálida. En los interferogramas se encuentran presentes fenómenos atmosféricos, reconocibles por la alta variabilidad entre uno y otro. Sin embargo, sobre la parte central a la derecha se observa un patrón (marcado con una flecha en la figura 4.a) que persiste en todos ellos. Es interesante notar que el mismo cambia su signo en correspondencia con el sentido estacional del

interferograma, es decir, tiene variación positiva al alejarse de su centro en las imágenes de verano-invierno (a,b,c,g,h) y negativa en las de invierno-verano (d,e,f,i).
La figura 5 muestra un sector de 20 interferogramas, ubicado en la zona norte del yacimiento Barrancas. Puede notarse en las imágenes la presencia de un fenómeno persistente a partir del mes de septiembre (Fig. 5.e), de forma puntual. Dicho fenómeno se intensifica hacia el mes de diciembre, lo cual es particularmente notable en la secuencia de interferogramas cuya master es la imagen tomada el 29/4/2005 (e-h).

4.2 *Discusión*

El patrón observado en la figura 4 se ubica geográficamente en la zona limítrofe entre Maipú, Lavalle y Guaymallén. El fenómeno de inversión de signo estacional podría estar indicando una relación entre deformación y desplazamientos de agua subterránea, por ejemplo descarga y recarga de acuíferos. Fenómenos de este tipo ya han sido observados en otras áreas del mundo[15]. Es importante notar también que en dicha zona se han reportado problemas de salinización de suelos por ascenso de la napa freática. Sin embargo, para realizar una afirmación en este sentido es necesario profundizar los estudios y contar con datos que abarquen varios años.
El fenómeno puntual evidenciado en la Figura 5 podría estar relacionado con bombeo de fluidos del subsuelo, ya que presenta características típicas de este tipo de deformación. El hecho de estar ubicado dentro de un yacimiento petrolero, en el cual se realizan actualmente operaciones de extracción de petróleo e inyección de agua para recuperación secundaria es un punto a favor de esta hipótesis.

5 CONCLUSIONES

En este trabajo se muestran los primeros resultados obtenidos mediante procesamiento SBAS de imágenes SAR de la ciudad de Mendoza y sus alrededores. El trabajo se ha realizado utilizando parte de un dataset actualmente en proceso de adquisición, que hasta el momento cuenta con 11 imágenes. No se presentan series temporales de deformación, porque para calcularlas con cierto grado de confiabilidad sería necesario un número mayor de escenas.
No obstante esto, el conjunto de interferogramas construido ha permitido identificar al menos dos zonas con patrones de cambio de fase posiblemente relacionados con deformación. La ubicación y características de los mismos han permitido también aventurar algunas hipótesis al respecto.
Se puede concluir que solamente un número mayor de adquisiciones, obtenidas en un período de tiempo mayor que un año, permitirá confirmar o rechazar lo observado hasta el momento. El trabajo futuro contempla la integración de mas imágenes SAR y la validación de los resultados con información externa, como mediciones de GPS provenientes de las estaciones descritas en el punto 2.3, registros de extracción de fluidos y niveles de la napa freática.

6 AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Agencia Espacial Europea por la provisión de imágenes a través del proyecto Category 1 n°2857, al Ing. Riccardo Lanari y al personal del CEDIAC y del IREA por su colaboración en la etapa de procesamiento de datos y discusión de resultados.

7 REFERENCIAS

[1] A. Gabriel, R. Goldstein & H. Zebker, Mapping small elevation changes over large areas: differential radar interferometry, Journal of Geophysical Research, 94, B7, 9183-9191, 1989.
[2] G. Strang & K. Borre, Linear algebra, geodesy and GPS, Wellesley-Cambridge Press, Wellesley, MA, 1997.
[3] D. Massonnet & K. Feigl, Radar Interferometry and its Application to Changes in the Earth's Surface, Reviews of Geophysics, 36, 4, 441-500, 1998.
[4] H. Zebker & R. Goldstein, Topographic mapping from interferometric synthetic aperture radar observations, Journal of Geophysical Research, 91, B5, 4993-4999, 1986.
[5] H. Zebker, P. Rosen & S. Hensley, Atmospheric effects in interferometric synthetic aperture radar surface deformation and topographic maps, Journal of Geophysical Research, 102, B4, 7547-7563, 1997.
[6] H. Zebker & J. Villasenor, Decorrelation in interferometric radar echoes, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 30, 5, 950-959, 1992.

[7] D. Massonnet, M. Rossi, C. Carmona, F. Adragna, G. Peltzer, K. Feigl & T. Rabaute, The displacement field of the Landers earthquake mapped by radar interferometry, Nature, 364, 138-142, 1993.
[8] P. Berardino, G. Fornaro, R. Lanari & E. Sansosti, A New Algorithm for Surface Deformation Monitoring Based on Small Baseline Differential SAR Interferograms, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 40, 11, 2375-2383, 2002.
[9] A. Ferretti, C. Prati & F. Rocca, Permanent Scatterers in SAR Interferometry, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 39, 1, 8-20, 2001.
[10] P. Euillades, B. Brooks, M. Blanco & L. Euillades, Preliminary results of differential interferometry in west-central Argentina, Proc. Fringe 2005 Workshop, Frascati, Roma, ESA Publication Division, 2005
[11] A. S. A. Group, SP-1225 ASAR Science and Applications, ed. R. Harris, Vol. 1, ESA Publications Division,, The Netherlands, 1998.
[12] F. Gatelli, A. Monti-Guarnieri, F. Parizzi, P. Pasquali, C. Prati & F. Rocca, The Wavenumber Shift in SAR Interferometry, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 32, 4, 855-865, 1994.
[13] P. Rosen, S. Hensley, E. Gurrola, F. Rogez, S. Chan, J. Martin & E. Rodriguez, SRTM C-band topographic data: quality assessments and calibration activities, IGARSS01, 2, 739-741 vol.2, 2001.
[14] J. C. Curlander & R. N. McDonough, Synthetic Aperture Radar. Systems and Signal Processing, ed. J.A. Kong, John Wiley & Sons, New York, 1991.
[15] G. W. Bawden, W. Thatcher, R. S. Stein, K. W. Hudnut & G. Peltzer, Tectonic contraction across Los Angeles after removal of groundwater pumping effects, Nature, 412, 812-815, 2001.

Agentes Inteligentes para Manufactura Integrada por Computadora

M. G. Marchetta & R. Q. Forradellas
mmarchetta@fing.uncu.edu.ar & kike@uncu.edu.ar
Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo

RESUMEN: La Manufactura Integrada por Computadora abarca múltiples actividades, desde el diseño hasta la fabricación de los productos. Estas actividades tienen un alto impacto en los costos, eficiencia de operación y calidad en la producción de una empresa manufacturera. A pesar de que muchos esfuerzos en investigación y desarrollo se han llevado a cabo, a fin de incorporar herramientas inteligentes a estas actividades para la reducción de costos, tiempos de producción y errores, existen aún varias alternativas para incorporar este tipo de herramientas tanto en las actividades menos explotadas, como en aquellas que ya poseen algún grado de inteligencia o automatización. En este trabajo, presentamos un análisis de algunas actividades de la manufactura integrada por computadora, en las que se pueden aplicar agentes inteligentes para eficientizar las operaciones de manufactura, y presentamos algunas técnicas de Inteligencia Artificial útiles para estos fines.

1 INTRODUCCIÓN

La manufactura integrada por computadora (*CIM: Computer Integrated Manufacturing*), abarca diversas actividades, desde el diseño de los productos, hasta su fabricación, control de calidad y almacenamiento. En general, se puede dividir a la CIM en tres componentes principales Ref. [1]: CAD, CAPP y CAM (algunos autores incluyen CAPP dentro de CAM, como en Ref. [2]; sin embargo, dada la complejidad de CAPP se tiende a considerarla como un componente independiente).

Las actividades de CAD (*Computer Aided Design*) incluyen tareas como el diseño geométrico de las piezas a fabricar, especificación de materiales, simulación de esfuerzos y deformaciones, etc.

Las tareas de CAPP (*Computer Aided Process Planning*) incluyen la determinación y selección de los procesos que serán necesarios para fabricar cada pieza, la identificación y selección de la familia de máquinas y herramientas para dicha fabricación, y la programación de la producción (scheduling), lo cual implica definir las máquinas específicas que se utilizarán en el maquinado, corte, etc. de las piezas. Esta última actividad debe tener en cuenta factores como la carga de máquinas, su disponibilidad, fechas de entrega y preferencias de una máquina sobre otra (por ejemplo, por cuestiones de costos).

Finalmente, CAM (*Computer Aided Manufacturing*) abarca las tareas operativas de producción automatizada. Generalmente se incluyen dentro de este conjunto de actividades, la programación de los sistemas de control numérico, sistemas de control de calidad automatizado, etc.

En lo relacionado con el grado de automatización e integración, las herramientas de CAD y CAM están mucho más desarrolladas que las herramientas de CAPP (Ref. [3]), lo cual permite muchas opciones de innovación en esta área. En este trabajo, presentamos un análisis de algunas técnicas de inteligencia artificial basadas en agentes inteligentes, y algunas actividades de la CIM que se prestan especialmente para la aplicación de este tipo de técnicas.

El trabajo se organiza como sigue. La sección 2 presenta una introducción y un análisis de algunas actividades de la CIM en las cuales es factible la incorporación de agentes inteligentes. La sección 3 presenta algunas técnicas inteligentes útiles para estas actividades. La sección 4 presenta un enfoque

para la incorporación de agentes inteligentes en las actividades de la CIM. Finalmente la sección 5 presenta las conclusiones y trabajo futuro.

2 ACTIVIDADES DE LA CIM

En el contexto de la CIM, los componentes de CAD y CAPP son los que presentan más opciones para la innovación y la incorporación de técnicas inteligentes. En la Fig. 1 se presenta un esquema de las principales actividades de la CIM y su vinculación.

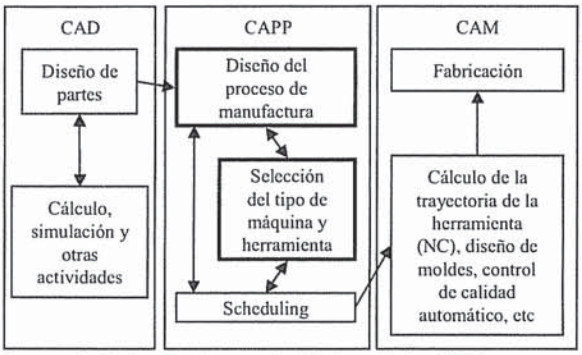


Figura 1. Principales actividades de la CIM.

2.1 *Diseño Asistido por Computadora (CAD)*

Existen básicamente dos enfoques para la representación de modelos, en las herramientas de CAD que apoyan el diseño de productos (Ref. [4]): representaciones basadas en geometría (geometry based representations) y representaciones basadas en atributos (feature based representations). En general, los diseños tienen una representación externa (la representación basada en geometría) y una representación interna (la representación basada en atributos), por lo que existen herramientas que incorporan ambos enfoques.

Los modelos basados en atributos son los que presentan más posibilidades de automatización inteligente. En estos modelos, las piezas y componentes a fabricar se representan mediante atributos, cada uno de los cuales tiene un conjunto de propiedades y valores para estas propiedades. Así, si por ejemplo consideramos una pieza cilíndrica con un agujero, el agujero puede ser un atributo, con propiedades como el diámetro, la posición del agujero, el tipo de acabado y la tolerancia en las medidas. Los sistemas basados en atributos generalmente cuentan con una base de datos, la cual contiene información sobre los posibles atributos que pueden utilizarse para modelar una pieza a fabricar. Cuando el diseñador está modelando una pieza, puede tomar los atributos que necesite de esta base de datos, y definir los valores para las propiedades de estos atributos, ajustándolos al caso particular de la pieza que se está diseñando.

En general, las herramientas de CAD presentan modelos de representación basados en geometría, o bien modelos basados en geometría con el complemento de la representación basada en atributos.

Es de esperar que ciertos diseños puedan agruparse en categorías o grupos, con características similares. La tecnología de grupos (group technology), es un concepto relacionado precisamente con esta característica, es decir, con el hecho de que las piezas a fabricar se pueden agrupar de acuerdo a sus características geométricas, atributos, métodos de manufactura, etc. (Ref. [2]). Una forma de ayudar a los ingenieros encargados de diseñar productos, es identificar en sus diseños, algunos puntos comunes con diseños anteriores, permitiendo así diversas opciones de asistencia inteligente, como la recuperación de estos diseños similares en línea mientras el usuario trabaja, la síntesis de nuevos diseños basados en las *intenciones* del usuario, o la detección de errores u omisiones potenciales. Este tipo de asistencia durante el diseño del producto es factible en casos en los que el sistema de CAD utiliza representaciones basadas en atributos, dado que estas representaciones contienen *conocimiento* en forma de información simbólica y numérica, que es más fácil de manipular que la información geométrica, para razonar automáticamente.

En cuanto a lo que CAD puede aportar al resto del proceso de producción, podemos decir que si este sistema proporciona como parte de su salida, un conjunto de atributos y propiedades, es posible utilizar este conocimiento en etapas posteriores para automatizar algunas operaciones, como la determinación de los procesos necesarios y las familias de máquinas con que se puede manufacturar una parte.

2.2 *Planificación de Procesos Asistida por Computadora (CAPP)*

Una vez que se cuenta con el diseño de una pieza a manufacturar, se debe planificar el proceso de producción de la misma. La planificación de procesos de producción abarca diversas actividades,

como la identificación de los procesos de fabricación que deberá atravesar la materia prima y los productos intermedios hasta llegar a la pieza final (la hoja de ruta, part routing), la identificación del conjunto de máquinas capaces de ejecutar esos procesos con la precisión y tolerancia requeridas, y la programación de actividades (scheduling). En la Fig. 1 se presentan estas actividades y su relación.

2.2.1Impacto de CAPP en el proceso de manufactura

La experiencia del ingeniero de manufactura tiene un gran impacto sobre la calidad en el resultado de las actividades anteriormente mencionadas. Además estas actividades toman mucho tiempo y son muy intensas (ver Ref. [2]). Cuando se abordan escenarios con estrategias de producción por orden de trabajo, en los que cada una constituye un caso particular, este desarrollo se debe hacer una y otra vez dado que cada orden de trabajo, aunque similar a otras anteriores, tiene sus particularidades. El contar con herramientas inteligentes para asistir a los ingenieros de manufactura en estas actividades es especialmente útil en la actualidad, donde los clientes pretenden obtener precios similares a los de la producción en masa, pero adquiriendo lotes cada vez más pequeños (mass customization).

2.2.2Niveles de automatización en CAPP

En la literatura se han identificado varios "niveles" de CAPP, de acuerdo al grado de automatización. El nivel más básico (en el que no hay asistencia alguna por parte de las computadoras), consiste en la elaboración y clasificación manual de procesos de manufactura estándares, los cuales se buscan y adaptan a mano, para cada caso particular. El primer nivel de automatización está relacionado con el almacenamiento y recuperación de diseños de proceso de manufactura estándar en forma electrónica. El siguiente paso en la evolución de CAPP, consiste en permitirle al ingeniero de manufactura la búsqueda y modificación integradas en el mismo sistema (sistema variante, variant CAPP; ver Ref. [2]). El siguiente nivel consiste en la síntesis totalmente automática del proceso de fabricación, partiendo de una especificación formal de las piezas a fabricar, e incluye desde la planeación de los procesos necesarios hasta la programación de actividades, incluyendo la selección de máquinas y herramientas (sistema generativo, generative CAPP). En el caso extremo, un sistema generativo tendría en cuenta características dinámicas del funcionamiento de la planta, como la falta de disponibilidad de máquinas por roturas o mantenimiento, falta de materias primas, etc. Este tipo de dinamicidad requiere una fuerte integración de la planificación de procesos de producción, la programación de actividades y el funcionamiento en la planta. Algunos autores excluyen el primer nivel de automatización mencionado, y plantean sólo dos tipos de CAPP (Ref. [2]): CAPP variante y CAPP generativo.

2.2.3Enfoques actuales en CAPP

Existen algunos trabajos en áreas particulares de CAPP. En Ref. [5] y [6] se presentan algunos métodos de programación de actividades de producción (scheduling), mediante un conjunto dado de máquinas. Estos métodos tienen en cuenta restricciones de carga de máquina y fechas de entrega, entre otras. Además permiten especificar criterios de optimización, a fin de generar programas de producción eficientes. En estos trabajos se asume que la hoja de ruta y la definición de la familia de máquinas que pueden ejecutar cada proceso, vienen dados como entrada a los algoritmos, mientras que la selección de las máquinas individuales para la fabricación y la definición de la secuencia de actividades, constituyen la salida del algoritmo.

En relación con la determinación de las hojas de ruta, y la identificación del tipo de máquinas a utilizar en cada proceso, existen diversos enfoques. En Ref. [3] se presenta una arquitectura para un sistema multi-agente, en el cual se asignan responsabilidades a cada agente en el contexto de CAPP. El trabajo sólo presenta la arquitectura y los tipos de agente a utilizar, pero no se mencionan algoritmos para estos agentes.

En Ref. [4] se plantea un sistema basado en el conocimiento, en el cual se asume que la salida del sistema de CAD asociado es un modelo de atributos de la pieza a fabricar (features model). Mediante el conocimiento representado en esta forma, se utilizan mecanismos basados en el conocimiento, para determinar los procesos de maquinado, corte, etc. y posteriormente las máquinas a utilizar en la fabricación.

En Ref. [7] se presenta un método basado en la utilización de la visibilidad de las caras de las piezas a maquinar, para la determinación de las secuencias de fabricación y los procesos de maquinado. Los autores adoptan este enfoque, en contraposición con los sistemas de CAPP basados en atributos, porque indican que no existe una nomenclatura universal para los atributos, con lo cual se pierde generalidad

con este enfoque. Otro problema que plantean es que el enfoque orientado a atributos es limitado, en el sentido de que los diseñadores deben tomar solamente atributos de la base de datos para diseñar las piezas a fabricar. Por lo tanto, plantean la utilización directa de la información geométrica obtenida de archivos de programas de CAD estándares para dibujo, en la automatización de todas las actividades de CAPP. El principal problema de este enfoque es que los algoritmos de análisis geométrico son complicados, y no sirven para piezas con formas geométricas arbitrarias. Además, los autores reconocen la necesidad de contar en alguna medida con atributos, dado que son una buena herramienta para comunicarse con los usuarios (diseñadores y personal de la planta).

En Ref. [8], se analizan algunos problemas derivados de la sobre-automatización de los sistemas de CAPP generativos. Los enfoques actuales de sistemas generativos puros requieren la codificación de grandes cantidades de conocimiento. No sólo requieren la representación de atributos, máquinas y procesos, sino también de reglas lógicas que permitan la generación automática de planes y programas de producción. Este enfoque trae aparejado el problema del mantenimiento, lo cual requiere de ingenieros de conocimiento. Otro problema que plantean es el de la falta de interactividad de los sistemas generativos. Este enfoque de funcionamiento no permite que los planificadores de proceso humanos interactúen con el sistema mientras se planifica. Finalmente, los autores plantean la idea de utilizar algoritmos de aprendizaje de máquina (machine learning) para que las bases de conocimiento se 'auto-mantengan'.

En Ref. [9] se tratan más en profundidad los problemas mencionados. Se adopta la interacción hombre-máquina como un tema fundamental de estudio en este tipo de sistemas, y se propone una arquitectura del sistema que permite la utilización de bases de conocimiento compartidas por ingenieros de desarrollo e ingenieros de manufactura.

En Ref. [10] se estudia principalmente la distorsión que se produce en la captura de las intenciones en la interacción hombre-máquina y se proponen algunas formas de uso de sistemas interactivos para CAPP. Se menciona la posibilidad de que el sistema aprenda de expertos en CAPP, para luego asistir en sus decisiones a los ingenieros con menos experiencia.

Los enfoques más avanzados son los basados en el conocimiento, en los cuales los ingenieros de manufactura tienen poca participación en la planificación. Esto tiene la desventaja de que los diseñadores de procesos no pueden incorporar su experiencia o bien requieren de ingenieros de conocimiento que los asistan. Por otro lado, algunos trabajos presentan ideas para enfoques interactivos que aprenden de los expertos humanos, pero no se han propuesto algoritmos o técnicas particulares.

3 RECONOCIMIENTO DE INTENCIONES Y PLANIFICACIÓN

El reconocimiento de intenciones (plan recognition) es el problema de identificar las intenciones de un agente observado, en base a las acciones que éste realiza (Ref. [11]). La entrada de los sistemas de reconocimiento de intenciones es un conjunto de acciones que un agente observado ha realizado, y la salida consiste en un conjunto de uno o más objetivos que, según infiere el sistema, el agente observado persigue. En el contexto de la Inteligencia Artificial, se puede considerar al problema de reconocimiento de intenciones como el problema inverso al de planificación (planning). A diferencia de los algoritmos de reconocimiento de intenciones, la entrada a los algoritmos de planificación es un estado inicial y un estado objetivo, y la salida consiste en un conjunto de acciones que permiten llegar desde el estado inicial, al estado final deseado. El reconocimiento de intenciones es un enfoque muy útil en sistemas interactivos, puesto que al conocer las intenciones del usuario (el agente observado), es posible brindarle asistencia en formas diversas, como la ejecución de actividades en su nombre, la detección y corrección de errores, o la recomendación de opciones. En particular, en dominios ricos en conocimiento, la determinación de las intenciones y objetivos del usuario hace posible la generación de ayudas muy productivas. Si se dispone de información detallada de los elementos que el usuario puede utilizar, y de las acciones que puede realizar en estos sistemas, una vez identificadas sus intenciones es posible generar planes alternativos, completar planes en proceso de generación por parte del usuario, detectar errores y reutilizar total o parcialmente los planes similares que se hayan creado anteriormente, todo esto mediante algoritmos de planificación. Así, es posible utilizar el reconocimiento de intenciones como un complemento para los algoritmos de planificación.

Los algoritmos de planificación estándar,. requieren para su funcionamiento de una especificación del estado inicial y del objetivo o estado final que se

desea obtener, generalmente expresados en algún lenguaje formal como la lógica de primer orden o algún subconjunto de esta. Esto requiere que los usuarios del sistema tengan conocimientos tanto del dominio en cuestión (planificación de procesos de manufactura, programación de actividades, etc), como de representación del conocimiento. En Ref. [9] se expresa esta dificultad al notar que, en general, si el usuario del sistema entiende el "qué" y el "cómo" en un sistema de planificación estándar (basado en el conocimiento), probablemente no comprende el "para qué". Al incorporar reconocimiento de intenciones en entornos ricos en conocimiento, el usuario puede concentrarse en la realización de su tarea en forma transparente, y es el mismo sistema inteligente el encargado de identificar las intenciones del usuario, expresar estas intenciones (objetivos) formalmente, y generar planes completos, detectar errores o recomendar cursos alternos de acción al usuario. Así, se toman las ventajas de la síntesis mediante planificación, a la vez que se reduce la cantidad de conocimiento a representar. En la Fig. 2 se presenta una arquitectura de un sistema orientado a agentes inteligentes con reconocimiento de intenciones y planificación integrados.

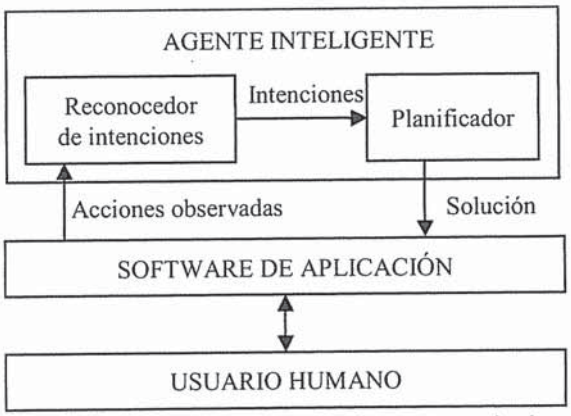


Figura 2. Arquitectura de un sistema que incluye un agente inteligente con reconocimiento de intenciones y planificación integrados

3.1 *Reconocimiento de intenciones*

La mayoría de los algoritmos de reconocimiento de intenciones se basan en bibliotecas de planes previamente almacenadas. Existen varios esquemas de representación para estas bibliotecas de planes. Uno de los esquemas *simbólicos* más expresivos, es el propuesto en Ref. [11]. En el modelo mencionado, la biblioteca de planes contiene una jerarquía en forma de árbol, donde cada nodo representa una acción. Las acciones que se encuentran en las hojas del árbol son acciones primitivas, directamente observables en el comportamiento del agente observado, mientras que los nodos intermedios representan acciones no-primitivas (acciones que se consideran cumplidas o ejecutadas cuando todas sus partes lo son). Cada nodo puede tener dos tipos de relaciones con sus nodos descendientes: relaciones "parte de" y relaciones "es un". Las relaciones "parte de" representan descomposiciones de las acciones complejas, en acciones cada vez más simples, hasta llegar a las hojas donde las acciones son primitivas. Las relaciones "es un" reflejan la pertenencia de una acción a una categoría superior. Las acciones que pertenecen a una categoría superior "heredan" las propiedades de estas categorías. Existe una acción ficticia especial, denominada "End Event", la cual tiene una relación "es un" con las acciones que representan objetivos finales del usuario.

Otra información contenida en las bibliotecas de planes son restricciones de ordenamiento y vínculos causales. Las restricciones de ordenamiento establecen una precedencia entre acciones, mientras que los vínculos causales establecen restricciones arbitrarias entre las acciones (por ejemplo, que el efecto de una acción es una precondición para la siguiente, o que el valor de un parámetro de una acción se debe propagar a algún parámetro de una acción posterior). En la Fig. 3 se presenta gráficamente una pequeña biblioteca de planes de ejemplo, para un dominio de envase flexible.

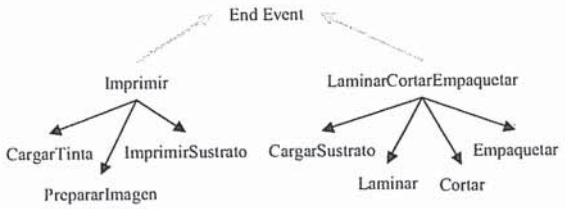


Figura 3. Biblioteca de planes de ejemplo para un dominio de empaquetado flexible

Un problema con estos sistemas es que la puesta a punto para un dominio particular, o la migración a nuevos dominios, requiere mucho esfuerzo de representación del conocimiento (se requiere una nueva biblioteca de planes para cada dominio). Por este motivo, se han propuesto algunos trabajos en los

que se utilizan algoritmos de aprendizaje para generar automáticamente estas bibliotecas de planes, en base a casos de ejemplo observados en expertos humanos (ver Ref. [12] y [13]).
Como se verá en la sección siguiente, el aprendizaje de las bibliotecas de planes en el enfoque propuesto es de suma importancia, dado que esta capacidad permite que los sistemas inteligentes en CAPP aprendan del "know-how" de los expertos humanos, a través de observaciones de ejemplo tomadas de estos expertos mientras trabajan. Además es posible que este aprendizaje se realice en línea, en paralelo con la ejecución, superponiendo así las etapas de aprendizaje y ejecución, etapas que habitualmente se separan y se organizan en forma secuencial.

3.2 *Reconocimiento de intenciones y planificación integrados*

En general, los sistemas de reconocimiento de intenciones no incluyen la síntesis de soluciones, una vez que se han identificado las intenciones del usuario. La mayoría de estos sistemas se limitan a ejecutar el resto de las acciones del objetivo identificado, según las restricciones conocidas de ordenamiento y los vínculos causales, o bien actúan a posteriori identificando errores u omisiones.
Sin embargo, si el sistema contara con conocimiento sobre las acciones primitivas de los planes contenidos en la biblioteca de planes, podría utilizar este conocimiento para sintetizar planes o soluciones totalmente nuevos. Así, una vez que se infieren las intenciones del usuario, el sistema inteligente no sólo debe limitarse a la ejecución del resto del plan conocido, sino que puede utilizar un algoritmo de planificación que tome como entradas las intenciones identificadas, y que entregue como salida una solución nueva. En la Fig. 4 se muestra una representación de ejemplo para una acción primitiva en un formato de representación similar al utilizado por el algoritmo de planificación UCPOP (Ref. [14]), el cual utiliza el lenguaje ADL (Ref. [15]) para representar sus pasos de planificación.

```
Acción( FresarRanura(p: Pieza, m: FamiliaMaquina, h: FamiliaHerramienta),
        Precond: TipoMaquina(m, Fresadora) ^
                 TipoHerramienta(h, FresaRanuradora) ^
                 ¬Ranurada(p),
        Efecto: Ranurada(p) )
```

Figura 4. Una acción primitiva de planificación, escrita en el lenguaje ADL

Algo que vale la pena resaltar es que, ante la incorporación de nuevos procesos primitivos de manufactura, sólo se debe codificar en un lenguaje formal este proceso, con algún lenguaje similar al mencionado anteriormente. Para poner a punto el sistema para un nuevo dominio (por ejemplo, para CAPP en una nueva industria), simplemente se codifican los procesos primitivos de fabricación, pero no los diseños de procesos (es decir que no se requiere la codificación de todas las combinaciones válidas de operaciones primitivas, ni de las reglas de fabricación a utilizar). Cualquier algoritmo de planificación estándar, requiere para su funcionamiento, la codificación de algún conocimiento similar al mencionado anteriormente. Así, la incorporación de reconocimiento de intenciones a un agente capaz de planificar no representa una carga adicional de puesta a punto, a la vez que mejora la interactividad con el proceso de planificación.

4 AGENTES PARA CIM CON RECONOCIMIENTO DE INTENCIONES Y PLANFICACIÓN

El enfoque propuesto en este trabajo pone énfasis en la asistencia inteligente en las actividades de CAPP (actividades resaltadas en la Fig. 1). Sin embargo un enfoque similar podría utilizarse para asistir a ingenieros que utilizan sistemas de CAD basados en atributos. Las tareas en sistemas de CAD basados en atributos, y las vinculadas con el diseño de procesos de fabricación, son las principales actividades de la CIM que se prestan para la inclusión de técnicas inteligentes interactivas, dado que son algunas de las principales actividades *cognitivas* presentes en el proceso de manufactura. En contraposición, las actividades de scheduling se prestan más para enfoques totalmente automatizados, puesto que aquí el espacio de búsqueda es mucho mayor.
En este trabajo proponemos la utilización de reconocimiento de intenciones y planificación en forma integrada, para asistir *interactivamente* a los ingenieros de manufactura, encargados de la generación de planes para los procesos de fabricación (hojas de ruta y selección de familias de máquinas). En la Fig. 5 se presenta la arquitectura general del sistema propuesto. Es una versión detallada de la arquitectura presentada en la Fig. 2, que muestra explícitamente los componentes de aprendizaje y reconocimiento de intenciones, como entidades separadas.

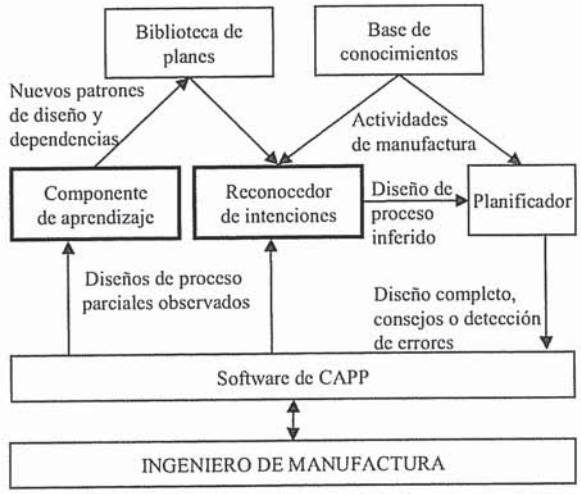


Figura 5. Arquitectura general del sistema propuesto

4.1 *Agentes para CAPP*

El enfoque propuesto en este trabajo está a mitad de camino entre los sistemas para CAPP tipo variante, y los sistemas generativos. Como mencionamos en la sección 2, los sistemas de tipo variante brindan al ingeniero de manufactura la posibilidad de obtener planes de procesos de producción similares ya almacenados, y modificar estos planes. El problema con este enfoque, es que no se brinda inteligencia alguna para asistir al ingeniero en la modificación de estos planes. Además, la identificación de planes similares y de puntos en común con diseños anteriores se realiza en forma manual (el usuario debe ser conciente de que existe un plan de proceso similar, y es su responsabilidad la recuperación del mismo mediante algún código).

Por otro lado, los sistemas generativos puros sintetizan planes de procesos de fabricación automáticamente, basados en la información de las capacidades de las máquinas disponibles, el efecto que los procesos de manufactura tienen sobre la materia prima, y los atributos (features) de las piezas a fabricar. En este enfoque, la automatización es total, lo cual tiene la desventaja de que no permite a los ingenieros de manufactura (sobre todo a los planificadores de procesos de fabricación), la incorporación de su experiencia en forma interactiva. Además, los métodos de generación de planes se basan, en general, en reglas lógicas que deben ser codificadas en algún lenguaje formal, lo cual usualmente requiere de un especialista en ingeniería de conocimiento.

El enfoque propuesto apunta a reducir la carga de trabajo y los errores de los planificadores de proceso humanos, sin llegar a la automatización total. De esta manera, el sistema planifica interactivamente los procesos de fabricación, sobre la base de lo aprendido de diseños anteriores. A la vez, le brinda al experto humano la posibilidad de incorporar variaciones basadas en su experiencia y nuevos conocimientos, y aprende de estas variaciones.

Al contar con el conocimiento relacionado con las acciones primitivas que el usuario puede realizar, la identificación de sus intenciones le permiten al sistema la identificación de los objetivos del usuario del sistema. Estos objetivos contienen conocimiento acerca de los efectos que el usuario quiere obtener, y no simplemente una lista de acciones y subacciones que el usuario pretende realizar. Al contar con este conocimiento no sólo es posible recuperar los diseños anteriores que logran los mismos efectos, sino que también es posible sintetizar diseños de procesos de manufactura totalmente nuevos, no vistos hasta el momento. Una vez inferidas las intenciones del ingeniero de manufactura, se puede utilizar el conocimiento asociado a estas intenciones como entrada a un algoritmo de planificación, el cual puede generar una secuencia parcialmente ordenada de acciones, que permiten cumplir las intenciones inferidas del usuario.

Para asistir a un ingeniero mediante la técnica propuesta, no se requiere necesariamente la identificación del objetivo último del usuario. En general, los objetivos del usuario se pueden descomponer en una conjunción de objetivos más simples (también denominados *subobjetivos*, o *subgoals* en inglés). Siempre que se identifique algún subconjunto del objetivo del usuario, es posible brindarle asistencia parcial.

Como se puede apreciar, el enfoque propuesto se basa en el aprendizaje de los procesos de fabricación que son utilizados, en el reconocimiento de las intenciones del ingeniero de manufactura cuando éste diseña procesos de fabricación (procesos totalmente nuevos, o bien procesos similares a otros ya aprendidos por el sistema), y en la utilización de este conocimiento adquirido para la síntesis de procesos de fabricación nuevos, que logran los mismos objetivos que el ingeniero posee. Al incorporar planificación, es posible que el sistema inteligente tenga en cuenta criterios de optimización, como costos, tiempos de fabricación, etc. Es importante destacar que el diseño de procesos de fabricación, incluye la identificación de los centros de fabricación por los que pasará una pieza hasta su

estado final, y las *familias de máquinas* a utilizar, junto con las herramientas a utilizar en cada máquina. Sin embargo, la programación detallada de las actividades de producción (esto es, la identificación de la(s) máquinas individuales en que se fabricará una pieza, la determinación del secuenciamiento de fabricación de las distintas órdenes de trabajo, y el cálculo de las cargas efectivas de máquina) cae dentro del campo de la programación de actividades (scheduling).

5 CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Se presentó una breve introducción a la CIM. Se identificaron las actividades que más se prestan para la incorporación de asistentes inteligentes. También se presentó una breve introducción de las técnicas de reconocimiento de intenciones y cómo pueden integrarse con técnicas de planificación. Finalmente se presentó una arquitectura de un sistema de CAPP que incluye un agente inteligente basado en las técnicas mencionadas anteriormente.

Actualmente se dispone de una implementación del algoritmo de aprendizaje de bibliotecas de planes propuesto en Ref. [12] y [13]. Sin embargo, se debe profundizar aún más en estas capacidades de aprendizaje, a fin de lograr una mayor generalidad en la información que se puede aprender, y también se requiere más desarrollo de los algoritmos de reconocimiento de intenciones. Además, es necesaria la validación de las técnicas mencionadas con experimentos utilizando datos reales del dominio de diseño de procesos de manufactura.

6 REFERENCIAS

[1] X. Yang, J. Dong & Z. He. The role and application of STEP in CAD/CAPP/CAM integration. En Proc. IEEE Region 10 Conference on Computer, Comunication, Control and Power Engineering, TENCON'93. 1993.

[2] S. Kalpakjian & S. R. Schmid. Manufactura: Ingeniería y Tecnología. Pearson Educación. 2002

[3] P. Dépincé, H. Amara & J-Y. Hascoët. Multi Agent Environment for Process Planning Elaboration. En Proc. 8° International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation. 2001.

[4] D.N. Somaz & B. Khoshnevis. Knowledge Representation for Automated Process Planning. En Proc. International Symposium on Assembly and Task Planning. 1995.

[5] F. Ibañez, D. Díaz & R. Q. Forradellas. Scheduling for Flexible Package Production. En Proc. IEPM'2001. Vol 1, 385-400, Quebec, Canadá. 2001. Selected for the International Journal of Production Economics (IJPE).

[6] F. Ibañez, D. Díaz & R. Q. Forradellas. An Algorithm for Minimising Due Times Violations in Flexible Package Production Scheduling. Journal of Computer Science and Technology, Vol 3 N° 2. 2003

[7] A. Mukerjee & N. Kumar Jain. A Feature-less Approach to Process Planning. En Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation. 1997

[8] L. Horváth & I. J. Rudas. A Machine Learning Based Approach to Manufacturing Process Planning. En Proc. International Symposium on Industrial Electronics ISIE'93. 1993

[9] L. Horváth & I. J. Rudas. Human Computer Interactions at Decisión Making and Knowledge Acquisition in Computer Aided Process Planning Systems. En Proc. International Conference on Systems, Man and Cybernetics. 1994

[10] L. Horváth & I. J. Rudas. Modeling Human-Computer Interactions in Collaborative Design and Planning. En Proc. Int. Conference on Systems, Man and Cybernetics. 1995.

[11] H. Kautz. A Formal Theory of Plan Recognition. PhD Thesis. University of Rochester. 1987.

[12] M. Marchetta & R. Forradellas. A New Model for Automatic Generation of Plan Libraries for Plan Recognition. Aparecerá en Proc. 3° International Conference on Production Research – Americas' Region. 2006

[13] M. Marchetta & R. Forradellas. Supporting Interleaved Plans in Learing Hierarchical Plan Libraries for Plan Recognition. Aparecerá en Proc. 8° Argentine Symposium on Artificial Intelligence.

[14] J. S. Penberthy & D. S. Weld. UCPOP: A sound, complete, partial order planner for ADL. En Proc. 3° International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning. 1992

[15] E.P.D. Pednault. Formulating multi-agent, dynamic-world problems in the classical planning framework. En Proc. Workshop on Reasoning About Actions and Plans. 1986

Análisis de la cinética de degradación de fracciones de petróleo por biorremediación de suelos contaminados con petróleo.

A. Gaido; C. Severi; B. Mermet; A. Somonte
algaido@uncu.edu.ar; cralse17@yahoo.com.ar
DETI, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo

RESUMEN: Se trata del estudio de la cinética de la degradación de fracciones de petróleo en suelos contaminados y con tratamiento de biorremediación de treinta meses por Land-Farming [1]. Se estudió las fracciones de saturados, aromáticos, polares y asfaltenos utilizando como técnica de análisis una adaptación de Normas ASTM D 473-81 y ASTM D 2007-91 [2], informándose los contenidos sobre la muestra total de tierra y sobre el extracto obtenido. En las conclusiones se señala que se observa una disminución de 52% del contenido inicial, siendo la velocidad en los primeros meses sensiblemente superior a los siguientes. Los saturados disminuyen un 87% del inicial sobre la muestra total y un 55% del contenido en extracto. También es superior la velocidad en el primer tramo del tratamiento. En aromáticos la disminución sobre muestra total es de 51%, otra vez mayor en la primera parte. El contenido sobre el extracto permanece constante. En polares sobre muestra baja un 44% ahora en forma lineal en todo el tratamiento. Sobre extracto se produce un aumento lineal de 32%. En asfaltenos sobre muestra se aumenta un 30% en forma lineal y un 22% sobre extracto, acelerándose este hacia el final.
Se sugiere que el mecanismo es el de evolución de saturados hacia el resto de las fracciones, degradándose éstas a menor velocidad.

1 INTRODUCCIÓN

La contaminación de suelos con sustancias orgánicas, como petróleo y sus derivados es un problema de orden mundial. El tratamiento más frecuente de esta contaminación es a través de procesos de biorremediación, es decir, degradación de los contaminantes por microorganismos vivos.
En la Argentina existen básicamente dos técnicas de tratamiento, el "Landfarming", en el que se hace una oxigenación del suelo por remoción mecánica, sobre capas de poco espesor, y la de "acumulación aireada", en la que forman pilas de cierta altura que se oxigenan mecánicamente [1].
En este trabajo se sigue la evolución del contenido total, extracto, y por fracciones del contaminante en un tratamiento por "Landfarming" sobre un suelo de la zona de Barrancas, Mendoza, que fue trabajado por el Grupo de Bioprocesos de la Facultad de Ingeniería de la UNCuyo.

2 RESULTADOS

En el Tabla 1 se muestra la evolución de Contenidos Total, Extracto, y Fracciones, informadas sobre muestra total y sobre extracto a través de 30 meses de tratamiento de un suelo contaminado. Se expresa en porcentaje o g/100g.

Tabla 1: evolución del contenido total y por fracciones de hidrocarburos en el suelo.

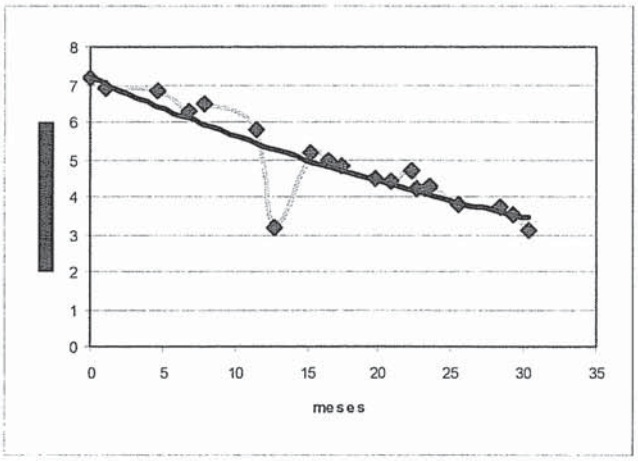
		Extracto	Asfaltenos		Saturados		Polares		Aromáticos	
	Fecha (mes fracción)	% sobre muestra	Sobre Muestra	Sobre Extracto	Sobre Muestra	Sobre Extracto	Sobre Muestra	Sobre Extracto	Sobre Muestra	Sobre Extracto
1	0	7,2	1,3	18,7	3,1	43,5	1,6	21,8	1,1	15,9
2	1,1	6,9	1,6	23,2	2,9	42	1,6	23,2	0,8	11,6
3	4,6	6,8	1,5	22,0	2,8	41,7	1,6	23,9	0,8	12,3
4	6,7	6,3	1,4	22,2	2,43	36,5	1,8	28,6	0,7	11,1
5	8,0	6,5	1,2	18,9	1,9	30,3	2,6	40,1	0,7	10,6
6	11,5	5,8	1,7	29,8	2,6	43,8	0,3	*	*	21,2
7	12,8	3,2	0,9	26,9	0,9	28,6	1,2	37,6	*	6,9
8	15,2	5,2	1,3	25,2	1,8	33,2	1,5	28,8	0,7	12,7
9	16,4	5,0	1,5	30	1,0	20	1,7	34	0,7	14
10	17,4	4,8	1,7	30,2	0,9	18,5	1,7	37,2	0,6	13,8
11	19,7	4,5	1,6	33,5	0,9	17,3	1,5	35,3	0,6	13,9
12	20,8	4,4	1,5	34,7	0,8	17,3	1,4	35,0	0,5	13,0
13	22,2	4,7	1,8	35,3	0,7	16,9	1,7	34,9	0,5	12,8
14	22,6	4,2	1,5	36.0	0,7	16,4	1,3	35,3	0,6	12,3
15	23,5	4,3	2,0	36,6	0,4	15,9	1,4	35,7	0,5	11,9
16	25,6	3,8	1,7	36,8	0,5	16,0	1,2	35,2	0,4	12,0
17	28,3	3,7	1,5	37,1	0,4	15,6	1,3	35,8	0,5	11,5
18	29,3	3,5	1,6	38,4	0,3	15,3	1,2	34,9	0,4	11,5
19	30,4	3,1	1,4	39,2	0,4	15,2	0,9	34,4	0,5	11,2

* muestras falladas.

2.1 Extracto

Se llama extracto al contenido total de hidrocarburos en la muestra, obtenido por extracción con tolueno. En Fig. 1 se muestra la evolución del Extracto. La tendencia, calculada en forma exponencial, señala una disminución marcada, más pronunciada en la primera mitad del tiempo, un 33%, aplanándose lentamente desde ese mes con una disminución del 19% del inicial al final del tratamiento, con un global neto de 4%. Las irregularidades observadas en el primer año obedecen a dificultades en el muestreo, que fue mejorada luego.

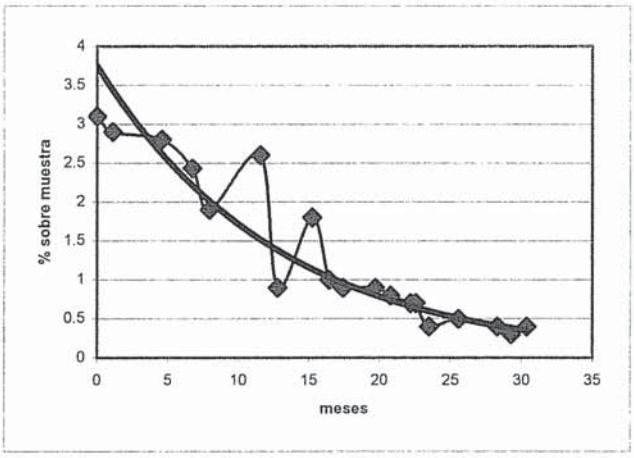
La pendiente promedio de los primeros 15 meses es de 0,16 g/100g por mes y la de los 15 siguientes cae a 0,09 g/100g por mes La humedad media fue de un 7%.



1: Evolución extracto sobre muestra

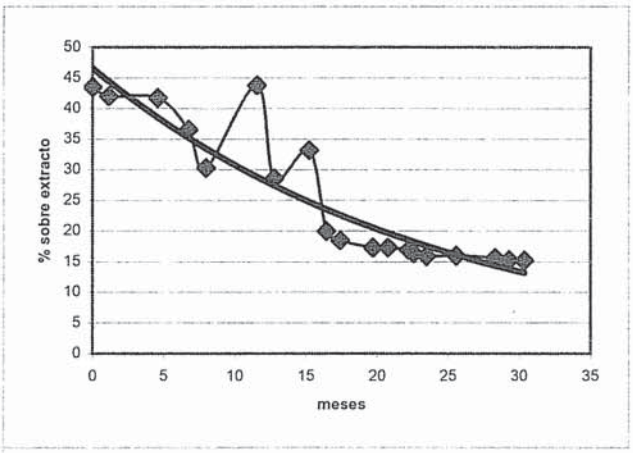
La muestra 1 es de agosto del 2002 y puede observarse que no hay diferencias notables entre los meses más calurosos y más fríos.

Figura 2: Evolución saturados sobre muestra



2.2. Saturados

En las Fig. 2 y 3 se muestra la evolución de hidrocarburos saturados en porcentajes sobre muestra y sobre extracto respectivamente.
En los resultados sobre muestra total, sobre una fuerte disminución, se observa nuevamente una mayor velocidad en la primera mitad con una bajada del 62%, llegando en la segunda a un 25% sobre el contenido inicial. La velocidad es comparable con la del extracto total en la primera parte: la pendiente promedio de la tendencia es de 0,15 g/100g por mes en la primera mitad y de 0,06 para la última. Respecto del contenido sobre extracto, se observa que al comenzar el tratamiento es grande , del 45% y la disminución es marcada.
Durante la primera mitad cae un 45% y un 10%



en la segunda mitad. El contenido se mantiene
Figura 3: Evolución de saturados sobre extracto

prácticamente constante desde el vigésimo mes. Las pendientes promedio son de 1,4 g/100g por mes para la primera mitad y de0,66 para la segunda.

2.3 Aromáticos

En las fig. 4 y 5 se muestran las evoluciones de los contenidos sobre muestra y extracto respectivamente.
Sobre muestra la reducción total es de 51%, correspondiendo a 32% los primeros 15 meses y 19% los últimos, calculados sobre el contenido inicial, con un neto de 0,49 g/100g.
Las pendientes de la tendencia son de 0,02 g/100 g por mes y 0,01 g/100 g por mes respectivamente.
El contenido sobre extracto se mantiene prácticamente constante en 13% a lo largo de la corrida.

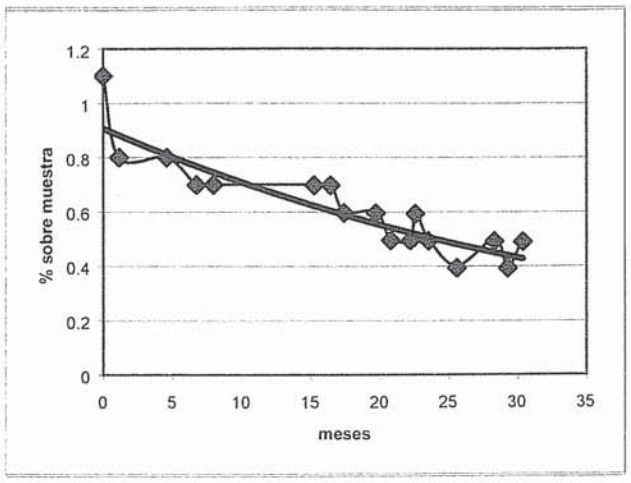


Figura 4: Evolución aromáticos sobre muestra.

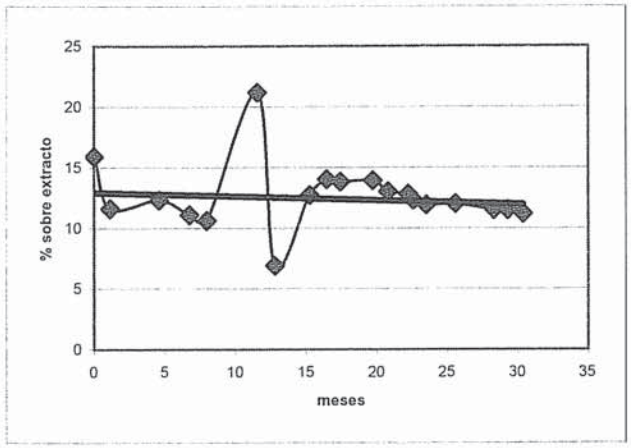


Figura 5: Evolución de aromáticos sobre extracto.

2.4 Polares

Se muestran sus cambios en las figs. 6 y 7. Los resultados sobre muestra dan una tendencia casi lineal con el tiempo. La disminución total es del 44% respecto del inicial con un 0,3 % neto y la pendiente es de 0,02 g/100g por mes.
Los contenidos sobre extracto evolucionan aumentando en forma casi lineal en un 32% del inicial, con una velocidad constante de 0,4 g/100g por mes.

2.5 Asfaltenos

En las figs. 8 y 9 se ven sus evoluciones respecto de muestra y extracto.
Sobre muestra se observa un aumento lineal con el tiempo del 30% respecto del contenido inicial

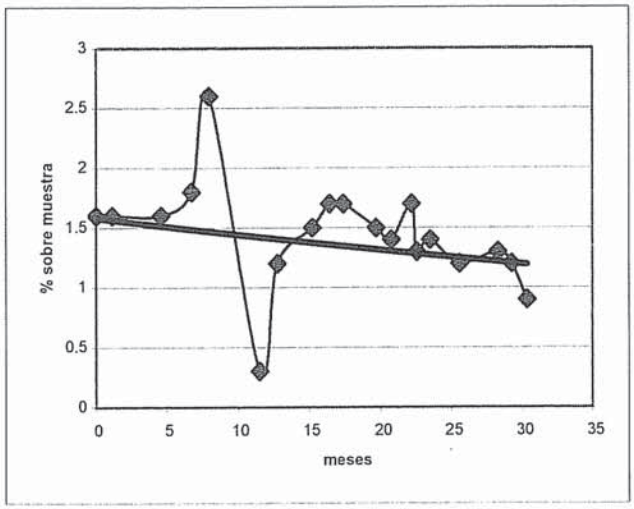


Figura 6: Evolución de polares sobre muestra.

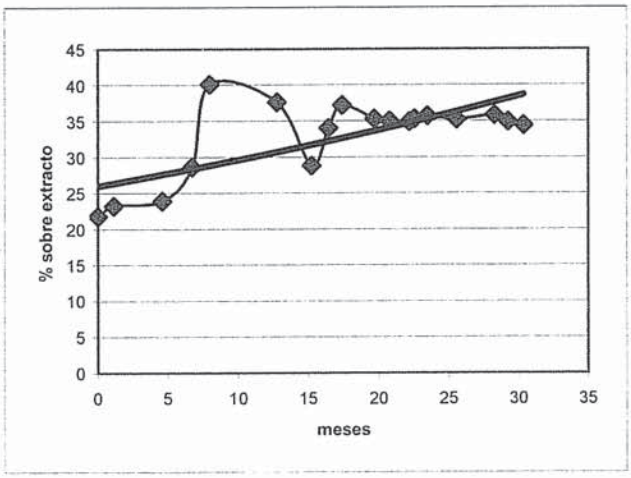


Figura 7: Evolución polares sobre extracto.

con un neto de 0,3 %, a una velocidad de 0,01 g/100g por mes constante.
El contenido sobre extracto se incrementa un total del 110 % sobre el inicial, correspondiendo a 40 % en los primeros 15 meses y 64 % en los últimos. Las velocidades corresponden en

promedio a 0,53 g/100g por mes y 0,93 g/100g por mes respectivamente.

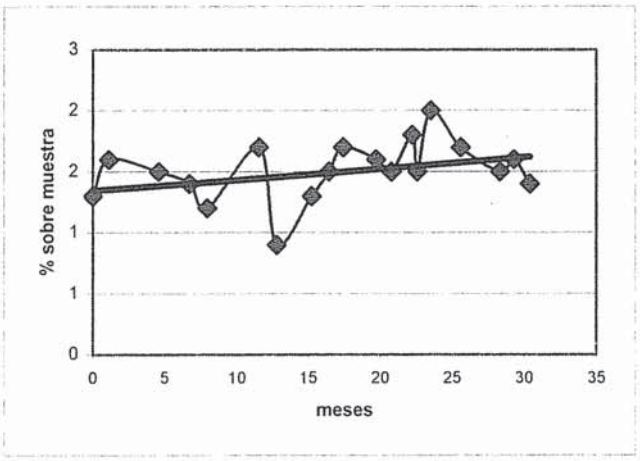


Figura 8: Evolución de asfaltenos sobre muestra.

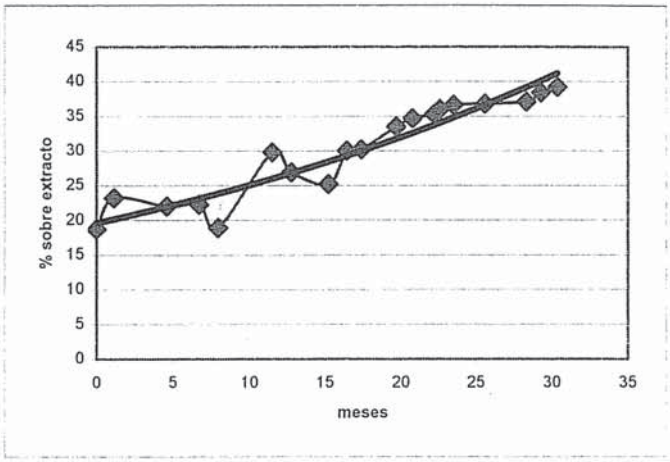


Figura 9: Evolución de asfaltenos sobre extracto

En el cuadro 2 se resume la disminución neta del contenido de extracto y fracciones sobre muestras para los primeros y últimos 15 meses

En el cuadro 3 se muestran las velocidades de disminución de extracto y fracciones para los primeros y últimos 15 meses

Cuadro 2 : Disminución neta del contenido total y fracciones pobre muestra

	Extracto	Saturados	Aromáticos	Polares	Asfaltenos
Disminución neta 2ª parte en g/100g	2.4	2.1	0.3	0.2	-0.05
Disminución neta 1ª parte en g/100g	1.6	0.9	0.2	0.2	-0.05
Total	4.0	3.0	0.49	0.4	-0.1

Cuadro 3: Velocidad de disminución de contenidos de extracto y fracciones sobre muestra

	Extracto	Saturados	Aromáticos	Polares	Asfalteno
Velocidad 1ª parte g/100r	0.16	0.15	0.02	0.02	-0.01
Velocidad 2ª parte g/100G	0.09	0.06	0.01	0.02	-0.01

3 CONCLUSIONES

En el proceso, esencialmente aeróbico [1] existe una real disminución en el contenido total de hidrocarburos con una velocidad inicial mayor que al final, como es esperable.

En este primer trabajo no se ha medido la cantidad de nutrientes para los microorganismos del suelo.

La velocidad parece no depender de la temperatura ambiente, atribuible probablemente a la exotermicidad de la reacción y la poca conductividad térmica de la tierra.
Los problemas de difusión de oxígeno se minimizan debido a lo delgado de la capa [1].
Respecto de la evolución sobre las respectivas fracciones sobre muestras, se puede observar una gran disminución de saturados respecto de las otras aún en caso de concentraciones comparables; sobre el final con un 0,4 % de contenido la velocidad se anula. Su velocidad es prácticamente igual a la del extracto, lo que sugiere que el mecanismo sería el de conversión de saturados hacia el resto, degradándose éstas a una velocidad sensiblemente menor.
La velocidad de degradación de asfaltenos es lo suficientemente pequeña como para aumentar su contenido porcentual en el tiempo.
La disminución neta del extracto total es, dentro de los límites de error del método analítico, igual a la sumatoria de las de las fracciones.
En cuanto a la evolución sobre extracto, se observa la alta velocidad inicial de saturados, que luego disminuye y casi se anula sobre el final, en 15% sobre extracto y 0,4% sobre muestra. En forma similar se comportan los aromáticos, que casi anulan su velocidad a un 0,4% sobre muestra y 12,5% sobre extracto.
Polares y asfaltenos aumentan su concentración, aunque los polares se mantienen constantes al 35% sobre extracto, al vigésimo mes coincidente con el aplanamiento de saturados y aromáticos, lo que implicaría que se igualaron las velocidades por la disminución de sus concentraciones totales.

4 REFERENCIAS

1 E. Ercoli y otros; Análisis de comportamiento microbiano en procesos de degradación de hidrocarburos en suelo. Revista de la Facultad de Ingeniería de UNCuyo (2000) págs. 5 –11.

2 A. Gaido y Otros. Caracterización de fracciones de hidrocarburos en suelos biorremediados. SECYT de UNCuyo (Informe 2000).

Deposición electroforética de óxidos sobre distintos sustratos: caracterización de suspensiones y recubrimientos.

M.J. Santillán , F. Membrives & E. Muñoz Puntes

mjsanti@fcai.uncu.edu.ar , fmembriv@fcai.uncu.edu.ar & emunoz@fcai.uncu.edu.ar
Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria, Universidad Nacional de Cuyo. Argentina

A.R. Boccaccini.

boccaccini@imperial.ac.uk
Departament of Materials. Imperial College. London

N.E.Quaranta.

nancyutn@cablenet.com.ar
UTN-Facultad Regional San Nicolás- Argentina

RESUMEN: La deposición electroforética (EPD) es una herramienta con gran potencial para fabricar recubrimientos y conformar piezas de diversas geometrías. Es una técnica que puede llevarse fácilmente a escala industrial. En este trabajo se discute la caracterización reológica de suspensiones no acuosas de titán empleadas en EPD, como también la caracterización microestructural de recubrimientos de Titania y de $La_{0,6}Sr_{0,4}Co_{0,8}$ $Fe_{0,2}$ $O_{3-\delta}$ (LSCF). La elección de estos materiales tan dispares se motivó para mostrar el amplio rango de aplicabilidad de la técnica. En el caso de la Titania, se sabe que es un material biocompatible, usado en el campo de la medicina y también como material en celdas solares. El LSCF, es un oxido que se emplea dentro del campo de energía y es importante el control microestructural de los films.

1 INTRODUCCIÓN

El uso de polvos nanoestructurados de titania (TiO_2) empleados para la formación de films delgados ha tomado importancia en los últimos años por sus propiedades fotocatalíticas [1] y biomédicas [2]. Los nanopolvos de titania han sido empleados en estudios previos de recubrimientos por EPD de fibras de C y SiC [3], fibras y placas de acero inoxidable [4] y sobre otros metales. También se ha empleado en el estudio del comportamiento reológico de titania en suspensiones acuosas [5].
Otros materiales cerámicos de amplio uso son los óxidos no estequiométricos, que presentan una conductividad mixta, tal es el caso de la perovskita $La_{0,6}Sr_{0,4}Co_{0,8}$ $Fe_{0,2}$ $O_{3-\delta}$ (LSCF), la cual se está estudiando para ser empleada como material de cátodo de celdas de combustible de óxido sólido (SOFC) para altas e intermedias temperaturas [3-4]. La elección de esta perovskita como material de cátodo, se debe a que presenta conductividad mixta, es decir buena conductividad electrica e iónica. Este comportamiento, permite utilizar toda la superficie del cátodo para la reacción de electrodo, eliminando así la condición de necesidad de la zona de triple contacto para que dicha reacción se lleve a cabo. Estas películas que conforman los cátodos de las

SOFC, se han realizado por métodos diversos, tales como dip coating, spin coating y aerografia [6-7], influyendo según el método empleado en la respuesta electroquímica de la celda (por medio de impedancia compleja) , ya que se ha visto que el método de deposición influye fuertemente en la microestructura final de la película.
La fabricación de películas por EPD es uno de los métodos más interesantes empleados, ya que es una técnica muy versátil, rápida, de bajo costo, posible de adaptar a muchas geometrías y que permite utilizar una gran variedad de materiales tanto de sustratos como también de precursores cerámicos a emplear en la deposición [1].
En este trabajo se presenta la caracterización reológica de suspensiones no acuosas de titania. También se realiza la caracterización microestructural de los depósitos obtenidos de titania sobre acero inoxidable y de LSCF sobre discos de óxido de Cerio dopado con Gadolinio (CGO), ambos obtenidos por deposición electroforética.

2 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Como precursores cerámicos se usaron nanopolvos de óxido de titanio, (P25, Degussa), con tamaño de partícula de 21nm y s.e. de $50m^2/g$, y micro polvo de $La_{0,6}Sr_{0,4}Co_{0,8}\ Fe_{0,2}\ O_{3-\delta}$ obtenido por método de nitratos (liquid mix).
Como sustratos en el proceso de deposición, se empleó acero inoxidable (15x10x0,5mm) en los depósitos de Titania y discos de CGO (10,2mm de diámetro) sinterizados a 1360ºC como sustrato de los depósitos de la perovskita.

2.1. *Caracterización reológica de suspensiones de TiO_2.*

La suspensión no-acuosa, de 2,4 pentadinona y yodo, 99+%, se trabajó a concentraciones de Titania de 0,075 hasta 0,675 en g%ml, medidas todas a un pH comprendido entre 4.5-5.5, de acuerdo a trabajos previos [5-6]. Se estabilizó por agitación magnética durante 45 min cada suspensión antes de medir la viscosidad. Las determinaciones de viscosidad (η_s) se hicieron a temperatura ambiente en un reómetro Rotatorio Brookfield LV-III, con UL Adapter. Los cambios de velocidad de deformación (γ) en función del tiempo fueron de 10 a 250 rpm cada 15 seg y luego decreció a la misma tasa de rapidez al valor inicial de ensayo. Las curvas de flujo se hicieron en pares de valores Fuerza-velocidad de cizalla. Los valores obtenidos se ajustaron a la Ecuación Oswald

$$\eta = K.\gamma^n \qquad (1)$$

En donde η es la viscosidad (Pa.s) , γ la velocidad de cizalla (s^{-1}), estimando por regresión no lineal los valores de los índices de consistencia(K) y de flujo (n).

2.2. *Deposición electroforética de TiO_2.*

Para los recubrimientos de Titania el sustratoempleado fue placas de acero inoxidable, sujetas al conductor por medio de un sistema de ajuste móvil que permite regular la distancia entre electrodos y el alto de los mismos. El contraelectrodo se confeccionó del mismo material. La distancia entre electrodos fue de 15 mm. La concentración de trabajo fue de 0,25g%ml. Los voltajes empleados fueron de 5 a 20 V durante intervalos de 30 a 120 seg. Después de la deposición, las muestras se secaron en aire por 48 hs. La caracterización microestructural se realizó por SEM(Philips 515).

2.3. *Deposición Electroforética de LSCF.*

Se empleó suspensión no-acuosa, de 2,4 pentadinona y aditivos a una concentración de 100g/l de oxido mixto. Las deposiciones se realizaron a voltaje constante (10-30 V), durante tiempos de 60-180 seg. Luego se sinterizó los depósitos a distintas temperaturas con el objeto de mejorar la micro estructura de los depósitos de perovskita sobre CGO. Por difracción de rayos X (Philips PW 1700 con radiación Cu K) por el método de polvos se corroboró la fase presente después del Sinterizado. La micro estructura fue analizada por microscopia de barrido SEM (Philips 515).

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Caracterización reológica de suspensiones de TiO_2

Se estudió el comportamiento reológico del solvente puro, es levemente dilatante estabilizándose por encima de los 250 s^{-1}. Comportamiento similar es el de la suspensión de titania al 0,25% sin el agregado de yodo. Las suspensiones de baja concentración muestran un comportamiento seudoplastica al igual que a altas concentraciones, adquiriendo

posteriormente el mismo comportamiento que el solvente y la suspension de 0,25% (C5).

La η_{ap} vs γ se muestra en la fig. 1. Las curvas se ajustaron matemáticamente al modelo de Ostwald (ec.1), encontrando los valores de n y K. En la **Tabla 1**, se muestran los resultados obtenidos.

En línea general la viscosidad de la suspensión no manifiesta un incremento muy marcado en función de la concentración. De todos modos, se puede observar la relación mayor concentración, mayor viscosidad en las suspensiones estudiadas a bajas velocidades de deformación, a excepción de 0,25%. (Tal vez este efecto no es mayor porque a concentraciones por encima de 0.35% comienza a sedimentar sólidos con el tiempo, volviéndose la suspensión muy inestable.

3.1.1 Efecto de pH

Para este aspecto se trabajo a 0,25%vol. Se observa un rango muy estrecho de pH en donde la misma es estable. Por debajo de 4,2 y encima de 5.5 la suspensión se desestabiliza completamente. Esto corrobora los rangos de trabajos de otros autores [5].

En la Fig. 2 (η vs pH), muestra un valor óptimo de pH donde la suspensión es estable. Este valor corresponde al valor de mínima viscosidad, ph = 5 y es un punto de transición y estabilidad entre la atracción y repulsión de partículas que conforman la suspensión. Fuera de este rango de pH, genera un aumento en la viscosidad posiblemente por refloculación.

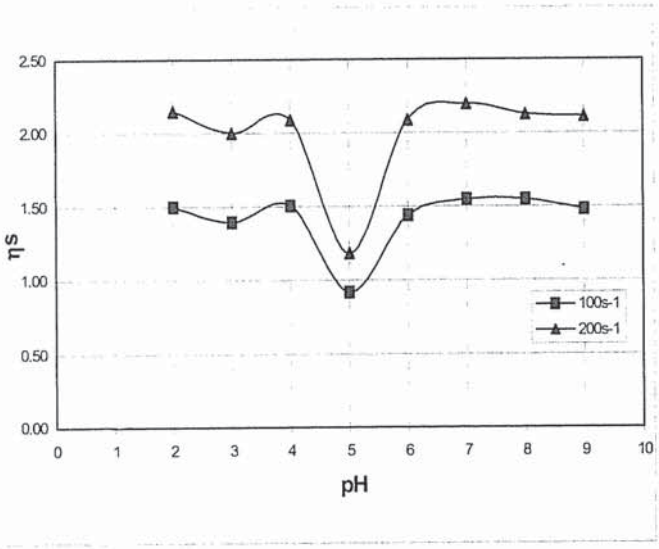


Fig.2 :viscosidad en función del pH de la suspensión al 25g%ml

En la Fig. 3 se muestra que a pH superiores e inferiores a 5 la tensión de corte es superior, mostrando una gran inestabilidad en los valores obtenidos a PH inferiores de 4, posiblemente a causa de la formación de flóculos.

La determinación de la concentración máxima de sólidos, ϕ_m , se realizó por medio de la relación $\left(1-\eta_r^{1/m}\right)-\phi$ la cual generalmente presenta una relación lineal en un amplio rango de fracción volumétrica de partículas. El índice de fluido, m, adopta valores dentro en el rango de =2-3 [Liu (2000), Tseng and Chen (2003)].

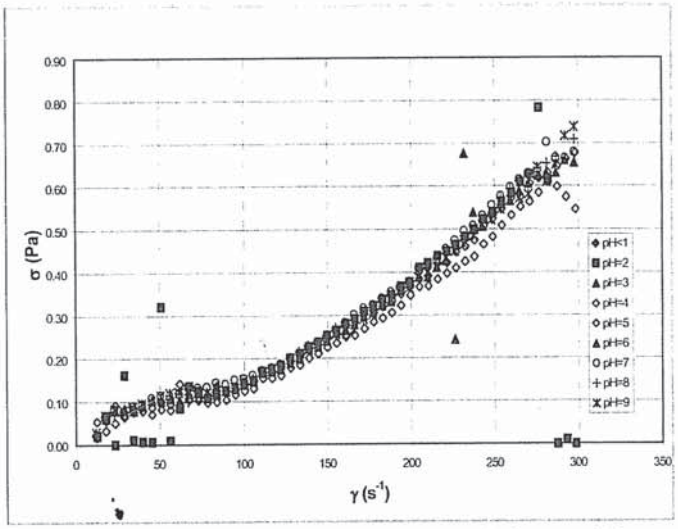


Fig.3 :Curva Tensión –velocidad de deformación a distintos pH de la suspensión al 25g%ml.

Asumiendo que el índice de flujo, m, es igual a 2. Se observa una muy buena correlación en un 99,67% . Extrapolando $\left(1-\eta_r^{1/2}\right)\rightarrow 1$, se halló que el máximo de partículas posibles para la suspensión es de 1,94g%ml.

3.2. Deposición Electroforética de TiO_2.

En función a la observación visual y por SEM, los mejores recubrimientos sobre acero inoxidable se obtuvieron con concentraciones de titania de 0,25 g%ml a tensión constante de 10V y 15V en un intervalo de tiempo de 90-120 seg. A tiempos mayores de deposición la misma no provocaba mucho incremento en el peso de depósito. Claramente se observa a 10 y 15 V una superficie densa y uniforme del film. Fig. 4 y 5.

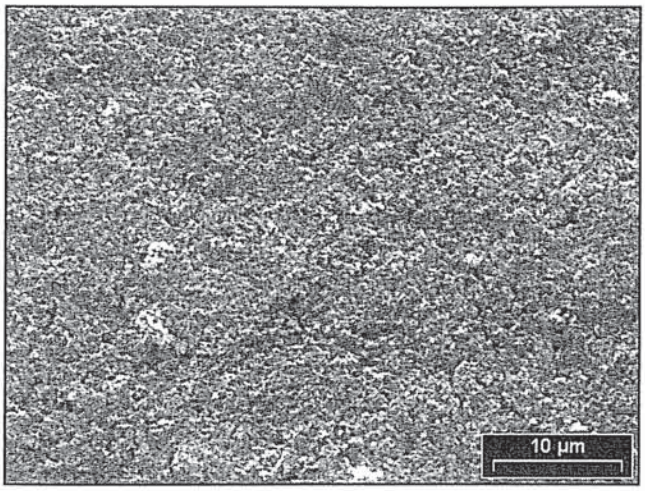


Figura 5. Micrografía de SEM de film de titania a 15V-120 seg. obtenido por EPD.

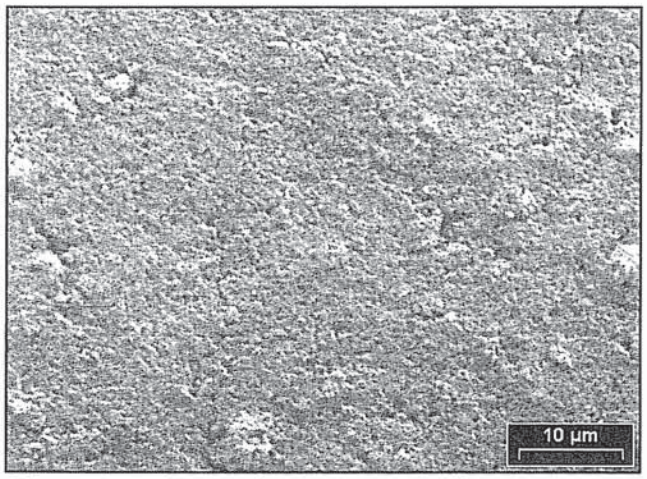


Figura 4. Micrografía de SEM de film de titania a 10V-120 seg. obtenido por EPD.

3.3. Deposición electroforética de LSCF.

Se obtuvo un buen control de la microestructura regulando la presencia de aditivos, como grafito, almidón, PVB y otros, en conjunto de los tratamientos térmicos aplicados para la sinterización de la película sobre los discos de CGO (unión cerámico-cerámico). Éste es un aspecto muy importante a considerar, ya que la temperatura de sinterización es uno de los factores mas influyentes en el control microestructural y de porosidad de los cátodos de las SOFC.

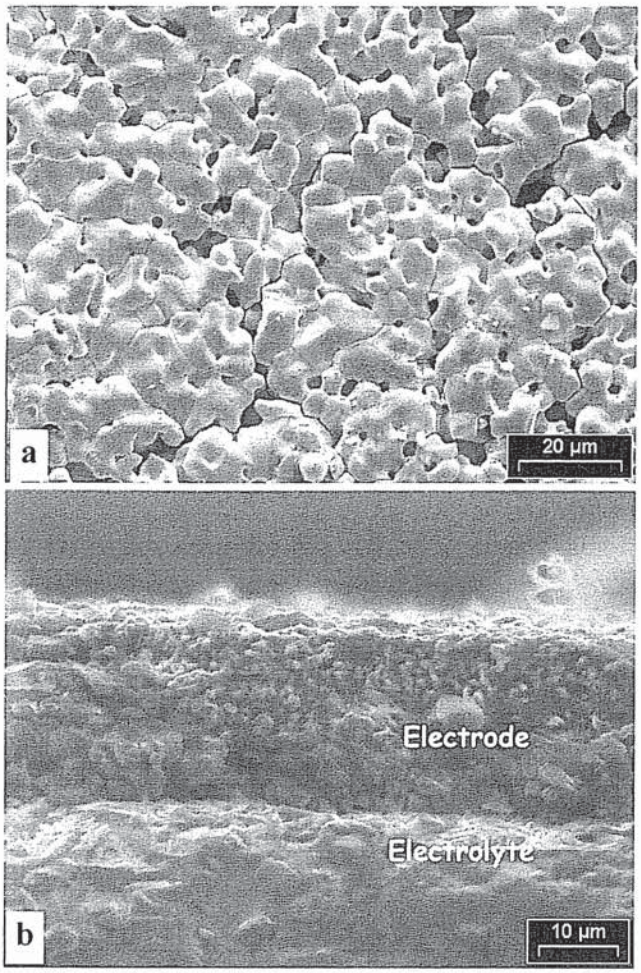


Figura 6. EPD de LSCF sobre CGO por 2min y 10V.Trat. térmico de 2hs.

En la Figura 6 y 7, se muestran las características superficiales de dos muestras diferentes, depositadas por EPD a distinto voltaje, tiempo y temperatura de sinterizado (1050-1150°C). Como se puede observar, se logra distintas caracteristicas microestructurales tanto en superficie de la película como en el bulk. También se manifiesta muy baja porosidad en el film obtenido a 10V y sinterizado a menor temperatura (Fig. 6). Para el film obtenido a 45 V, se obtiene una mayor aglomeracación y como resultado final , el cátodo es de muy alta densidad (Fig.7).

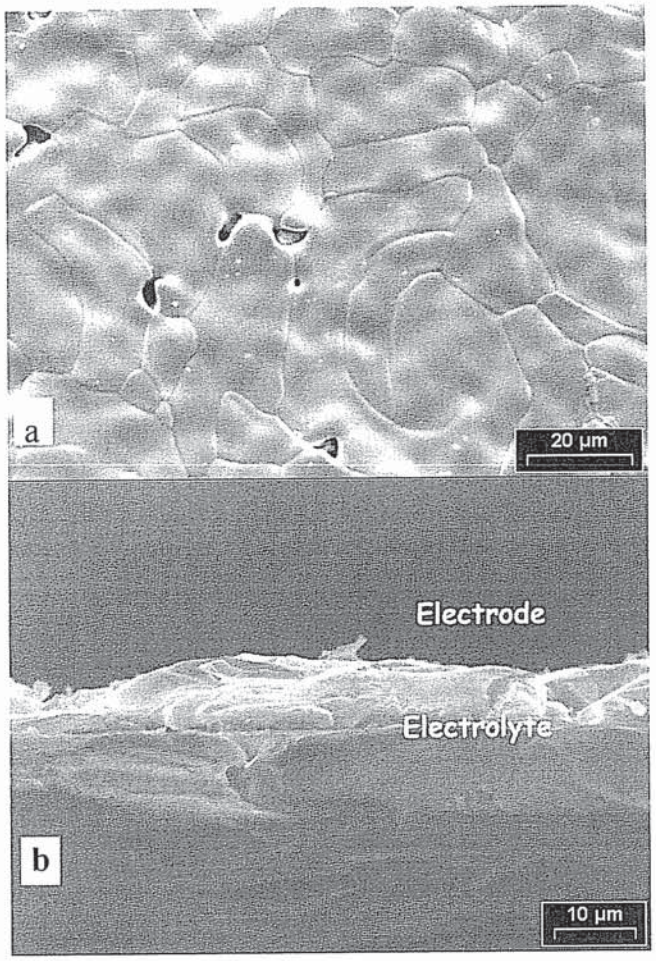


Figura 7. EPD de LSCF sobre CGO por 3min y 45V.Trat. térmico de 3hs.

Para verificar la presencia de la fase correspondiente a $La_{0.6}Sr_{0.4}Co_{0.8}$ $Fe_{0.2}$ $O_{3-\delta}$ luego del proceso de sinterizado, se realizó DRX con difractrómetro Philips PW 1700.

El difractograma se puede observar la presencia de la misma estructura cristalina, cuyas reflexiones confirman que la fase depositada, se mantuvo inalterada despues de la sinterización, por lo que las propiedades de conductividad electrónica e iónica (conductividad mixta) no se modificaron y el cátodo obtenido es apto para realizar estudios fisicoquimicas a través de impedancia compleja de estos materiales.

El corrimiento que se observa en el difractograma es acorde a la diferncia en la temperatura de sinterización. (Fig. 8)

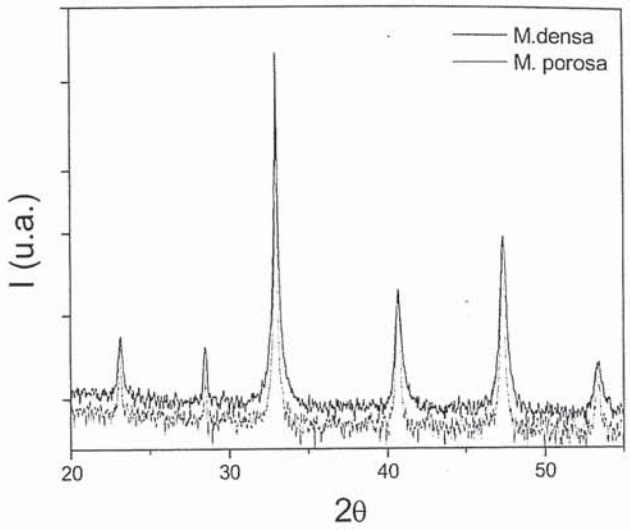


Figura 8. DRX de LSCF sobre CGO a distintas temperaturas y tiempos de sinterizado.

4 CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos ene el estudio reológico de las suspensiones no acuosas de titania, justifican trabajar dentro del rango de pH 4,5-5,5. Este rango de pH permite una buena movilidad electroforética de las particulas hacia el electrodo de trabajo, lo que dará como resultado una buena adhesión de las particulas al sustrato. Tambien permite obtener una suspensión estable, lo que influye en la homogeneidad del recubrimiento.

La determinación del máximo de sólidos solubles que permite este tipo de suspensión asegura la no floculación de las particulas, por lo tanto, contribuye a la esrtabilidad de la misma.

El comportamiento dilatante que presentan estas suspensiones, da una idea del comportamiento de flujo de la suspensión y las propiedades de adherencia que pueden tener las partículas. También se observó que fuera de este comportamiento reológico, la suspensión es inestable.

Los mejores depósitos de Titania sobre acero inoxidable se obtienen a 10V y 2 min de deposición, parámetros acordes a los de Boccaccini et al. [5] y corroborados en este trabajo.

En la deposición electroforética de películas de LSCF sobre CGO, se logró con un buen control microestructural, lo que permitirá avanzar en el estudio electroquímico de este material aplicando la técnica de impedancia compleja[3,7].En este caso se comparará la respuesta electroquímica de cátodos

obtenidos por distintas técnicas de deposión y se podrá determinar la aplicación definitiva de la EPD como método para obtener cátodos para SOFC de temperatura intermedia. No obstante, se puede aseverar que esta técnica permite controlar espesores y porosidad de los recubrimientos.
El análisis de los difractogramas de DRX de las perovsquitas, muestran que hasta las temperaturas de sinterización empleadas, no existe transformación de fase y se puede emplear como regulador microestructural.

5 AGRADECIMIENTOS

Se agradece extensamente a la FCAI, SecyT, CNEA y Fundación Antorchas por el apoyo finaciero para esta investigación y permitir mi avance en mi carrera de posgrado.

Al grupo de Caracterización de Materiales y óxidos no estequiométricos (CAB) por aportar la infraestructura y equipamentos empleados en esta investigación.

6 REFERENCIAS

1. AR Boccaccini, P Karapappas., J.M Marijuan., C Kaya. 39 (2004):951-859.
2. Daya R., Boccaccini Ar, Shureyc S, Roether A, Forbesa A,. Hench L, Gabea S, Biomaterials 25 (2004) 5857–5866.
3. A.Caneiro,P.Baudaz,J.Fouletier yJ.P.Abriata,Rev.Sci. Instruments 53(1982), 1072.
4. N Grumbaum, L Dessemond, J. Fouletier, F Prado, A Caneiro. Solid State Ionic ; 177 (2006)907.
5. C, Kaya F, Su B., Thomas B, Boccaccini AR. Surface Coatings Tech.;191(2005):303–310.
6. J. Wenjea, A. Tseng, Kuang-Chih Lin. Materials Science and Engineering A355 (2003) 186_ 192.
7. L. Baqué, A. Serquis, N. Grunbaum, F. Prado, A.Caneiro. Preparation and characterization of Solid Oxide Fuel Cells Cathodes Films. Mater. Res. Soc. Symp. Proc Vol 928-Materials Research Society (GG16-03)

Diseño y simulación de un motor Stirling

L.S. Scollo

lscollo@cediac.uncu.edu.ar
Grupo de Energía Solar, Inst. CEDIAC, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo

RESUMEN: En este trabajo se presentan los resultados del estudio de la metodología de diseño y análisis de motores de combustión externa. Se aplican los principios de semejanza energética y escalado en combinación con simulación adiabática, análisis de pérdidas de carga y características de intercambio de calor. Finalmente se logra el diseño preliminar de un motor Stirling tipo alfa que utiliza en su mayoría partes convencionales para la construcción. El diseño final presenta características de desempeño teórico aceptable.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 *El motor Stirling en la historia*

Es preciso comenzar con una breve reseña sobre los motores de combustión externa, puesto que la formación de muchas universidades no los incluyen en sus programas de termodinámica o maquinas térmicas y por lo tanto resultan bastante desconocidos.

El motor Stirling fue patentado en 1816 por Robert Stirling en Escocia en tiempos de la máquina de vapor con la idea de reducir el consumo de combustible y lograr un artefacto mas seguro. Es además, como vemos anterior al motor de combustión interna que surge recién a fines del mismo siglo.

Actualmente ha vuelto a cobrar interés el ciclo debido a sus varias ventajas principalmente frente a la escasez de fuentes no renovables:

- La fuente de calor es externa, por lo que resulta mas versátil, adaptándose a varios tipos de combustibles y fuentes alternativas.
- Su rendimiento máximo teórico es el mismo que el de Carnot [1], por lo que su potencial de optimización es mayor al del motor de combustión interna.

$$\eta = \frac{T_h - T_c}{T_h} \qquad (1)$$

En la actualidad es posible encontrar algunos equipos en etapa de introducción al mercado y prueba de desempeño real para su uso en microcentrales combinadas de calor y energía eléctrica y en instalaciones de energía solar por medio de concentradores parabólicos en algunos países. Sin embargo no existen en el mercado motores de este tipo de baja potencia (0,5 – 6 kW).

1.2 *Breve descripción del funcionamiento del ciclo*

El ciclo teórico ideal isotérmico se muestra en la Figura 1 y consta de dos transformaciones isotérmicas y dos isócoras. El proceso 1-2 es una compresión isotérmica. El calor cedido por el ciclo en este proceso es absorbido por el enfriador o intercambiador de compresión. El proceso 2-3 es un calentamiento a volumen constante en el cual el calor es cedido por el regenerador. El proceso 3-4 es una expansión isotérmica en la que el ciclo entrega trabajo a una fuente externa y absorbe calor desde el calentador. Finalmente se completa el ciclo con un enfriamiento a volumen constante dado por el

proceso 4-1. Como en el caso del proceso 2-3, el calor es intercambiado entre el gas y el regenerador, en este caso absorbiendo calor.

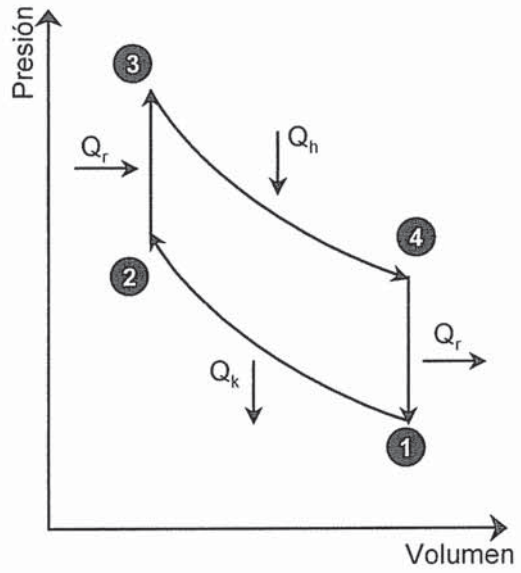


Figura 1. Ciclo Stirling ideal

Podemos observar según esta descripción que el regenerador es una parte vital del ciclo, absorbiendo calor en el proceso 4-1 y cediendo la misma cantidad de calor durante el 2-3. Se puede verificar que el calor intercambiado en cada una de las transformaciones anteriores es hasta 7 veces mayor a la cantidad de calor intercambiado en los procesos 1-2 y 3-4: Ref. [1]

1.3 *Enfoque y objetivos del presente trabajo*

Hasta la fecha se han realizado muchos intentos de describir y analizar el ciclo Stirling y calcular su rendimiento y principales parámetros de funcionamiento.
En cuanto al análisis del ciclo las principales contribuciones son de Schmidt (asumiendo transformaciones isotérmicas, regenerador perfecto, gas ideal, presión uniforme, temperaturas constantes), Finkelstein (supone espacios de compresión y expansión adiabático acercándose mas a la realidad).
Respecto de los métodos de diseño enumeramos brevemente las 5 alternativas básicas. Ver ref. [1,2,3]:

- De primer orden: Ecuaciones de Beale y Carlquist. Análisis isotérmico de Schmidt.
- De segundo orden: Basados en el análisis adiabático restando pérdidas por transferencia de calor y pérdidas de carga en el flujo. Phillips, Finkelstein, Martini.
- De tercer orden: Ecuaciones unidimensionales en nodos o volúmenes de control. Urieli, Finkelstein, Vanderung.
- De cuarto orden: Análisis multidimensional. Este método implica la simulación y mejor explicación de las características de transferencia de calor y de flujo del gas en el motor. Todavía no se ha avanzado mucho en este aspecto.
- El principio de semejanza energética y escalado: Se basa en las ecuaciones unidimensionales de transferencia de masa y calor. Éstas, en lugar de ser resueltas por métodos numéricos como en el caso de los de tercer orden, son normalizadas resultando entonces variables y parámetros adimensionales. Ver [4].

De esto último resulta que si dos máquinas de ciclo Stirling tienen dimensiones, y condiciones de operación tales que sus parámetros adimensionales coinciden, las dos máquinas tendrán idénticos trabajo específico por ciclo y eficiencia (adimensionales), ya que para ambas se resuelven las mismas ecuaciones [4].

El presente trabajo tiene como objetivo el diseño, y simulación de un motor Stirling con vistas a la construcción de un prototipo en el corto plazo, el cual será parte de un sistema de concentrador parabólico solar. Ref. [5]

Se considera que el enfoque de escalado por semejanza es el más apropiado al presente proyecto, pues brinda una solución rápida y de eficiencia aceptable. Por otro lado, El método de escalado, si bien ha sido contrastado con evidencia de motores construidos con anterioridad, ha sido utilizado pocas veces para diseñar nuevas máquinas y por lo tanto la construcción de este prototipo podrá proveer evidencia empírica al método.

2 DESARROLLO

2.1 *Características necesarias para la aplicación deseada*

El motor deberá ser de una potencia del orden de 0.5 a 1kW según lo especificado en el proyecto principal para su colocación en el foco de un concentrador solar parabólico.

Para minimizar el tiempo de construcción y costos del mismo se trata de utilizar la mayor proporción de partes estándar de máquinas existentes en el mercado por lo que en cada etapa del diseño se decide en función de ello.

2.2 *Elección de la configuración geométrica y cálculo preliminar de potencia*

Los motores Stirling cinemáticos se clasifican básicamente según tres configuraciones: alfa, beta y gamma [1], según se muestra en la figura 2:

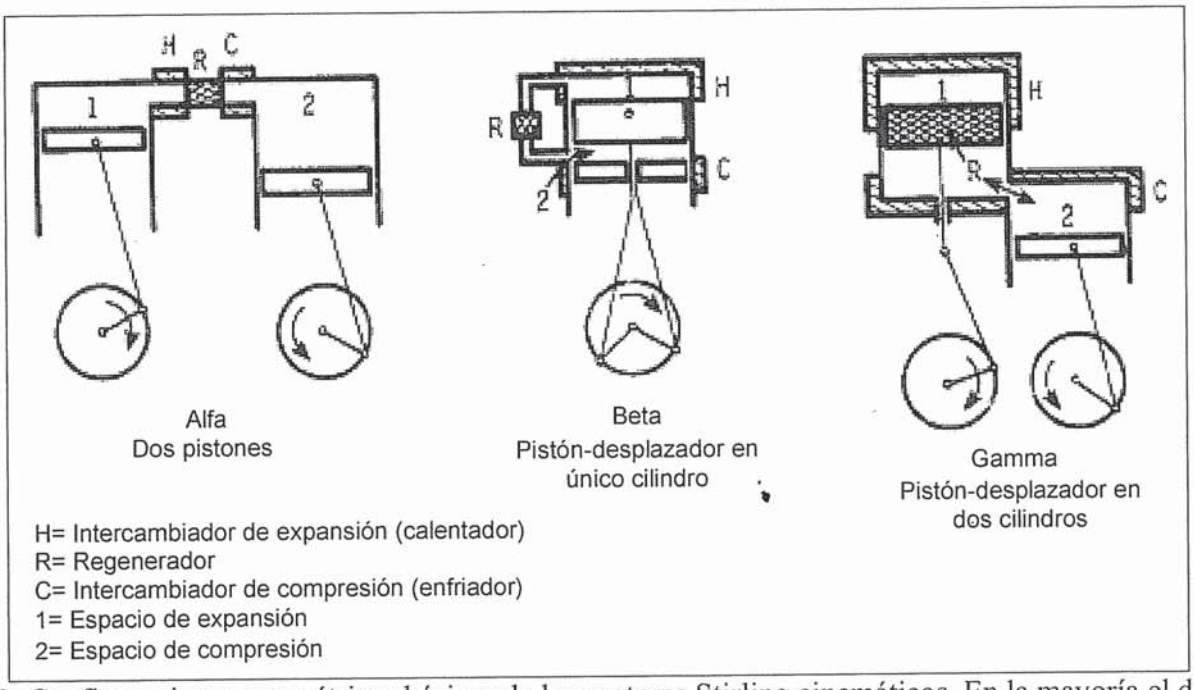


Figura 2: Configuraciones geométricas básicas de los motores Stirling cinemáticos. En la mayoría el desfasaje de movimiento de los pistones es de 90°.

Para la elección de la configuración del motor a diseñar, partimos de la posibilidad de adaptación de alguna máquina existente en el mercado local. La búsqueda se orientó a máquinas que cumpliesen los siguientes requisitos:

- Contar con dos pistones de igual diámetro
- Funcionar con aire o gas similar
- Tener desfasaje de movimiento de los pistones de alrededor de 90°.
- Soportar presiones lo más elevadas posible
- Soportar temperaturas altas en la zona de expansión.
- Tener bajo coeficiente de rozamiento y ser suficientemente estanca a los gases de trabajo normalmente utilizados. (Nitrógeno, Helio, Hidrógeno)
- Tener una relación de volumen barrido, potencia y presiones de trabajo que permitieran lograr una potencia del orden de 0,5 a 1kW.

Luego de una intensa búsqueda y consulta con fabricantes llegamos a la conclusión de que un compresor de aire a pistón del tipo Baja-Baja con dos pistones en V cumplía con gran parte de estos requisitos.

Por otro lado, esta forma de trabajar nos evita tener que diseñar partes convencionales del motor tales como el cárter, cigüeñal, bielas, pistones, cilindro y por lo tanto permite un avance mas rápido y económico para la fabricación del prototipo.
La configuración geométrica elegida resultó ser entonces la denominada alfa, de dos pistones en V.
Para la selección del tamaño óptimo de compresor a utilizar como base del diseño se hizo uso de la ecuación de Beale (1). Ver ref. [1,2,4]. La misma es una correlación empírica encontrada para la mayoría de los diseños de motores exitosos.

$$P = N_B \cdot p_{ref} \cdot V_{sw} \cdot f \qquad (1)$$

donde:

P = Potencia del motor en W

N_B = Número de Beale (0,11 a 0,15 dependiendo de la calidad del diseño y materiales)

p_{ref} = Presión media del ciclo en bar.

$V_{sw} = \sqrt{2} \cdot V_{desplazado}$ = Volumen barrido en cm^3

f = Frecuencia de operación en Hz

Estos últimos tres datos están disponibles en la mayoría de los catálogos de compresores. Suponemos que el motor funcionará a la misma frecuencia que la máquina original y que la presión de referencia será un 80% de la presión máxima admitida por el compresor, de manera que la oscilación de la presión no supere la misma.
Realizando este cálculo obtenemos:

Tabla 1. Cálculo preliminar de potencia

Compresor	Potencia esperada
Tipo 2HP BB	420 W
Tipo 3HP BB	650 W
Tipo 5,5 HP BB	1379 W

De la tabla elegimos entonces el compresor 3BB que entra en el rango de potencia necesario.

2.3 *Procedimiento de diseño y cálculo termodinámico*

Como mencionamos en el punto 1.3, la metodología de diseño se basó en el enfoque de escalado y semejanza energética [4] combinado con una simulación adiabática y un análisis de pérdidas de carga de los intercambiadores y eficiencia del regenerador dimensionado según [3].

De esta manera se logra una imagen mas acabada del motor propuesto y permite observar la influencia de cambios realizados en los intercambiadores por motivos constructivos.
En la bibliografía, ver ref. [4], se describen extensamente los principios de semejanza energética a que se hace referencia así como sus fundamentos teóricos y evidencias empíricas. Sin embargo definimos aquí los parámetros adimensionales básicos y las ecuaciones utilizadas para el escalado del motor resumiendo la metodología empleada.
Para comenzar definimos los parámetros básicos de los cuales dependen el trabajo específico por ciclo y la eficiencia:

$$\xi, n_{th} = \xi, n_{th} \left\{ \begin{array}{l} N_T, \kappa, \alpha, \gamma \\ (\delta_e, \delta_{xe}, \delta_r, \delta_{xc}, \delta_c) \\ (N_{Txe}, N_{Tr}, N_{Txc}) \\ \left(\frac{N_{MA}}{\alpha_{ffxe}}, \frac{N_{MA}}{\alpha_{ffr}}, \frac{N_{MA}}{\alpha_{ffxc}}\right) \\ \P_v, N_F, N_{TCR} \end{array} \right\} \qquad (2)$$

Los parámetros de la ecuación (2) son:
Relación de temperaturas:

$$N_T = \frac{T_h}{T_k} \qquad (3)$$

Relación de volúmenes

$$\kappa = \frac{V_E}{V_C} \qquad (4)$$

Ángulo de desfasaje entre volúmenes de compresión y expansión:

$$\alpha \qquad (5)$$

Relación de calores específicos del gas:

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v} \qquad (6)$$

Espacios muertos normalizados

$$\delta = \frac{V_d}{V_{ref}} \qquad (7)$$

Los parámetros de las ecuaciones (3-7) hasta aquí descriptos son también parámetros de semejanza dinámica estricta entre el prototipo y la máquina escalada a partir del mismo (el derivado).

Describimos a continuación parámetros específicos de semejanza energética de la ecuación (2) .
Parámetros adimensionales combinados:

$$N_{TXe} = \left(\frac{L_{xe}}{r_{hxe}} \right)^{1.2} \cdot N_{SG}^{-0.2} \quad (8)$$

$$N_{TXc} = \left(\frac{L_{xc}}{r_{hxc}} \right)^{1.2} \cdot N_{SG}^{-0.2} \quad (9)$$

$$N_{Tr} = \left(\frac{L_{r}}{r_{hr}} \right)^{1.5} \cdot N_{SG}^{-0.5} \quad (10)$$

Número de Mach característico para cada uno de los intercambiadores:

$$\frac{N_{MA}}{\alpha_{ff}} = \frac{\omega L_x}{\sqrt{RT_{ref}}} \cdot \frac{1}{\delta_x} \quad (11)$$

Además de los anteriores es necesario definir algunas relaciones adimensionales extra que serán de utilidad:
Área de libre flujo normalizada:

$$\alpha_{ff} = \frac{A_{ff}}{L_{ref}^2} \quad (12)$$

Longitudes normalizadas:

$$\lambda = \frac{L_x}{L_{ref}} \quad (13)$$

Radios hidráulicos de los intercambiadores :

$$r_{hx} = \frac{d_x}{4} \quad (14)$$

Radios hidráulicos normalizados:

$$\lambda_{hx} = \frac{r_{hx}}{L_{ref}} \quad (15)$$

Número de Stirling:

$$N_{SG} = \frac{p_{ref}}{\omega . \mu_{ref}} \quad (16)$$

El procedimiento de diseño según Organ [4], es el siguiente. Omitimos los valores numéricos por comodidad de lectura:
1) Elegimos tres de los cuatro parámetros de la ecuación de Beale (1) y calculamos el cuarto de manera que N_B se mantenga constante. En nuestro caso los tres valores conocidos son la presión de referencia, el volumen barrido y la frecuencia de operación.
2) Calculamos la longitud de referencia o carrera termodinámica

$$S_{th} = \sqrt[3]{V_{sw}} \quad (17)$$

3) Utilizamos el parámetro $\frac{N_{MA}}{\alpha_{ff}}$ (ver ecuación 11) que debe ser idéntico para el prototipo y el derivado y calculamos:

$$\alpha_{ff}^{deriv} = \alpha_{ff}^{proto} \cdot \frac{N_{MA}^{deriv}}{N_{MA}^{proto}} \quad (18)$$

para cada uno de los intercambiadores y el regenerador.
4) Teniendo además los volúmenes normalizados (ec. 7) y áreas normalizadas (ec. 12) de cada intercambiador, podemos calcular las longitudes normalizadas de los mismos:

$$\lambda_x^{deriv} = \frac{\delta_x}{\alpha_{ffx}^{deriv}} \quad (19)$$

5) Utilizamos los parámetros combinados expresándolos en función de longitud y radio hidráulicos normalizados. Igualamos la expresión para prototipo y derivado:

$$\left(\frac{L_{xe}^p / L_{ref}^p}{r_{xhe}^p / L_{ref}^p} \right)^{1.2} \cdot N_{SG}^{-0.2} = \left(\frac{L_{xe}^d / L_{ref}^d}{r_{xhe}^d / L_{ref}^d} \right)^{1.2} \cdot N_{SG}^{-0.2} \quad (20)$$

Luego, reemplazando y simplificando:

$$\lambda_{hxe}^d = \lambda_{hxe}^p \frac{\lambda_{xe}^d}{\lambda_{xe}^p} \left(\frac{N_{SG}^p}{N_{SG}^d} \right)^{(0.2/1.2)} \quad (21)$$

De esta forma calculamos los radios hidráulicos normalizados de los intercambiadores y el regenerador.
Con esta información es ahora posible ahora calcular las longitudes absolutas, diámetros y áreas del diseño derivado. Ejemplificamos para el intercambiador de expansión:

$$L_{xe} = \lambda_{xe}^d \cdot L_{ref}^d \quad (22)$$

$$r_{hxe} = \lambda_{hxe}^d \cdot L_{ref}^d \quad (23)$$

El diámetro interno de los tubos de los dos intercambiadores será:

$$d = 4 \cdot r_h \tag{24}$$

Para el caso del regenerador que se forma con capas apiladas de círculos de malla de alambre, debemos determinar el diámetro del alambre y número de mesh de la malla de acero que se utilizará como base. Luego se debe determinar la cantidad de capas de malla que se apilarán:

$$d_w = 4 \cdot r_{hr}^d \cdot \frac{1-\P_v}{\P_v} \tag{25}$$

$$m_w = 4 \cdot \frac{1-\P_v}{\pi \cdot d} \tag{26}$$

donde $\P_v$ es la porosidad volumétrica del regenerador.

Queda solamente por calcular el área de flujo libre, lo cual hacemos con la ecuación (12) y la cantidad de tubos en los intercambiadores, dividiendo la misma por el área de cada tubo.

Hemos hecho hasta aquí un breve resumen del procedimiento utilizado para el escalado. A continuación exponemos el diseño de nuestro motor en particular.

2.4 *Diseño preliminar por escalado*

Como punto de partida elegimos el motor prototipo del cual escalamos nuestro diseño. En la bibliografía existen datos específicos de varios motores de eficiencia conocida [1,4,6]. De ellos hemos elegido dos de configuración alfa, el USS P-40 y el V-160 para asegurarnos geometrías similares. El primero tiene una mayor eficiencia, 40%, mientras que el segundo es geométricamente más similar al que queremos construir, de dos cilindros en V y además su fluido de trabajo es helio. El P-40 trabaja con hidrógeno, lo cual lo hace mas complejo en relación a la seguridad.

El gas que hemos elegido para nuestro diseño es helio y por lo tanto el V-160 es el mejor candidato como prototipo de partida. A pesar de esto, realizamos el escalado para ambos y comparamos los resultados obtenidos.

En la tablas 1, 2, 3 y 4 se muestran los parámetros del V-160 según ref. [4]

Tabla 2: Punto de operación del motor V-160

Fluido de trabajo	He
p_{ref}(bar)	150
n (rpm)	1500
P = Potencia (kW)	9
V_{sw} = Volumen barrido (cm^3)	225
Carrera termodinámica S_{th} (mm)	60.8

Tabla 3: Relaciones geométricas

λ_{xe}	3.947
λ_r	0.493
λ_{xc}	1.644
α_{ffxe}	0.037
α_{fff}	0.6188
α_{ffxc}	0.1
λ_{hxe}	0.011
λ_{hr}	0.00046
λ_{hxc}	0.00514
$\P_v$	0.69

Tabla 4: Condiciones de operación

N_t	2.72
N_{MA}	1.21E-02
N_{SG}	5.62E+09
N_{TCR}	87
N_F	10.19

Tabla 5: Parámetros combinados

N_{TXe}	12.89
N_{Tr}	0.47
N_{TXc}	11.39

El diseño por medio del método descrito en el punto 2.3 automatizado en una planilla de calculo arroja los siguientes resultados:

Tabla 6: Punto de operación del nuevo diseño

Fluido de trabajo	He
p_{ref}(bar)	6.6
n (rpm)	620
P = Potencia (kW)	0.65
V_{sw} = Volumen barrido (cm^3)	902
Carrera termodinámica S_{th} (mm)	96.6

Tabla 7: Diseño del regenerador

Longitud L_r (mm)	73

Diámetro exterior (mm)	83.7
Área de flujo libre $A_{ffr}{}^{d}$ (mm^2)	3794
Diámetro del alambre d_w (mm)	0.26
Número mesh de la malla m_w	39
Número de capas de malla	138
Relación de capacidad térmica N_{TCR}	1801
Módulo de Fourier N_F	0.89

Tabla 8: Diseño del intercambiador de expansión (Calentador)

Número de tubos	3
Longitud de los tubos (cm)	58.1
Diámetro de los tubos (mm)	9.405

Tabla 9: Diseño del intercambiador de compresión (Enfriador)

Número de tubos	41
Longitud de tubos (cm)	24
Diámetro de tubos (mm)	4.39

Utilizando como prototipo base al USS P-40 se llega a resultados similares en el intercambiador de expansión, mientras que el de compresión y el regenerador presentan dimensiones mayores con tubos de menor diámetro.

Para analizar el funcionamiento de este diseño preliminar usamos el código llamado Simple escrito por I. Urieli [3] de la Universidad de Ohio, que permite realizar un análisis de Schmidt, una simulación adiabática y finalmente un cálculo sencillo de pérdida de carga y desempeño de los intercambiadores y regenerador . Como resultado final obtenemos la Potencia esperada y la eficiencia luego de restar las pérdidas mencionadas.

Los datos de entrada a este programa son algunos de los resultados obtenidos en las tablas 6 a 9.

A continuación exponemos los resultados:

Tabla 10: Resultados del análisis ideal de Schmidt para el diseño propuesto

Trabajo / ciclo (J)	152
Q_e calor cedido por el intercambiador de expansión por ciclo (J)	241
Q_c calor absorbido por el int. de compresión por ciclo (J)	88
Potencia (W)	1520
Eficiencia Indicada	0.632

Tabla 11: Resultados del análisis adiabático

Q_e (W)	2818
Q_c (W)	1400
Potencia (W)	1423
Eficiencia térmica	0.505

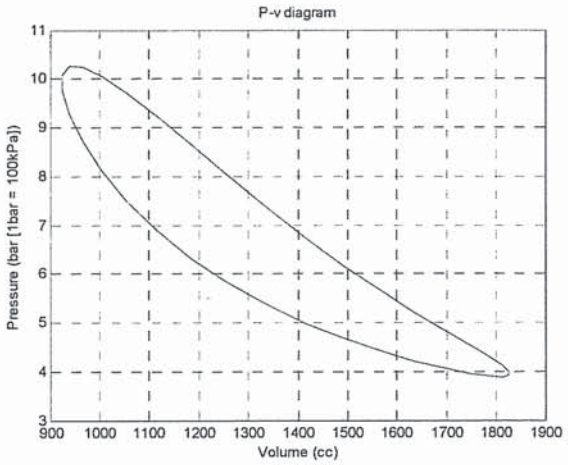


Figura 3: Diagrama P-V según análisis adiabático

Tabla 12: Resultado del análisis de los intercambiadores

Número de Reynolds en calentador	6659
Número de Reynolds en enfriador	2447
Número de Reynolds en regenerador	31
Número de Unidades de transferencia NTU en regenerador	40.8
Eficiencia del regenerador	0.976

Tabla 13: Pérdidas de carga y eficiencia final esperada.

Pérdidas de carga W	56.5
Potencia de salida W	1097
Potencia de entrada W	2962
Eficiencia	0.37

3 CONCLUSIONES

La tabla 12 nos permite verificar que los intercambiadores de calor y el regenerador presentan números de Reynolds similares a los encontrados en máquinas de buen diseño termodinámico. Además muestra que el regenerador propuesto presenta una eficiencia elevada, y puesto que según Organ [Ref. 4] es la parte más importante del motor, podemos esperar un buen funcionamiento del mismo.
De la tabla 13, los valores más importantes, que son la eficiencia y las pérdidas de carga. La eficiencia calculada de 37% todavía no incluye pérdidas mecánicas, pero es un valor razonable.
Otro valor interesante es el de Q_c de la tabla 11, el cual permite dimensionar el circuito de refrigeración del motor.
A continuación agregamos un gráfico de evolución de la presión en los espacios de compresión y expansión respecto del ángulo de rotación del cigüeñal. Del mismo puede saberse dónde se producirán las mayores presiones:

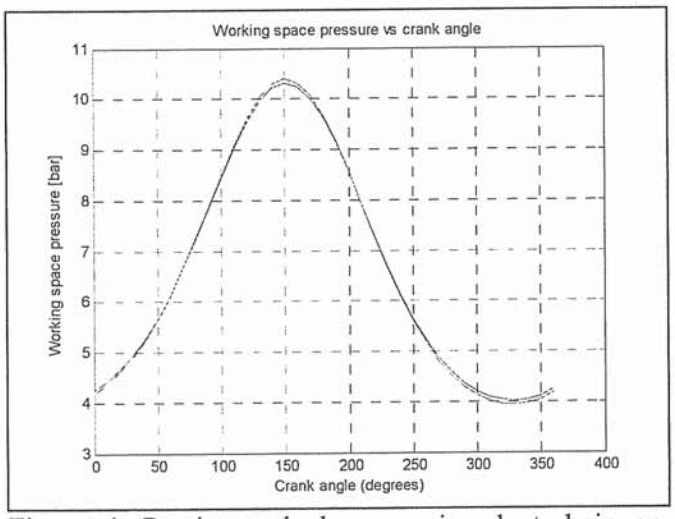


Figura 4: Presiones de los espacios de trabajo en función del ángulo de cigüeñal para el diseño propuesto.

En el siguiente gráfico, que compara la cantidad de energía intercambiada por cada uno de los intercambiadores y el regenerador puede observarse la importancia del regenerador:

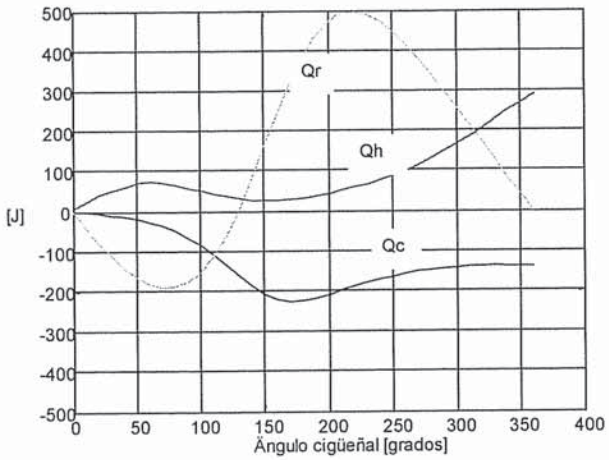


Figura 5: Intercambio de calor en función del ángulo del cigüeñal.

Por último cabe aclarar que los resultados expuestos deberán ser aún analizados a fondo y comparados con el diseño alternativo a partir del USS-P40 antes de comenzar con la construcción del prototipo.

4 REFERENCIAS

[1] W. Martini, Stirling Engine Design Manual, Segunda Edición. NASA, U.S. Department of Energy, 1983.

[2] R. W. Dyson, S. D. Wilson & R. C. Tew, Review of computational Stirling Analysis Methods. Glenn Research Center, NASA, 2004.

[3] I. Urieli, D. Berchowitz, Stirling cycle engine analysis, Bristol, 1984.

[4] A. J. Organ, The Regenerator and the Stirling Engine, London: MEP, 1997.

[5] L. Scollo, A. Suarez, A. Atencio, F. Hinrichs, J. Barón. Aprovechamiento de la energía solar en forma térmica para la producción de electricidad, Aplicaciones en Ingeniería, JIFI, Mendoza, 2004.

[6] T. Finkelstein A. J.Organ, Air Engines, UK, PEP 2001.

[7] C.M Hargreaves, The Philips Stirling Engine, Amsterdam, 1991.

Electrónica de Superficie del Observatorio Pierre Auger: Aportes para la implementación de una línea de producción.

B. García, M. Videla, L. Gonzalez, C. Cruciani, J. Maya, J.P. Góngora, J. P. Gurrieri, R. Ibáñez, C. Rumbo, M. Santander

bgarcia@frm.utn.edu.ar
UTN Facultad Regional Mendoza, Observatorio Pierre Auger de Malargüe

RESUMEN: La electrónica diseñada para comandar los detectores de superficie del proyecto Pierre Auger debe permanecer funcionando durante 20 años con el mínimo mantenimiento posible. Es por esto que cada placa de electrónica que se utiliza, debe ser probada para poder asegurar la mínima cantidad de fallas y el continuo desempeño de los detectores. Entender el funcionamiento físico del detector de superficie así como el funcionamiento electrónico permitió generar una línea de producción y recursos humanos para el desarrollo de electrónica de detectores de partículas utilizados en proyectos de ciencia básica. En este trabajo se muestra como se desarrollaron estos recursos.

1 INTRODUCCIÓN.

El proyecto Internacional Pierre Auger tiene como objetivo acumular estadística suficiente para realizar el estudio de rayos cósmicos de alta energía. Para poder cubrir la totalidad del cielo, se instalaran dos observatorios, uno en cada hemisferio. El Observatorio Sur se encuentra ubicado en Malargüe, el Observatorio Norte se construirá en Colorado (EEUU). Cada observatorio consta de dos tipos de detectores, los de superficie y fluorescencia. Es por esta particularidad en su diseño se lo denomina híbrido, ya que permite la detección de eventos a través de dos sistemas diferentes, con la posibilidad de contrastar y ampliar la información obtenida. El detector de superficie consiste en un arreglo de 1600 detectores de partículas, denominados detectores Cerenkov. Cada detector Cerenkov se ubica a 1,5 Km de distancia cubriendo una superficie de 3000 km^2 Cada una de estas unidades, posee una electrónica especialmente diseñada para la adquisición de señales y control de variables de funcionamiento. El grupo de investigación tiene, desde el año 2001, la responsabilidad de realizar el ensamblado y el control de calidad final de cada una de las partes que componen la electrónica del detector de Cerenkov. En este marco es que se montó un laboratorio en Malargüe para realizar la tarea. El laboratorio es conocido dentro de la comunidad Auger como SDECO, sigla que proviene de su nombre en inglés: "Surface Detector Electronics and Communications". Además de establecer una línea de montaje y control de calidad, el objetivo de la Colaboración Internacional era crear un laboratorio especializado en la electrónica de detectores de superficie capaz de resolver problemas de electrónica específicos para permitir el emplazamiento y funcionamiento normal del Observatorio Pierre Auger (PAO) en Malargüe, durante 20 años.

TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA.

El emplazamiento de la electrónica de superficie se desarrolló en 3 etapas.

1) Arreglo de ingeniería, en donde se pusieron en funcionamiento 50 tanques de superficie utilizando un primer diseño prototipo de electrónica, con componentes de diferentes proveedores. En esta etapa se estudió el comportamiento de la electrónica en el ambiente real. También se detectaron debilidades y fallas que permitieron mejorar el diseño.
2) Preproducción, en esta etapa comenzó a trabajar el grupo de investigación del Laboratorio Pierre Auger en UTN. La misma consistió en el diseño del proceso de ensamblado y pruebas, que se iban a utilizar en la etapa de producción. También se realizó transferencia de tecnología entre los diseñadores originales de la electrónica de superficie y el grupo de investigación. Dada la filosofía de trabajo del PAO, la transferencia se llevó a cabo entre las instituciones encargadas del diseño y producción de cada parte componente de la electrónica de superficie, con los integrantes del grupo. Estas instituciones se encuentran agrupadas en colaboraciones. Las colaboraciones encargadas del diseño de electrónica de superficie pertenecen a; Alemania, Estados Unidos, Francia, e Italia.
3) Producción, es la etapa en la que se encuentra actualmente el PAO.

1.1 ELECTRÓNICA DEL DETECTOR DE SUPERFICIE.

La electrónica del detector de superficie se puede descomponer en 5 partes o módulos principales: el sistema sensor (fotomultiplicadores), la electrónica de adquisición, el microprocesador central junto con sus partes funcionales (Motherboard), el sistema de control de alimentación y variables lentas, y el sistema de comunicación. El laboratorio de SDECO se encarga de probar, específicamente la electrónica de adquisición, motherboard, el sistema de control de alimentación y variables lentas y el sistema de comunicación.

1.2 DESCRIPCIÓN DE UN DETECTOR CERENKOV.

El detector Cerenkov consiste en un tanque opaco cilíndrico de 3.6 m de diámetro y una altura de 1.2 m. Dentro de cada tanque se encuentra una bolsa contenedora de agua ultra pura (liner). El liner posee 3 ventanas en donde se ubican los sensores de UV, los fotomultiplicadores. Cada uno de estos fotomultiplicadores se encuentra conectado a la computadora del detector (electrónica de superficie) ubicada en la parte externa, superior del tanque en un compartimiento llamado "dome". Cada tanque posee un sistema de alimentación, panel solar-regulador-baterías, ubicado en uno de los costados del tanque, este sistema de alimentación se conecta al sistema de control de alimentación del tanque. También posee una antena de RF y una antena de GPS ubicadas en un mástil sobre el tanque. Estas antenas están conectadas al sistema de comunicación y al sistema de posicionamiento del tanque.

1.3 FUNCIONAMIENTO DEL TANQUE.

Cuando un rayo cósmico primario o partícula choca contra la atmósfera produce una lluvia de partículas secundarias, esta lluvia de partículas tiene su máxima apertura a la altura que se encuentra ubicada la planicie de Malargüe, las partículas secundarias de la que está compuesta la lluvia son varias, pero las de interés para el PAO son los muones. Los muones atraviesan las paredes del tanque y al interactuar con el agua ultra pura, producen una radiación o luz Cerenkov dentro del liner, en donde la luz es reflejada difusamente, debido a las propiedades del material del mismo. Esta luz la región ultravioleta del espectro 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, ubicada en la ciudad de Malargüe.

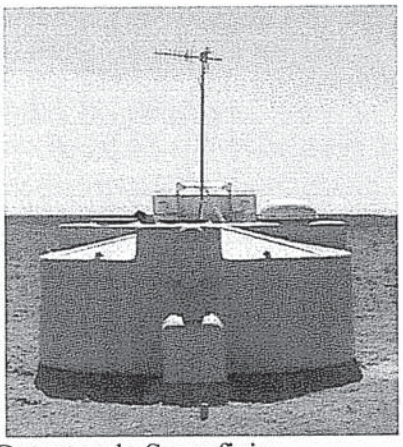


Figura 1. Detector de Superficie

2 ETAPA DE PREPRODUCCIÓN.

En la etapa de preproducción se diseñaron las pruebas y la línea de ensamblado de la electrónica de superficie, teniendo en cuenta las especificaciones

de calidad del PAO. Para esto se ensamblaron y probaron 100 electrónicas o kits de electrónica (ekits). La electrónica utilizada en esta fase se fabricó en pequeñas proporciones, para poder controlar las diferentes fábricas involucradas, antes de realizar pedidos de mayor cantidad. El kit de electrónica consta de 38 partes diferentes, y la totalidad de partes necesarias para armar un solo ekit es de 728 elementos: si se multiplica por 1600 detectores, se tendrá una idea de la necesidad de utilizar un sistema de inventario para poder administrar el volumen de materiales. La cantidad de placas de electrónica que componen un ekit es 6. Cada una de estas placas debía ser probada e identificada como parte componente de un ekit. Además de realizar pruebas a cada placa por separado, eran necesarias pruebas integrales a cada kit. El volumen de la información generada indicaba que se necesitaba una base de datos para poder administrarla. En un principio, se utilizó la base de datos general del Observatorio, pero ésta no abarcaba todas las necesidades de la electrónica, por lo que finalmente se utilizó una base de datos diseñada específicamente para electrónica, que alimenta la base de datos general del Observatorio.
Durante preproducción también se analizaron todas las medidas de seguridad que se debían implementar para manipular la electrónica de superficie, teniendo en cuenta la seguridad de la electrónica como así también la de los integrantes del grupo. La experiencia lograda, permitió el desarrollo posterior del manual de procedimientos y los manuales técnicos específicos de cada prueba y la implementación de indicadores y la documentación que nos exigía el plan de calidad del PAO.

3 PROCESO DE PRODUCCIÓN DE UN EKIT.

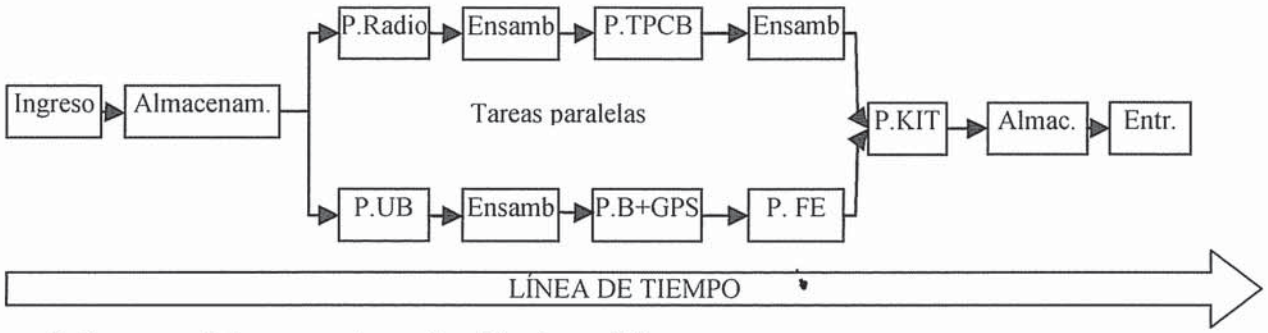


Figura 2. Esquema del proceso de producción de un ekit.

Todo el proceso fue diseñado por el grupo de investigación, teniendo en cuenta que este tipo de detectores no se fabricó nunca en el volumen que maneja el PAO.

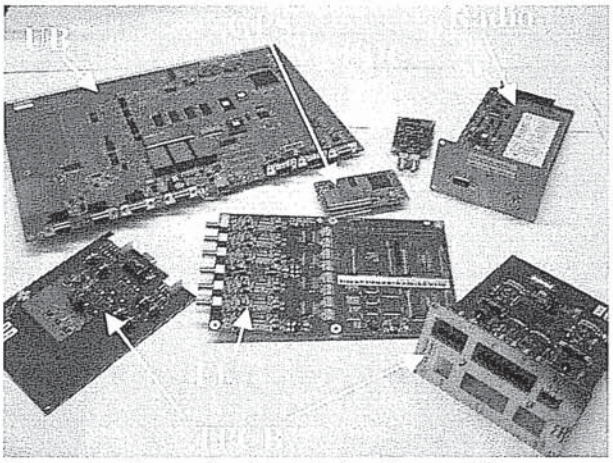


Figura 3. Placas de electrónica de un ekit

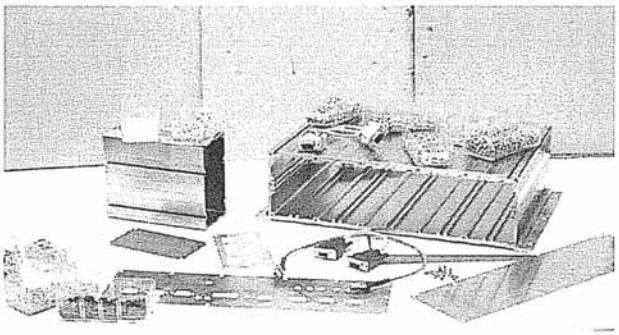


Figura 4. Partes mecánicas de un ekit

Todas las pruebas fueron creadas para que el técnico encargado de realizar las pruebas solo necesite un conocimiento básico de electrónica para poder operar. Las pruebas, programadas en Perl utilizando el puerto serie para la comunicación, fueron creadas para el técnico encargado de realizar las mismas, solo necesita un conocimiento básico de electrónica para poder

operar. Cada uno de los pasos necesarios para realizar las diferentes pruebas es ejecutado por una subrutina, de forma automática, el técnico operador puede observar el proceso en la pantalla de la PC utilizada.
Independientemente de la prueba que se realiza, se sigue el siguiente esquema básico:

- Ingreso de datos
- Transmisión de archivos hacia la UB
- Descompresión de archivos en la UB
- Prueba
- Transmisión de los resultados hacia la PC de pruebas

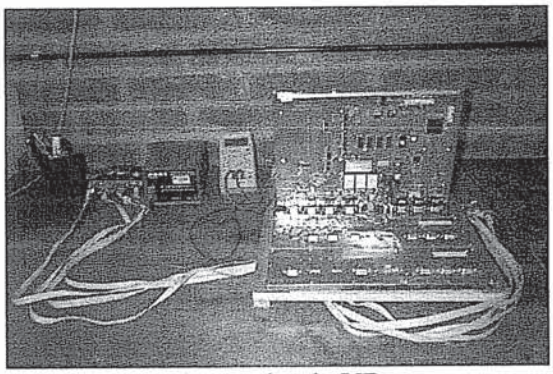
El operador coloca las diferentes placas en los bancos diseñados para tal fin y sigue los pasos indicados por el software de prueba sobre la PC destinada para cada una de dichas pruebas. Las PCs utilizadas trabajan bajo entorno SO Linux. Todos los datos que se generan a través del proceso, se almacenan automáticamente en la base de datos (SDECODB), estos pueden ser leídos a través de la página Web del PAO, en el caso de usuarios autorizados y se actualizan cada 6 hrs.

3.1 PRIMER PRUEBA DE UB.

La UB es la placa madre de la electrónica de superficie, sus siglas indican "Unified Board". La primer prueba consiste en comprobar su correcto booteo y grabar el software de adquisición utilizado en el PAO, y el software que se utilizará a lo largo de todo el proceso.
La Unified Borrad (placa unificada) esta integrada por: [2]

- procesador IBM 403 GCX Power PC 40/80 MHz con 32 bit bus de datos y direccionamiento y cache
- sistema operativo IBM OS9000
- 32 MB memoria RAM EDO-60 ns.
- 8 MB memoria Flash.
- 128 KB de memoria PROM para booteo de rescate.
- PLD programable
- DMA
- 4 puertos serie
- fuentes con conversores DC-DC
- sección de "Slow Control" para monitoreo y control
- interfase para controlador de drivers de LEDs
- función de "time tagging" e interfase para G.P.S.
- interfase ethernet

La grabación del software dedicado se realiza sobre la memoria flash. Es posible realizar esta tarea a 4 UBs simultáneamente.


Figura 5. Banco de prueba de UB.

3.2 SEGUNDA PRUEBA DE UB.

Una vez instalado el software de adquisición y de prueba, se realiza la segunda prueba de UB. Esta consiste en ejecutar una serie de programas, para diagnosticar o detectar posibles fallas en las distintas secciones que conforman el hardware de la U.B. Durante el "test" se prueba la sección de slow control (variables lentas), conversores DC-DC, time tagging y puertos serie. Para esto, se conectan a las entradas de la UB, cargas para emular el funcionamiento real en un tanque.
El banco de prueba que se utiliza es el mismo que se emplea para grabar el software de adquisición y pruebas, con el agregado de las cargas que se colocan en las entradas de la UB.

3.3 PRUEBA DE COMUNICACIÓN CON GPS.

La UB utiliza un receptor de GPS, que junto con un circuito implementado en un ASIC (application-specific integrated circuit), se utiliza para temporizar los disparos generados por la placa de FE. El receptor de GPS se conecta en la UB a través de uno de sus puertos serie. Durante la segunda prueba de UB se verifica la comunicación de la UB con el GPS y el sistema de temporización y corrección, utilizado para lograr la precisión temporal necesaria (sección de time tagging). Para ello es necesario tener

montado sobre la UB el receptor de GPS (Motorola)

3.4 PRUEBA DE FE.

La placa de Front End (FE.), procesa las señales analógicas de los fotomultiplicadores del tanque, es la encargada de generar los primeros triggers (disparos) en el detector. Los circuitos de trigger evalúan la señal de ánodo de los fotomultiplicadores cada 25 ns (1 bin), buscando señales de interés. 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. Existen dos diseños, uno implementado en dos PLDs de Altera EP1K100QI208-2 y otro implementado en un solo PLD Altera Cyclone.

3.4.1 ESPECIFICACIONES DE LA PLACA DE F.E.[1]

- Interface con PowerPC GCX403 bus
- 1 VEM corresponde a un pico de 100 canales ADC en la suma de las señales de los 3 fotomultiplicadores
- alimentación DC con 3.3V y -3.3V
- impedancia de entrada de 50 ohms

La prueba de F.E. consiste en inyectar una señal sobre las 6 entradas de la placa mediante un generador de señales y posteriormente leer los datos para comprobar el funcionamiento de la placa. Este tipo de prueba sirve para detectar algún desperfecto mecánico sobre las placas durante el traslado a Malargüe. Los desperfectos son fácilmente detectables con este sistema. Por otra parte, se controla el offset y el ruido en las señales siendo esto un indicador de la existencia de algún componente defectuoso. La prueba no es del tipo cuantitativa sino del cualitativa. Si bien se graban todos los datos para posteriormente realizar un análisis cuantitativo, la prueba en si no esta diseñada con este fin.

3.5 PRUEBA DE TPCB.

Las placas de TPCB son las encargadas de sensar las variables de control externas del tanque, como consumo, tensión de panel solar, carga de baterías, entre otras. Las señales ingresan en un módulo ubicado en la parte lateral derecha del kit de electrónica; dichas señales son convertidas a los niveles de 5 V, que utiliza la UB, y se conectan a la misma mediante un cable DB 15. Básicamente, la TPCB son dos placas en donde se implementan los amplificadores y atenuadores necesarios para acomodar los niveles de adquisición para el ADC de la UB.
La prueba que se emplea ha sido desarrollada bajo LabView y consiste en la medición de los coeficientes de conversión de cada uno de los amplificadores/atenuadores [4].

3.6 PRUEBA DE RADIO.

La prueba de radio fue diseñada por la Colaboración del Reino Unido y también se realiza en el laboratorio de SDECO. La radio o "Suscriber Unit" es la encargada de transmitir los datos del tanque hasta la base del PAO ubicada en la ciudad de Malargüe. Las radios transmiten a una frecuencia de 915 MHz (902 a 928 MHz) con modulación DQPSK. La alimentación es de 12 V y su consumo promedio es de 1,02 W. La potencia de transmisión es de 25 dBm(50 ohms) [1].Las radios se ensamblan en el lateral izquierdo del ekit y se conecta con el mismo a través de un cable serie DB9.

3.7 PRUEBA DE EKIT.

La prueba del ekit se realiza con un detector montado en las instalaciones de SDECO, se la denomina prueba del tanque y consiste en hacer que el ekit calibre y tome datos, tal como haría si estuviera instalado en el campo. Se lo mantiene en adquisición durante 20 minutos y se comprueba que su funcionamiento sea estable, chequeando tanto las variables de control (lentas), como los datos físicos almacenados en memoria (histogramas).

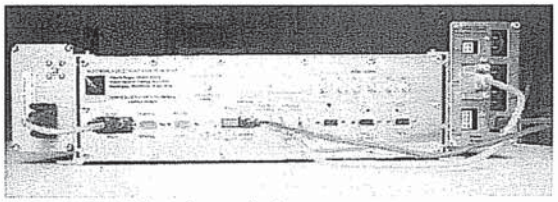


Figura 6. Kit de electrónica

La prueba del tanque se puede dividir en los siguientes pasos[3]:

- Verificación que las placas utilizadas en el ekit hayan pasado todas las pruebas.
- Transmisión de archivos a través del puerto serie 'test'.
- Verificación de que se encuentre conectada la antena de GPS.
- Calibración del tanque.
- Prueba de adc.
- Adquisición.
- Prueba de comunicación con la radio.
- Transmisión de archivos de resultados.
- Comprobación de datos de monitoreo e histogramas
- Ingreso de datos en SDECODB.

Como se mostró en la Figura 2, se realiza un ensamblado parcial entre las distintas pruebas. La prueba del tanque es la última que se realiza en todo el proceso.

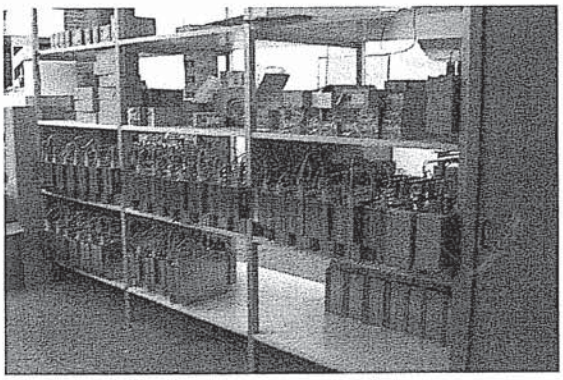


Figura 7. Ekits listos en estanterías

A continuación se procede al ensamblado final, quedando el ekit terminado, junto con su documentación de certificación almacenada en la SDECODB. Esta documentación puede ser impresa o visualizada en cualquier etapa del proceso.

4 CONCLUSIONES.

Al implementar un sistema integrado, el operador es advertido si alguna de las placas no ha pasado por los controles necesarios. Esto disminuye los errores humanos y favorece la detección y análisis de fallas. El sistema utilizado permite la generación de reportes disponibles todo el tiempo. También se genera de forma automática toda la documentación necesaria, evitando al operador la tarea de confección de planillas manualmente, lo cual permite la concentración en el aspecto técnico de la tarea. Por otro lado, la automatización de la carga de datos, permitió implementar una gestión de ekits. De esta manera se puede conocer la ubicación y estado de cualquier ekit a través de la base de datos online PMS (Part Managment System)[5].
Esto junto con un módulo de mantenimiento implementado en PMS, permitirá obtener información técnica de cada ekit en las tareas de mantenimiento futuras.

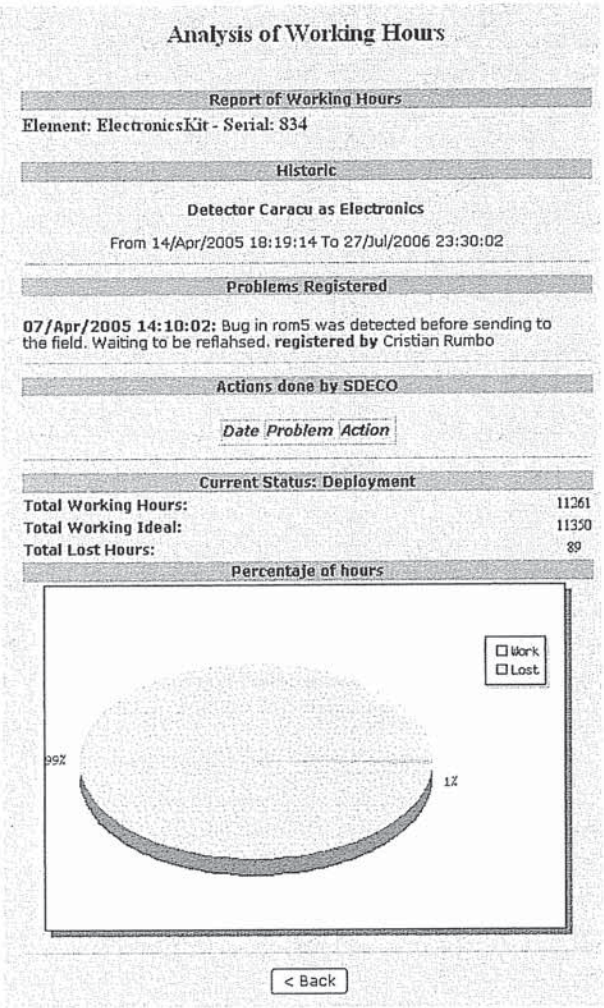


Figura 8. Pantalla extraída de PMS.

Todas las pruebas explicadas se basaron en la experiencia adquirida por las diferentes Colaboraciones durante el arreglo de ingeniería, que posteriormente fueron transmitidas al grupo. Dichas pruebas se reformaron e implementaron como parte de un proceso integral. Cabe también destacar que este desarrollo permitió generar un equipo especializado en la electrónica de detectores de partículas.

5 BIBLIOGRAFÍA.

[1] Pierre Auger Project Technical Design Report Draft. Marzo 2004.
[2] S. Colonges, The Unified Board quick guide. Enero 2006.
[3] B. García, M. Videla, C. Rumbo, Manual técnico de Prueba del tanque. Septiembre 2005
[4] D. Charalampous, Manual of TPCB test with Lab view, Junio 2006.
[5] R. Squartini y F. Contreras, Manual de PMS, Mayo 2004.

Herramienta Computacional para la comprensión del comportamiento dinámico de sistemas de varios grados de libertad

A. M. Gauna Orpianesi, G. J. Canizzo Julián
mario_gauna@yahoo.com.ar, gustavocanizzo@yahoo.es
Investigadores Noveles 2005-2006, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo.

T. Schnetzer
tomasschnetzer@gmail.com
Investigadores Noveles 2005-2006, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo.

E. Villafañe
evillafa@uncu.edu.ar
Profesor Titular Ingeniería Sismorresistente, Facultad de Ingeniería, Universidad Nac. de Cuyo.

RESUMEN: Se presenta el desarrollo de una aplicación en Visual Basic para fines didácticos, conteniendo los conceptos básicos del análisis dinámico lineal de sistemas de varios grados de libertad. La interfaz elegida permite el seguimiento por parte del usuario de las operaciones que realiza el programa. De esta forma, el usuario mantiene el control de los procesos intermedios efectuados. El punto de partida es de la definición o importación de las matrices de rigidez y masa del sistema, siendo esta última diagonal. Pueden analizarse por este medio sistemas con matrices cuadradas de NxN reconfigurándose los ordenes matriciales a partir de la definición de las matrices originales. El programa consta de cinco módulos, el primero lo constituye la entrada de datos, el segundo calcula autovalores y autovectores, el tercero calcula la respuesta dinámica en vibración libre monitoreando los desplazamientos en función del tiempo. El cuarto módulo permite obtener la respuesta temporal ante excitación sísmica, requiriendo como input el registro acelerográfico. Finalmente el último módulo permite calcular la respuesta espectral modal. Se utiliza la herramienta computacional para realizar el análisis del comportamiento dinámico de un edificio que ya ha sido analizado con programas comerciales, con el fin de comparar las diferencias de resultados en términos de desplazamientos producidas por diferentes técnicas, como lo es el análisis modal espectral y el análisis modal temporal.

1 INTRODUCCIÓN

La motivación fundamental del trabajo es lograr una herramienta computacional que brinde al estudiante que se inicia en la dinámica estructural la posibilidad de comprender y visualizar los conceptos físicos y matemáticos involucrados.

Para lograr esta meta es necesario que la herramienta computacional sea lo suficientemente amena y sin dificultades de uso para el usuario sin experiencia. El lenguaje de programación elegido para llevar a

cabo el trabajo fue Microsoft Visual Basic [1]. El hecho de elegir esta interfaz gráfica respondía a otro de los objetivos perseguidos, lograr un control por parte del usuario de los procesos efectuados.

2 OBJETIVOS

- Comprender los conceptos básicos que rigen la dinámica estructural de un sistema lineal de varios grados de libertad.
- Proponer una herramienta computacional didáctica que permita al usuario tener control de todos los procesos internos efectuados y a la vez lograr una interfaz sencilla para una rápida comprensión de los conceptos involucrados.

3 DESARROLLO

3.1 *Entrada de datos*

Iniciamos el estudio dinámico lineal mediante la modelación de un sistema de varios grados de libertad a través del concepto de masas concentradas.
La ecuación diferencial de segundo orden que gobierna el movimiento de un sistema de varios grados de libertad es la siguiente:

$$[m]\times \ddot{u}(t) + [c]\times \dot{u}(t) + [k]\times u(t) = p(t) \quad (1)$$

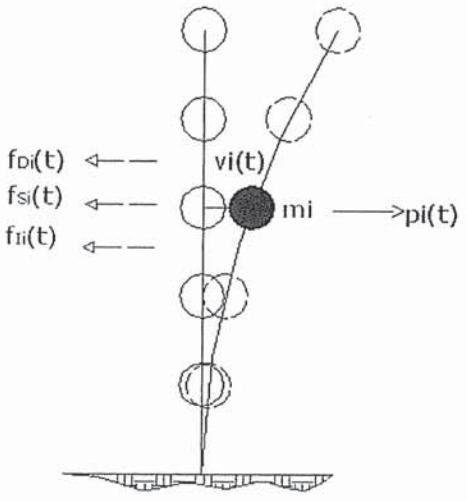


Figura 1. Modelo de masas acopladas. Diagrama de cuerpo libre.

Donde:

[m]: es la matriz de masas del sistema.
[k]: es la matriz de rigidez del sistema.
[c]: es la matriz de amortiguamiento del sistema
p (t): es la acción externa la cual es de carácter dinámico y por lo tanto dependiente del tiempo.
u (t): es el vector de desplazamientos y los puntos sobre el mismo representan la primera y segunda derivada respecto del tiempo.

Como primer paso debemos introducir el input, constituido por la matriz de masas, la cual es diagonal y la matriz de rigidez o la de flexibilidad.

La idea de incluir la matriz de rigidez como parte de los datos de entrada, responde a otros de los objetivos involucrados, el de no limitar el campo de acción del programa.

Como ejemplo de aplicación se ha realizado el análisis del comportamiento dinámico de un edificio de siete niveles, (construído en Berkeley en escala 1:5; que se ha tomado como caso de análisis por los investigadores a lo largo del mundo. Se trata del edificio diseñado en el Proyecto Cooperativo E.E.U.U. – Japón en la década del 80, proyecto dirigido por el Profesor V. Bertero como representante de E.E.U.U., estructura que ha legado al mundo tecnológico de gran cantidad de respuestas y de interrogantes que aún se discuten y estudian en el medio tecnológico mundial.

Por razones de brevedad se direcciona al lector a las referencias bibliográficas correspondientes [2], pudiendo comprobar en las mismas tanto las variables geométricas, como las mecánicas utilizadas en la concepción y construcción del modelo físico utilizado para corroborar el conjunto de análisis de pre y post ensayo presentados.

El mismo edificio construído en escala 1:1, fue ensayado en Tsukuba – Japón, pudiendo extraerse de la bibliografía especializada las conclusiones de esa experiencia. En este trabajo solo se trata de utilizar esa estructura como objeto de análisis dinámico, algunas de cuyas variables pueden verificarse y compararse.

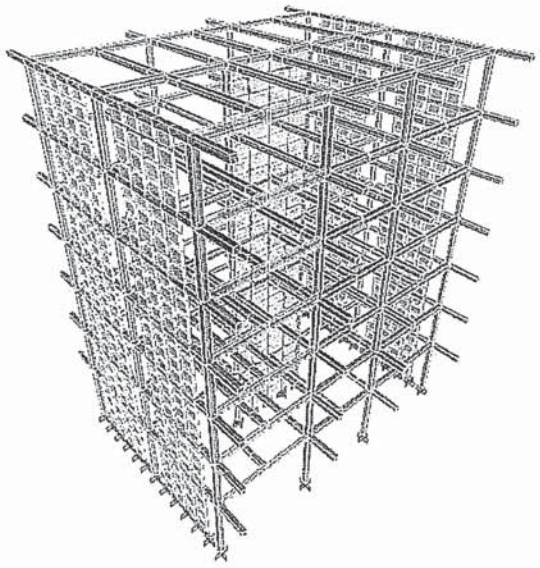


Figura 2. Modelación estructural SAP 2000 [3]. Edificio de pórticos y tabiques. Siete grados de libertad dinámicos analizados. Obtención de las matrices de rigidez y de masas. Las demás figuras presentadas son en base a este modelo.

3.2 *Cálculo de autovectores y autovalores*

El cálculo de los autovalores y autovectores asociados se efectúa mediante el método matricial de Stodola [4]. Este es un método iterativo donde por sucesivas iteraciones se halla cada uno de los autovectores y autovalores asociados. Una vez calculados los autovectores, éstos son normalizados con alguna de las reglas de normalización adecuadas al problema a tratar. En el caso analizado se utiliza la siguiente regla de normalización:

$\{\phi n\} = \{vn\} x\, Mn^{*\,-1/2}$

Donde,

$\{\phi n\}$= vector normalizado n-ésimo

Mn* = masa generalizada n-esima.

3.3 *Respuesta en oscilaciones libres*

El tercer módulo contempla el caso de oscilaciones libres resuelto a través del Análisis Modal Clásico. En este caso para poder brindar la respuesta del sistema, realizamos una transformación de coordenadas de forma tal de descomponer el sistema de **N** ecuaciones dependientes en un sistema de **N** ecuaciones independientes.

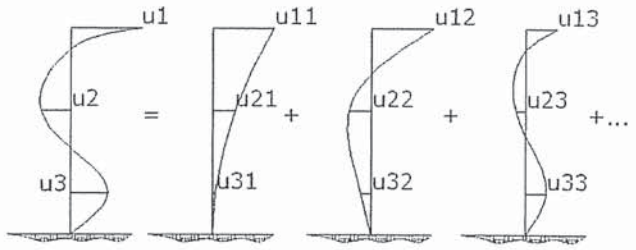


Figura 3. Desacople de las ecuaciones de movimiento.

El desacople de las ecuaciones permite expresar el desplazamiento real u (t) mostrado en la figura 3 como:

$$u(t) = \{\phi 1\} x Y1(t) + ... + \{\phi_n\} x Y_n(t) = \sum_{n=1}^{N} \{\phi_n\} x Y_n(t) \quad (2)$$

Donde en la expresión anterior,

$\{\phi n\}$: autovector del modo n-ésimo

Yn(t): amplitud modal

Con este cambio de coordenadas la ecuación (1) para el n-ésimo modo resulta luego de premultiplicar por $\{\phi n\}^T$,

$$\ddot{Y}n(t) + 2 \times \xi n \times \varpi n \times \dot{Y}n(t) + \varpi n^2 \times Yn(t) = \frac{Pn(t)}{Mn^*} = 0$$

(3)

Donde:

$\{\phi n^T\}.m\{\phi n\} = Mn^* = masa\ generalizada$ n - *ésima*

$\{\phi n^T\}.k.\{\phi n\} = Kn^* = rigidez\ generalizada\ n - ésima$

$\{\phi n^T\}.c.\{\phi n\} = Cn^* = amortiguamiento\ generalizado\ n - ésimo$

El coeficiente de amortiguamiento se define como:

$$\xi n = \frac{Cn^*}{2 \times \varpi n \times Mn^*}$$

Finalmente la amplitud modal toma la siguiente expresión:

$$Y_n(t) = [Y_n(o)\cos(\varpi_{dn} \times t) + \left(\frac{Yn(o) + Yn(o) \times \xi_n \times \varpi_n}{\varpi_{dn}} \right) seno(\varpi_{dn} \times t)] \times e^{(-\xi n x \varpi n x t)}$$

(4)

Para obtener la respuesta total debemos especificar un vector de desplazamientos iniciales y un vector de velocidades iniciales. Según la forma adoptada del vector inicial de desplazamientos, la respuesta estará más influenciada por una determinada forma modal. También se incluye en la respuesta el efecto del amortiguamiento.

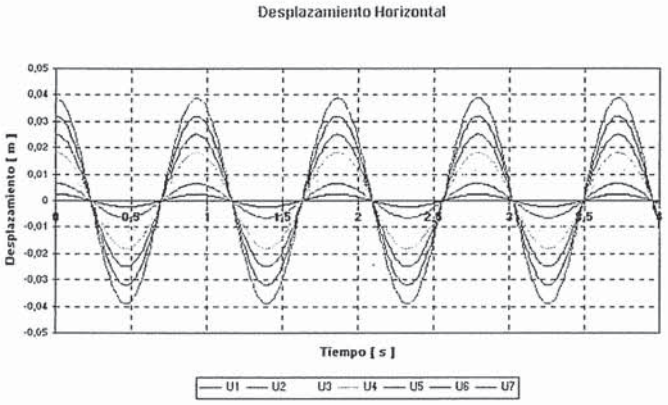


Figura 4. Respuesta en Oscilaciones libres. Sistema de 7 grados de libertad. Vector u (t=0) = Vector primera forma modal. Efecto de amortiguamiento = 0 %.

3.4 *Respuesta Dinámica Temporal*

El cuarto módulo presenta el análisis dinámico temporal para una excitación sísmica determinada. El programa precisa de un registro de la aceleración del suelo en función del tiempo.

La expresión de la ecuación (3) toma ahora la siguiente forma:

$$\ddot{Y}n(t)+2\times\xi n\times\varpi n\times\dot{Y}n(t)+\varpi n^{2}\times Yn(t)=-\frac{Pn(t)}{Mn^{*}}=-\Gamma n\times\ddot{u}g(t) \quad (5)$$

El lado derecho de la (5) se obtiene haciendo P (t) = {s} x p (t). El vector {s} es independiente del tiempo y resulta:

$$[s]=\sum_{n=1}^{N}Sn=\sum_{n=1}^{N}\Gamma n\times[m]\times\{\phi n\} \quad (6)$$

Γn= Ln / Mn*

Ln = {φn}T x [m] x{i} , siendo {i} un vector unidad.?

Γn es llamado el Factor de Participación Modal y se puede considerar una medición del grado en el cual el modo n-ésimo participa en la respuesta.

Si a la ecuación (5) se la divide por Γn y llamando Dn (t) = Yn (t) / Γn se obtiene,

$$\ddot{D}n(t)+2\times\xi n\times\varpi n\times\dot{D}n(t)+\varpi n^{2}\times Dn(t)=-\ddot{u}g(t) \quad (7)$$

Esta ecuación se resuelve numéricamente utilizando el Método de Newmark, específicamente el método de las Aceleración Lineal. En esta parte debemos introducir el paso de tiempo a considerar que puede ser, o no, el mismo que posea el registro de aceleración sísmica usado como input.

La contribución del modo n-ésimo al desplazamiento u(t) y a la fuerza elástica f(t) es igual a,

$$\{u_{n}(t)\}=\{\phi_{n}\}\times Yn(t)=\Gamma_{n}\times\{\phi_{n}\}\times D_{n}(t) \quad (8)$$

$$\{f_{n}(t)\}=\{s_{n}\}\times\varpi^{2}{}_{n}\times D_{n}(t)=\{s_{n}\}\times A_{n}(t) \quad (9)$$

De la (9) se induce que las fuerzas estáticas equivalentes son el producto de dos cantidades:
la contribución n-modal {sn} a la distribución espacial [m]x{i} de la fuerza efectiva y,
la respuesta de pseudos-aceleración del modo enésimo del sistema SDOF debido a üg (t).
La respuesta total de u (t) y f (t) se obtiene por superposición de todas las contribuciones desde n= 1 a N.

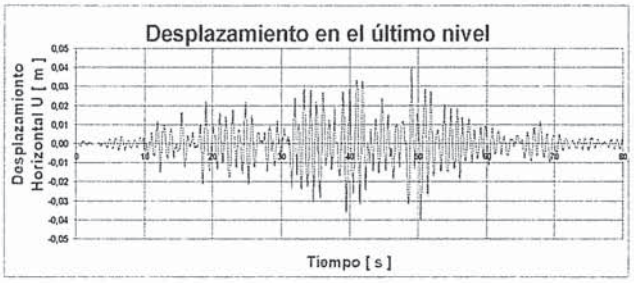


Figura 5 – Respuesta en Análisis Modal temporal. Sistema de 7 grados de libertad. Desplazamiento en el último nivel. INPUT Sismo de Caucete - San Juan - Argentina – 1977.

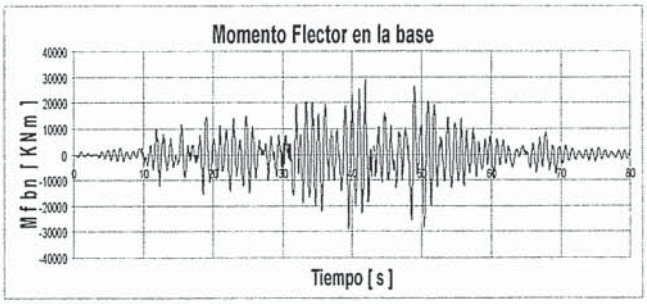


Figura 6 – Respuesta en Análisis Modal temporal. Sistema de 7 grados de libertad. Momento Flector en la base. INPUT Sismo de Caucete - San Juan - Argentina – 1977.

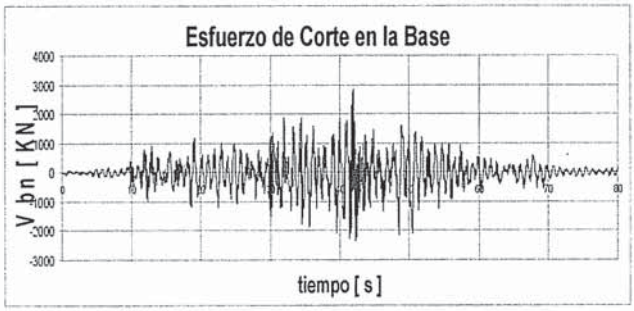


Figura 7 – Respuesta en Análisis Modal temporal. Sistema de 7 grados de libertad. Esfuerzo de Corte en la base. INPUT Sismo de Caucete - San Juan - Argentina – 1977.

3.5 *Respuesta Dinámica Espectral*

El cuarto módulo presenta el análisis espectral, en esta parte se requiere como input el espectro de respuesta de un sismo determinado o el espectro de diseño definido para la región en donde se construirá el edificio bajo estudio.

El análisis temporal antes presentado provee la respuesta estructural como una función del tiempo para un registro dado, pero a los fines del diseño ingenieril interesa determinar los valores picos de deformaciones y solicitaciones. Para obtener estos valores prescindiendo de la respuesta temporal nos valdremos del espectro de respuesta o de diseño. Para MDOF (Multiple Degrees Of Freedom) la respuesta no es exacta aunque suficiente aproximada para fines estructurales.

El valor exacto de la respuesta pico para un sistema MDOF en su modo natural n-ésimo puede ser obtenido del espectro de respuesta de pseudo-aceleración para un valor determinado de ξn.

Resta ahora combinar estos N valores picos para obtener la respuesta total. Esto resulta difícil por el hecho de cada contribución modal enésima alcanza su valor pico en un instante diferente de tiempo. Para esto existen distintas *reglas de combinación modal.*

Se presenta la regla de la *Suma Absoluta* (ABSSUM) y que provee un límite superior ya considera que todos los valores picos ocurren en el mismo instante de tiempo sin importar su signo. Se obtiene sumando en valor absoluto todas las contribuciones de los N modos para obtener la respuesta total.

Esta regla es demasiado conservativa por lo tanto otra regla de combinación más empleada es la regla de la Raíz Cuadrada de la Suma de los Cuadrados (SRSS, por sus siglas en inglés):

Los parámetros de respuesta presentados son los mismos que en el análisis temporal los cuales fueron obtenidos aplicando las reglas de combinación modal ya nombradas.

4 CONCLUSIONES

El software desarrollado permite al usuario una interacción haciéndolo testigo de cada de los pasos que llevan al resultado final. La interfaz es sencilla y pensada para actuar como una guía. El hecho de requerir la matriz de rigidez como input ofrece una mayor libertad de modelación.

La respuesta en oscilaciones libres permite apreciar el efecto relativo de cada modo de vibrar en la respuesta total y entender por qué los códigos de diseño estructural priorizan los primeros modos de vibración.

La respuesta temporal permite visualizar que está pasando en la estructura en cada instante de tiempo, observando tanto los valores máximos como la evolución de la respuesta estructural.

Finalmente, la respuesta espectral puede ser usada a fines de diseño estructural o para comparar los resultados dados por la respuesta temporal.

Actualmente se están realizando pruebas ácidas a fin de validar resultados y calibrar el programa, como así también optimizar el algoritmo de cálculo a fin de reducir tiempos de procesamiento. Además se

están evaluando incorporar nuevas metodologías de cálculo para abordar la solución del programa, logrando mayor estabilidad numérica y más amplia comparación de resultados. En el módulo de cálculo de autovalores y autovectores incorporar otros métodos para dar solución al problema de eigenvalues, de menor requerimiento computacional. Incorporar en el Módulo de Respuesta Temporal otros integradores lineales y adicionar otras reglas de combinación modal para evaluar los parámetros dinámicos de interés estructural.

5 REFERENCIAS

[1] Microsoft Visual Basic. Edición Estudiantil, Para desarrollo de 32 bits en Windows. Copyright © 1987 – 1998 Microsoft Corp.

[2] "US-Japan Cooperative Earthquake Research Program: Earthquake simulation. Tests and Associated Studies of a 1/5th Scale Model of a 7 Story Reinforced Concrete "Test Structure". V.V Bertero y otros. Report No. EERC UCB/EERC-84/05. Junio 1984.

[3] SAP 2000 Edición Estudiantil.

[4] Chopra, A., Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineer. Prentice Hall, Inc.

[5] Clough, R. W. y Penzien, J., Dynamics of Structures. Mc Graw Hill Inc.

[6] Rosemblueth, E. y Newmark, N. M., Fundamentos de Ingeniería Sísmica. Editorial Diana.

[7] Clough, R., Respuesta de Estructuras ante Terremotos. Traducción Libre Capitulo 12 libro: Earthquake Engineering de Robert Wiegel. Traducción: Elbio Villafañe

[8] Crisafulli J., Nociones de Sismología. Apuntes año 2001.

[9] Crisafulli J., Espectros de respuesta elástica y de diseño Apuntes año 2002.

Indicadores biológicos en cuerpos de agua del sur de Mendoza.

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

RESUMEN: Durante el verano 2002 – 2003 se reportó por vez primera la aparición de un fenómeno de floraciones algales (cambio de color o discoloración del agua, caracterizado por un importante aumento cuantitativo, localizado, de algunos organismos que la habitan) en forma de coloraciones verdes en el embalse de El Nihuil y de manchas rojizas amarronadas en Valle Grande, en los que pudo determinarse como géneros productores de la floración a algas verdes de la familia de las *Chlamydomonaceae* (clorofíceas) en el primer caso y del género *Ceratium* (dinoflagelados) en el segundo. Sobre el río Diamante, en manchas de menor cuantía se detectó junto con este último, otro dinoflagelado del género *Peridinium*. Fenómenos similares en otros lagos del mundo son los responsables de la aparición de olores nauseabundos que impiden la realización de actividades recreacionales en los mismos, así como comprometen la calidad del agua para bebida, además de ser los responsables de la mortandad de peces. Tales fenómenos han venido siendo recurrentes en veranos posteriores. Los parámetros físico químicos usualmente utilizados como indicadores biológicos de la calidad del agua no muestran correlación con la aparición de dichos fenómenos.

1 INTRODUCCION

Durante años, en la determinación de la calidad del agua superficial para diferentes usos sólo se tuvieron en cuenta los principales parámetros físicos y químicos, así como el contenido en algunos microorganismos que pudieren ser indicadores de contaminación, esencialmente con desechos cloacales provenientes de centros más o menos poblados. Sin embargo, además de este tipo de contaminación, ya hace algunos años comenzaron a observarse, especialmente en las regiones centro y este del país, procesos de eutroficación de cuerpos de agua naturales o construidos por embalse de los ríos, acelerados por el aporte de nutrientes provenientes de las escorrentías de tierras cultivadas y/o explotaciones ganaderas, así como de los desechos de núcleos poblados, considerándose en la actualidad como fundamentales el nitrógeno y el fósforo.[1] [2]

Además, en nuestro país comienzan a estudiarse en los fenómenos asociados con la eutroficación, especialmente el aumento de niveles de clorofila a y la aparición de coloraciones anormales en el agua asociados al crecimiento de diversas especies de algas microscópicas, especialmente cianófitas productoras de toxinas, a partir de la década de los '90, apareciendo entonces las primeras publicaciones al respecto. [3][4][5][6]

Las floraciones, floraciones algales, "blooms" o hemotalasias son fenómenos de cambio de color o discoloración del agua, caracterizados por un importante aumento cuantitativo, localizado, de algunos organismos que la habitan, conocidos desde hace muchísimos años y comunes en muchas partes del mundo.

Así, el primer testimonio escrito sobre los cambios de color en una masa de agua parece hallarse reflejado en la Biblia, al referirse al enrojecimiento de las aguas del Nilo y según algunos autores, el

nombre del Mar Rojo fue puesto por los griegos a las costas de Arabia, donde las hemotalasias son muy frecuentes.

Estos fenómenos de hemotalasia son generalmente provocados por organismos unicelulares que viven en la masa de agua y forman parte del plancton (del griego, plankton = errante), tanto en el agua dulce como en el mar. El plancton es usualmente la base de la red alimentaria del mar o de los lagos, y en él encontramos el fitoplancton, constituido por plantas microscópicas, generalmente unicelulares o coloniales, fotosintéticas y el zooplancton, compuesto por organismos uni y pluricelulares, de diminuto tamaño, gran parte del cual se alimenta del fitoplancton.

Aunque en muchos casos se torna muy difícil decidir si el organismo en cuestión es animal o vegetal (y ello ocurre con las características de muchos dinoflagelados), los dinoflagelados se clasifican, en la actualidad, dentro de las algas, aún cuando tienen una gran movilidad y muchos pueden alimentarse de otros organismos. [7]

Bajo ciertas condiciones ambientales, una ó más especies del plancton se pueden reproducir con gran rapidez, alcanzando cifras poblacionales muy elevadas y predominando sobre el resto de los organismos; a este fenómeno se lo conoce comúnmente como" floración". Si este proceso ocurre muy cerca de la superficie puede causar una discoloración del agua, la que puede llegar a presentar tonalidades rojizas, amarillentas, verdosas, azules, amarronadas, etc, debidas a los distintos tipos de pigmentos que poseen.

Los organismos que producen estas discoloraciones pueden ser muy diferentes: protozoos ciliados, dinoflagelados, diatomeas, otras algas unicelulares o coloniales, larvas de varios tipos de invertebrados,etc.

En la actualidad, los fenómenos de floraciones algales marinas son muy conocidos y aún estudiados en diversas partes del mundo, especialmente debido a que la floración de algunas especies en particular, generalmente de dinoflagelados productores de toxinas, conduce a la acumulación de dichas toxinas en especies acuáticas que se alimentan del plancton, resultando luego estas especies tóxicas para el hombre. Tal es el caso de la normalmente denominada "marea roja", en la cual resultan involucrados los moluscos bivalvos, y es un problema crónico no menor en las más diversas regiones del mundo, donde anualmente suelen producirse, en determinadas épocas del año las floraciones y la consiguiente toxicidad de los mariscos, cuya captura debe vedarse para evitar daños en su consumo, existiendo zonas, incluso, de veda permanente.

También se reportan como muy frecuentes las floraciones en algunos cuerpos de agua continentales, principalmente en aquellos con circulación reducida ó nula, como lagos, lagunas, charcas permanentes, etc. Una situación común en la Provincia de Santa Cruz, son las lagunas de color rosado, tonalidad ocasionada por la floración del alga *Chlamydomonas sanguínea* [8]. Generalmente, en los ambientes continentales, los organismos que provocan estos cambios de color son las algas azules o cianoficeas, algas verdes o clorofíceas, algas flageladas, como las euglenas y también las diatomeas, que otorgan diferentes colores a las masas de agua y el fenómeno afecta principalmente las capas superficiales del agua , variando su espesor desde algunos centímetros hasta varios metros.

En relación con problemas causados por hemotalasias de aguas dulces, se encuentran bien documentados algunos estudios llevados a cabo durante años en diversos lagos del mundo en los que el desarrollo de algunos géneros de dinoflagelados en determinadas épocas del año produce olores nauseabundos de tal magnitud que afectan la calidad del agua de bebida y las actividades recreacionales, las cuales deben ser suprimidas en esas épocas, así como toxicidad para los peces, ya sea en forma directa o bien por anoxia en horas nocturnas. [9]

En nuestro país y países vecinos, los reportes ya mencionados en las referencias dadas y muchos más [10][11][12][13] se refieren principalmente a las discoloraciones producidas por desarrollos masivos de cianoficeas, asociados a la producción de sustancias tóxicas de las mismas, solubles en el agua, con el consiguiente riesgo del consumo de la misma, aunque también se reportan algunos desarrollos de *Ceratium*.

Los fenómenos de floraciones algales se inician, desarrollan y desaparecen debido a la interacción de factores biológicos intra e interespecíficos, oceanográficos (o limnéticos) y meteorológicos, procesos de gran complejidad aún no totalmente conocidos en general, ya que dependen de la especie en cuestión, y donde los factores que pueden ser beneficiosos para una especie, no necesariamente lo son para otra.

Las causas más mencionadas en la literatura para estas hemotalasias son: temperaturas del agua elevadas, disminución de la salinidad (en el caso de mares, no en aguas dulces), alto contenido en nutrientes, elevada iluminación (poca á nula

nubosidad) y baja turbulencia (vientos reducidos o calma). Sin embargo, ninguna de estas posibles causas, aunque se hallen combinadas, pueden explicar todas las floraciones. [14] asegura que lo que parece ser causante en una región, no aparenta serlo en otra. Por ello, razones muy importantes para la aparición y desaparición de los fenómenos deben buscarse en los ciclos de vida de los organismos que los producen.

En este sentido, los dinoflagelados cuentan con ventajas relativas de frente a sus competidores por la luz solar, como lo son las diatomeas, ya que la movilidad otorgada por el batir del flagelo les permite aventajar a aquéllas y poder ocupar la capa superficial del agua, así como descender en horas de la noche a niveles más profundos para buscar alimentos. Otra ventaja aparente de los dinoflagelados del grupo formador de hemotalasias, es que poseen mecanismos de protección de los rayos ultravioleta, pudiendo ocupar la superficie sin ser dañados por esas peligrosas radiaciones, que inhiben la fotosíntesis y la división de las células.

Más fácil de explicar es la desaparición del fenómeno, aunque también las causas pueden ser numerosas: agotamiento de los nutrientes, disminución de la luminosidad (nubosidad), acción de los vientos, rompiendo la estratificación y aumentando la turbulencia, consumo por el zooplancton y otros organismos fitoplanctófagos formación de quistes de resistencia y autoinhibición específica.

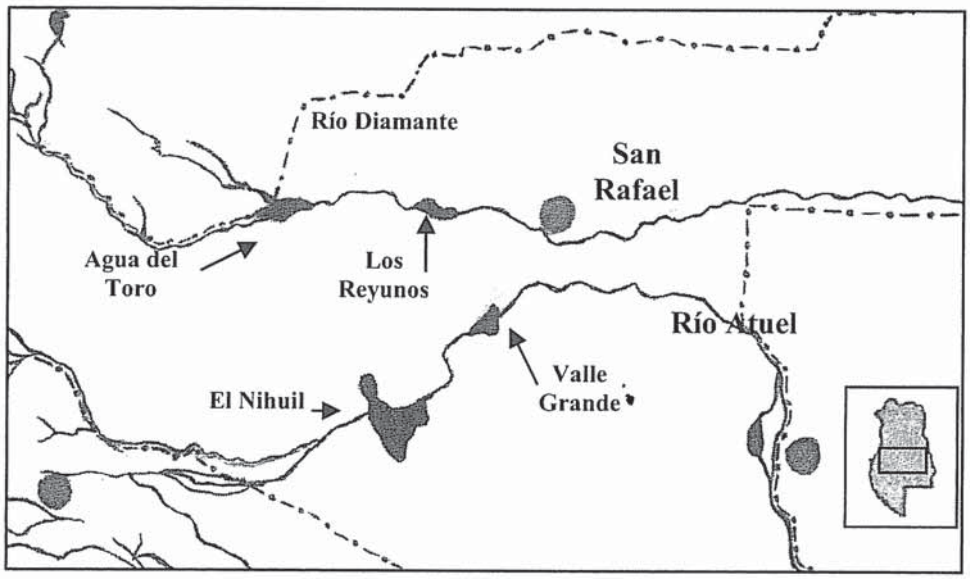


Figura 1. Ríos y embalses del sur de la provincia de Mendoza.

Por otro lado, dos ríos son los que sustentan el oasis y le dan vida en el sur de la provincia de Mendoza,: el río Atuel y el Diamante, sobre los que se han construido varios embalses que permiten el aprovechamiento energético (cuatro sobre el primero y dos de importancia por su capacidad de almacenamiento de agua, sobre el segundo). Los recuentos de formas planctónicas en cualquiera de estos embalases, monitoreados a lo largo de varios años, han sido bajos o muy bajos, especialmente sobre el río Diamante, en correspondencia con su condición de oligotróficos. Es de destacar que los lagos formados sobre el río Atuel son de menor profundidad y que El Nihuil, el primero de los embalses sobre este río (tanto por ubicación geográfica como por antigüedad), presenta zonas extensas con alta densidad de algas macrófitas (lamas) y otra vegetación acuática, así como su explotación para uso recreacional ha significado la construcción de una importante cantidad de viviendas en sus márgenes, algunas muy cercanas al lago. A pesar de ello, no se cuenta con registros de densidades altas de plancton en el mismo.

Por otra parte, en todos los años de funcionamiento de los diques no se han reportado, en ninguno de los organismos oficiales relacionados al control de la calidad del agua y del ambiente, la aparición de hemotalasias hasta el verano 2002 – 2003. También para las personas que habitualmente concurren a los embalses para uso recreacional durante varios meses cada año y para los habitantes del lugar, el fenómeno producido en esa fecha, con coloraciones marrón

rojizas en Valle Grande y verde en El Nihuil, resultó nuevo y no hay memoria de que haya ocurrido con anterioridad. Sin embargo, con mayor o menor intensidad ha seguido produciéndose hasta la fecha en épocas de verano.
En el presente trabajo se describe el fenómeno de floraciones algales ocurrido en embalses del sur de la provincia de Mendoza durante el verano 2002 – 2003, analizándose la evolución posterior de la densidad de plancton (en términos de células. ml^{-1}). También se estudian los contenidos de nutrientes y de clorofila en el agua, asociados a la aparición de los fenómenos, en la búsqueda de indicadores biológicos adecuados para describir la calidad del agua en estos embalses

2 MATERIALES Y MÉTODOS

Consistente en la extracción de muestras de agua de las zonas visiblemente afectadas, así como las de aparente agua limpia y el análisis cuali y cuantitativo del plancton, según las técnicas analíticas recomendadas por los Standard Methods de APHA-AWWA-WPCF [15]
De igual fuente son los métodos utilizados para la determinación del contenido de nitrógeno total, fósforo, clorofila a y otros parámetros como pH, conductividad y demanda química de oxígeno.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 *Descripción del fenómeno*

Durante el verano 2002 – 2003, parecen haber coincidido varios de los factores considerados entre las causas de la aparición de las floraciones algales, provocando la presentación de este fenómeno en varios de los embalses del sur de la provincia de Mendoza (históricamente de bajos niveles de plancton, como ya se ha dicho). Estas floraciones produjeron distintas coloraciones en las aguas de los lagos, siendo diferentes los organismos que las provocaron en cada caso.
Las primeras en observarse, a mediados de diciembre de 2002, ocupando zonas más o menos extensas del primer embalse sobre el río Atuel (El Nihuil), fueron grandes masas verdes que en determinadas circunstancias (especialmente viento) descendían, pero generalmente ubicadas cerca de la superficie, las cuales permanecieron durante todo el verano y desaparecieron abruptamente a fines de marzo. Los organismos identificados como productores del fenómeno fueron flagelados verdes de la familia de las *Chlamydomonaceae,* los cuales se encontraron, en momentos de mayor concentración, en cantidades de 15000 a 17000 células . ml^{-1}.

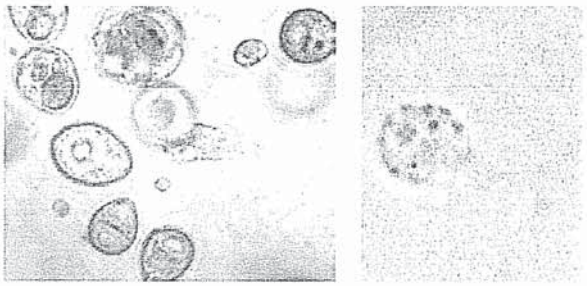


Figura 2. *Chlamydomonas sp* (izquierda) y flagelado productor de coloración verde en El Nihuil (derecha)

En el último embalse sobre este río (Valle Grande), en cambio, la hemotalasia tomó una coloración rojiza, apareciendo recién a finales de febrero. El fenómeno fue descrito por los visitantes del lugar como una gran *mancha de óxido*, que llegó a afectar una importante fracción de la superficie del embalse, cerca de la cabecera del mismo. No se reportó inicialmente la aparición de malos olores asociados con el fenómeno en la zona afectada, aunque sí en las muestras de agua tomadas para el análisis y en años posteriores en los que el fenómeno ha ido en aumento, tanto por la superficie afectada como por la densidad de organismos en el agua. En ese caso fueron detectados dinoflagelados del género *Ceratium*, en concentraciones de 1300 a 1400 células . ml^{-1} en las zonas coloreadas. Esta menor densidad de células que ya produce coloración en estas especies, en comparación con las encontradas en el otro embalse, queda justificada por el tamaño relativo de ambas especies.
En los dos embalses (mucho más pequeños) intermedios entre El Nihuil y Valle Grande, si bien se encontró una densidad de plancton mayor que en años anteriores, no aparecieron cambios visibles en la coloración del agua, situación posiblemente relacionada con un menor tiempo de retención del agua en esos cuerpos, menor estratificación y/o mayor turbulencia.
Sobre el río Diamante, especialmente en Los Reyunos se han observado algunas manchas rojizas,

aunque de pequeña extensión y de menor intensidad, posiblemente influenciado por la mayor profundidad de agua en estos embalses, aunque debe resaltarse el hecho de que las posibilidades de contaminación antrópica de los lagos sobre este río son mucho más bajas que las que presenta el Atuel. Estas hemotalasias se visualizaron desde fines de febrero, extendiéndose hasta finales de marzo o algo más. En éstas fueron identificados organismos de los géneros *Ceratium* y *Peridinium*, ambos dinoflagelados, (fig 3) aunque en bajas concentraciones.

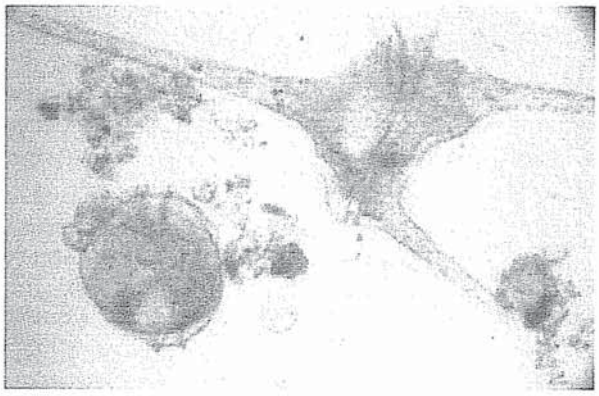


Figura 3. Dinoflagelados *Ceratium sp.* (derecha-arriba) y *Peridinium sp* (izquierda-abajo). Fotografía tomada en muestra de agua de Los Reyunos.

3.2 *Evolución de la densidad del plancton en las zonas afectadas.*

El análisis cualitativo de la densidad del plancton en el embalse de El Nihuil, muestra una recurrencia de incremento de la población de la clorofícea de las *Chlamydomonaceae* entre los meses de diciembre a abril, con máximos hacia finales de diciembre a febrero o principios de marzo. En los meses de invierno, se detectan muy pocas células de estas especies, predominando entonces las diatomeas centrales, aunque la densidad de células, acompañada de su pequeño tamaño, no resulta significativa en la producción de cambios de color o aspecto del agua. La población de *Ceratium* en este embalse, aún cuando se detectan algunas células se ha mantenido en niveles muy bajos, inferiores a 1 cel . ml^{-1}. En las épocas más frías, aparecen acompañando a las diatomeas centrales, algunas pennadas entre las que predomina *Fragilaria sp.*

En este embalse la situación se agravó también durante estos años debido al gran crecimiento de macrófitas y, en el verano 2004-2005, por la alta mortandad de peces, que llevó a la decisión de bajar el nivel del agua del embalse en el invierno 2005 a la cota mínima, retirando una importante cantidad de algas macrófitas que quedaron expuestas mediante este procedimiento. Sin embargo, aún cuando la hemotalasia no apareció en los primeros meses del verano siguiente, sí lo hizo en zonas menos extensas que años anteriores durante febrero-marzo de 2006.



Figura 4. Colonia de *Fragilaria sp*

En el embalse de Valle Grande, las primeras hemotalasias, de color marrón rojizo correspondieron a una mayor densidad de células de *Ceratium*, los cuales hacen su aparición hacia finales de febrero a principios de marzo, permaneciendo hasta mediados de abril. La aparición de las coloraciones ha sido recurrente en los años posteriores, aún cuando en algunos casos se ha extendido la época de aparición de la hemotalasia, aunque siempre en los meses más cálidos. Cabe destacar que aún en las zonas de aguas claras (sin coloraciones anormales), la densidad de células de esta especie se ha mantenido en niveles importantes, aún durante los meses más fríos. Esta situación se agrava por cuanto se trata de una especie productora de quistes que le permiten sobrevivir de una temporada a la siguiente. La cantidad de diatomeas centrales y *Chlamydomonaceae* suele ser mayor en número a las del dinoflagelado, aún cuando su tamaño es muy pequeño comparado con este último.

En los meses más fríos, aparece como mucho más importante, acompañando a *Ceratium*, la población de *Fragilaria sp*, en cantidades a veces equivalente al primero.

En todos los casos de aparición de discoloraciones, las mayores densidades de plancton se encuentran en profundidades de hasta 4 a 5 metros.

En ninguno de los dos embalses se detectaron en tiempo alguno niveles de cianofíceas que fueran significativos, descartándose la producción de toxinas de esas especies.

Las hemotalasias en el embalse de Los Reyunos, si bien han sido recurrentes, se han mantenido en superficies muy reducidas y con números

relativamente bajos de los dinoflagelados que las producen.

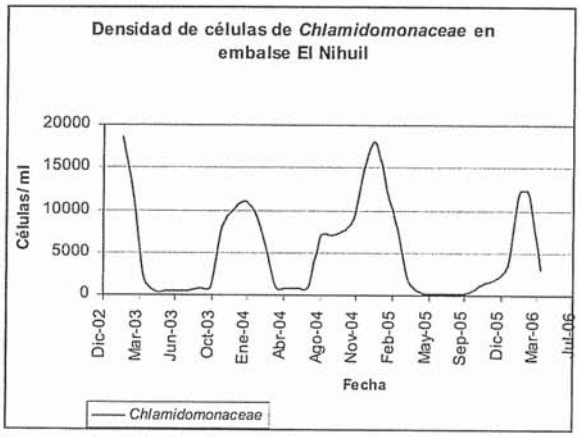


Figura 5. Variación de la densidad de células de especies productoras de hemotalasias en embalse de El Nihuil.

Los gráficos de las figuras 5 y 6 muestran la variación cuantitativa de células en las zonas en las que se normalmente se visualizan las manchas de diferente color. Los recuentos se han realizado en muestras integradas de columnas de agua de profundidades que oscilan entre 2 y 4 metros, aún cuando hay una alta varianza entre los recuentos obtenidos a diferentes profundidades.

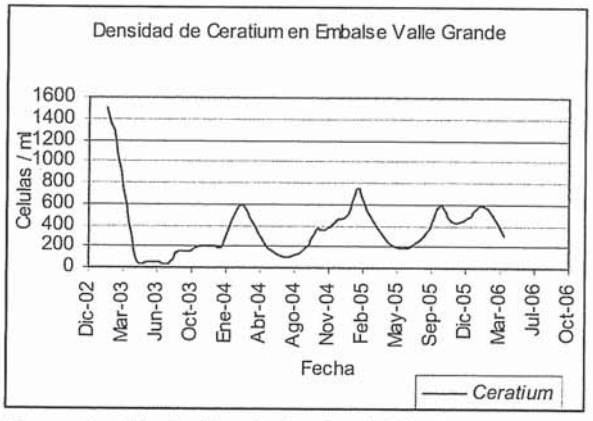


Figura 6. Variación de la densidad de células de especies productoras de hemotalasias en embalse de Valle Grande.

Es importante destacar que en el lago El Nihuil, se han visualizado manchas en zonas muy cercanas a la cola del embalse, con altos recuentos celulares, en zonas donde la influencia antrópica es mínima, máxime teniendo en cuenta que ambos ríos proveen agua para zonas de cultivo aguas debajo de los embalses, pero éstos no reciben importante cantidad de nutrientes por escorrentías aguas arriba de los mismos. De igual manera, la contaminación por las actividades turísticas y/o recreativas no afectarían la zona de ingreso del agua del río.

En ambos embalses sobre el río Atuel, las floraciones se producen a nivel superficial, no afectando la zona de salida del agua del embalse, razón por la cual los recuentos celulares en el agua del río bajan drásticamente, con muy pocas células por litro.

Los valores encontrados son compatibles con los reportados en publicaciones de otras partes del mundo con problemas similares [16]

3.3 *Parámetros fisico-químicos de posible incidencia sobre el crecimiento de algas.*

Tabla 1. Valores medios en diferentes puntos de los embalses estudiados, en diferentes épocas del año.

Parámetro	El Nihuil	Valle Grande	Los Reyunos
Nitrógeno total	1,6±0,8	1,4±0,6	1,2±0,5
Fósforo inorgánico	0,05 ±0,04	0,06 ±0,02	0,05 ±0,02
Clorofila a	0,8±0,7	6,1±2,9	0,1±0,1
pH	7,8±0,2	7,7±0,1	7,9±0,2
Conductividad	1128 ± 67	1156 ± 129	990 ± 75
DQO	10 ±8	5 ±3	4±3

La variación en estos parámetros no explicaría por sí sola la aparición de los fenómenos de floraciones algales en estos embalses.

Los niveles de nitrógeno y fósforo disueltos en el agua no guardan correlación con los niveles de los recuentos celulares y no muestran diferencias significativas entre los diversos puntos de muestreo para cada época del año, manteniéndose bajos durante todo el año.

Hasta el momento sólo pareciera tener mayor significancia en la aparición del fenómeno la temperatura externa, concomitantemente con la de la columna de agua.

Teniendo en cuenta que estos lagos no reciben un aporte significativo de nitrógeno y fósforo por escorrentías sobre su cuenca, no se descarta en el caso de El Nihuil la bioacumulación de estos nutrientes en la masa de macrófitas, y la recirculación a partir de los procesos de óxido – reducción de los fangos del lecho del lago.

En el caso de Valle Grande, la recurrencia de las floraciones podría estar explicada más bien por la resistencia de las especies involucradas.
En ambos casos, dado que los desarrollos se producen principalmente en las capas superficiales y se trata de lagos de mayor profundidad, no pueden eliminarse estos organismos por disminución de la cota de embalse.

4 CONCLUSIONES

El tipo de organismos que producen las floraciones en los embalses del sur de la provincia, especialmente los dinoflagelados que poseen ciclos de vida donde se generan formas quísticas de resistencia que perduran viables por largo tiempo en el bentos, causan que las mismas sean recurrentes a pesar de que los aportes de nutrientes se mantienen dentro de valores bajos a muy bajos, haciendo difícil la aplicación de medidas de mitigación, especialmente por su característica de desarrollar en los estratos más superficiales del embalse.
Las algas productoras de floraciones en los embalses del río Atuel se encuentran clasificadas como algas de aguas limpias, a pesar de que puedan producir impactos negativos como olores desagradables, lo que concuerda con los bajos niveles de nutrientes presentes en el agua.
Los indicadores biológicos tradicionalmente utilizados como niveles de fósforo, nitrógeno no permitirían evaluar correctamente la posibilidad de la aparición de las floraciones, por cuanto no mantienen correlación con las mismas.

5 REFERENCIAS

[1] M. G. Kelly & S. Wilson, Effect of phosphorus stripping on water chemistry and diatom ecology in an eastern lowland river. Water Research 38, 1559-1567. 2004

[2] Organization for Economic and Cooperative Development (OECD). Eutrophication of waters: monitoring, assessment and control. Paris. France. 1982

[3] M.E. Scarafía, A.A. Agnese & J.L. Cabrera, Microcystis aeruginosa: behaviour and toxic features in San Roque Dam (Argentina), Natural Toxins 3, 75-77, 1995

[4] A.L.Ruibal, A. Bustamante, M. Granero, F. López, a. Girbal, E. Lammel, ME Simonin & F.Busso. Estudio de la evolución de la calidad de agua del Embalse del Dique San Roque (Córdoba) asociado al desarrollo de floraciones de Ceratium. Congreso argentino de grandes presas y aprovechamiento hidroeléctrico. San Martin de Los Andes. Argentina. 1999

[5] L.Pizzolón, B.Tracana, H. Silva, C.Prósperi, A.L. Fabricius, M.O. García de Emiliani, A.V. Otaequi, H. Labollita,N. Santinelli & V. Sastre. Inventario de ambientes dulceacuícolas de la Argentina con riesgo de envenenamiento por cianobacterias. Ingeniería Sanitaria y Ambiental 33, 26-34, 1991.

[6] C. Donini & C. Prosperi. Estudio de las especies algales bioindicadoras de contaminación en el río Suquía (Córdoba, Argentina). Hidráulica 2000, INA-UNCórdoba 55-64, 2000

[7] E. Balech, Los dinoflagelados del Atlántico sudoccidental. Publicación Especial Instituto Español de Oceanografía, Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, Madrid, 310 pp, 1988.

[8] J. H. Vinuesa, Marea roja en el canal de Beagle. Publicación en Web.1999

[9] B. Guinzburg, I. Chalifa, T. Zohary & O. Hads, Identification of oligosulfide odorous compounds and their source in the lake of Galilee. Water Research, vol. 32 nº 6 , 1998.

[10] M.Pierotto, A. Zanuzzi, C. Prosperi, C. Daga, A. Rincón, M. Gonella & I. Zito Freyer, Estudios ecotoxicológicos con microalgas nativas de las Sierras de Córdoba, Argentina. Congreso Nacional del Agua. Mendoza. 2005.

[11] M.Pierotto, C. Daga, A. Rincón, M. Gonella & C. Prosperi, Dinámica del fitoplancton en el Embalse La Quebrada, Córdoba, Argentina. Congreso Nacional del Agua. Mendoza. 2005.

[12] A.L. Ruibal Seasonal variation of microcystins in Argentinean inland waters, Thesis, Kyoto University, Department of Global Environment Engineering, Japan, 2003.

[13] E.Bertoletti, E.G. Goldstein & M.G. Nipper, Toxicidade de águas superficiillas na regiao da Grande Sao Paulo. Rev. Bras. Toxicol. 2. 1-35, 1989

[14] E. Balech, Los dinoflagelados del Atlántico sudoccidental. Publicación Especial Instituto Español de Oceanografía, Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, Madrid, 310 pp, 1988.

[15] APHA, AWWA, WPCF, Métodos normali-zados para el análisis de aguas potables y residuales, Diaz de Santos S.A., Madrid, España , 1992

[16] B. Guinzburg, I. Chalifa, T. Zohary & O. Hads, Identification of oligosulfide odorous compounds and their source in the lake of Galilee. Water Research, vol. 32 nº 6 , 1998.

Rotación específica como herramienta de control de genuinidad de miel de flores.

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

RESUMEN: La reglamentación alimentaria argentina y del Mercosur no define las pruebas a realizar para asegurar la genuinidad de la miel, que puede ser adulterada por mezcla con jarabes edulcorantes comerciales, ya sea para evitar su cristalización o para reducir los costos del producto. Aunque en la bibliografía se encuentran varios métodos de diferente complejidad y ventajas y desventajas comparativas, la medición del índice o desviación polarimétrica podría ser un medio rápido y de bajo costo y complejidad para detectar o incluso cuantificar adulterantes en mieles argentinas. Se evalúan muestras de mieles de diferentes regiones del país y la influencia que la mezcla con diferentes tipos y concentraciones de jarabes edulcorantes comerciales ejerce sobre su rotación específica. El método permite detectar cantidades de jarabes de glucosa o maltosa inferiores al 5% en muestras de mieles de flores e incluso calcular en forma aproximada la extensión de la adulteración. Aunque no pueden detectarse pequeños agregados de jarabes de alto o medio contenido de fructosa, el método puede utilizarse para descubrir proporciones de estos jarabes habitualmente utilizadas para la adulteración de la miel.

1 INTRODUCCION

La reglamentación alimentaria argentina, en el art. 782 de su Código Alimentario, define la miel o miel de abeja como el *producto dulce elaborado por las abejas obreras a partir del néctar de las flores o de exudaciones de otras partes vivas de las plantas o presentes en ellas, que dichas abejas recogen, transforman y combinan con sustancias específicas propias, almacenándolo en panales, donde madura hasta completar su formación.* [1]

Por su parte, el Reglamento Técnico Mercosur de identidad y calidad de la miel, la define como *el producto alimenticio producido por las abejas melíferas a partir del néctar de las flores o de las secreciones procedentes de partes vivas de las plantas o de excreciones de insectos succionadores de plantas que quedan sobre partes vivas de plantas, que las abejas recogen, transforman, combinan con sustancias específicas propias y almacenan y dejan madurar en los panales de la colmena.* [1]

En ambos casos, las mieles se clasifican, según su origen, en *miel de flores*, aquella que procede principalmente de los néctares de las flores y *miel de mielada*, la obtenida primordialmente a partir de secreciones de las partes vivas de las plantas o de excreciones de insectos succionadores de plantas que se encuentran sobre ellas. Ambas reglamentaciones establecen los valores máximos o mínimos de parámetros como humedad, cenizas, azúcares reductores, sacarosa aparente, sólidos insolubles en agua, acidez y dextrinas totales, además del índice de diastasa y el contenido de HMF pero no especifican las pruebas a realizar para asegurar la genuinidad de miel.

Entre las pruebas disponibles para ello están:

- Una sencilla reacción de precipitación de las dextrinas en medio alcohólico y medio alcohólico acidificado con HCl [2], que tiene el inconveniente de no poder ser utilizada con JMAF (jarabes de maíz de alta fructosa), en los cuales no se presentan dichas dextrinas, además de no ser un método oficialmente reconocido.
- La reacción de Lund, de precipitación de las materias nitrogenadas con ácido tánico, que da resultados muy variables según el origen de la miel, y especialmente bajos en mieles de cítricos, por lo que no resulta segura o confiable. [3]
- La espectrometría de masas para determinar la proporción de C^{13} presente en la muestra, diferente en el maíz y los jarabes derivados del mismo que en la miel, aunque es un método que requiere equipamiento caro y de alta complejidad, no disponible para la mayoría de los laboratorios de control (método oficial AOAC 978.17) [4]
- Microscopía del insoluble, determinando elementos histológicas característicos de la caña de azúcar, si se han utilizado melazas derivadas de ésta como adulterante. Esta técnica permite detectar una pequeña cantidad de adulterante, pero requiere de personal altamente especializado y entrenado para aplicarse en forma eficiente, por lo que tampoco está disponible para la mayoría de los laboratorios de control. [5]
- La medida de la desviación polarimétrica: la miel de flores, por su composición de azúcares es normalmente levorrotatoria, mientras los jarabes comerciales son dextrorrotatorios.

Sin embargo, también está incluida en la definición de miel el producto elaborado por las abejas a partir de exudados de algunos áfidos, denominado *honeydew* o, en Argentina y Mercosur *miel de mielada*, que tiene una mayor proporción de azúcares superiores y dextrinas de bajo peso molecular y no da desviación polarimétrica negativa. Esta mielada, mielato o melaza es recogida por las abejas antes de que se deseque sobre las hojas en que han caído y por ello este fenómeno se verifica preferentemente al alba y en primavera y verano, disminuyendo al avanzar el día y al llegar el otoño, dependiendo en gran manera de la dinámica de la población de los hemípteros parásitos. Hoy día, con la difusión del uso de antiparasitarios, las mieladas no son tan comunes como fueron años atrás, quedando en algunos países sólo los que se producen en los bosques, en montes bajos y sobre vegetaciones espontáneas [6]. En la Argentina, país que ocupa el segundo lugar como exportador mundial de miel [7], este producto se obtiene para explotación comercial principalmente a partir del néctar de flores. Pequeñas cantidades de mielada que puedan ser recogidas por las abejas no suelen influir significativamente en la calidad de la miel de la totalidad de la colmena y mucho menos cuando se procesa la miel para su comercialización, mediante la mezcla del producto obtenido de decenas o cientos de colmenas y se la almacena en tanques o tambores de gran tamaño para su comercialización a granel.

La exigencia de que la miel presente desviación polarimétrica negativa, que estaba presente en reglamentaciones internacionales hace años [8] no aparece ya en las reglamentaciones actuales de Argentina y otros países. Por esta razón, aunque la desviación polarimétrica de la miel es una técnica analítica que aparece en la bibliografía desde hace años y se incluye en la metodología oficial de la AOAC, no se dispone de valores para este parámetro que permitan decidir, por su sola aplicación si la miel ha sido adulterada o no.

Por otra parte, la tendencia a la cristalización de la miel puede disminuirse o evitarse mediante el agregado (práctica no permitida en la Argentina y considerada una adulteración) de jarabes edulcorantes que contengan un porcentaje elevado de dextrinas (más del 25%) [2], dado que por debajo de ese porcentaje la glucosa tiende a cristalizar.

Actualmente se consiguen en el mercado no sólo los jarabes de glucosa tradicionales, sino una variedad más o menos amplia de productos de hidrólisis de almidones que contienen no sólo dextrinas en porcentajes variables sino también alguna cantidad de fructosa, lo cual tiende a disminuir la rotación dextrógira de los jarabes. Dentro de aquellos que podrían asemejarse más a la composición de la miel se encuentran los jarabes de maíz de alta fructosa (JMAF), que logran una hidrólisis del almidón muy completa, por lo que prácticamente no contienen dextrinas sino apenas una pequeña cantidad de azúcares superiores. En caso de utilizarse como adulterantes (o falsificantes), no se agregan con el propósito de impedir la cristalización, para lo cual serían absolutamente ineficaces dada la ausencia de dextrinas, sino para obtener un producto de menor costo.

Dado que la medición de la rotación específica como método para detectar e incluso, en algunos casos, cuantificar adulterantes, sería accesible para

cualquier laboratorio de control de baja a mediana complejidad y su costo es bajo, además de realizarse en sólo unos minutos, en este trabajo se evaluaron muestras de miel de todas las regiones productoras de la Argentina, a fin obtener los valores normales de rotación específica de las mieles producidas en este país, así como la variación que produce en este parámetro la adulteración o mezcla con diferentes proporciones de los principales jarabes edulcorantes que pueden encontrarse en el mercado.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras de mieles genuinas fueron recolectadas a través de las Asociaciones de Apicultores de cada región productora de la Argentina (Provincia de Buenos Aires, Litoral, Norte, Centro y Oeste), a partir de miel mezcla (de varias colmenas, ya homogeneizada en tanques o en tambores), representativa de la producción de la zona. Se obtuvieron 5 muestras de cada una de las tres últimas regiones y 8 de cada una de las dos primeras, principales productoras en el país.

Los jarabes que pueden ser utilizados como adulterantes de la miel comercializados en el país, pueden agruparse en tres grandes grupos, según su contenido en fructosa (azúcar levógiro) cuyas características se dan en la tabla 1: *Jarabes de glucosa* (JG*) o maltosa* (JM*)*, que no contienen fructosa; *Jarabes de alta fructosa* (JMAF), que no poseen dextrinas y *jarabes con contenido intermedio de fructosa* (JCIF).

Tabla 1. Características de los diferentes tipos de jarabes edulcorantes.

Azúcar	JG	JM	JMAF	JCIF
Sólidos totales (%)	78	78	72	75-78
Fructosa (%)*	--	--	> 41	20-30
Glucosa (%)*	12-16	< 5	51-52	28-40
Maltosa (%)*	13-17	40-42	1-2	16-23
Maltotriosa (%)*	16-20	24-28		
Az. superiores (%)*			5-6	
Dextrinas (%)*	51-55	26-30		13-29

* sobre base seca

La medida de la rotación específica de la miel y jarabes se realizó según método de la AOAC (920.182 b), sobre una solución de miel al 26% (m/v) previamente defecada con crema de alúmina y estabilizada (para completar la mutarrotación de la glucosa) durante 24 horas antes de la lectura en un polarímetro de limbo ATAGO modelo Polax D con tubo de 2 dm de longitud, a 20°C. La rotación específica $[\alpha]^{D}_{20°C}$, se calcula mediante la ecuación:

$$[\alpha]^{D}_{20°C} = \frac{\alpha * 100}{l * c} \qquad (1)$$

Siendo α la lectura polarimétrica, l la longitud del tubo portamuestras y c la concentración de la solución de miel (m/v).

En las muestras originales de miel, paralelamente a la medición de la rotación específica se realizaron las determinaciones de humedad (969.38 B) (método de Chataway, por medida del índice de refracción), azúcares reductores y totales (920.183 b y 920.184) (método químico cuprovolumétrico de Fehling, modificación de Lane Eynon), y acidez (962.19) (titulación con álcali), siguiendo los métodos oficiales de la AOAC cuyo número se indica entre paréntesis para cada técnica. El contenido de azúcares superiores o dextrinas se realizó siguiendo la metodología oficial del Código Alimentario Argentino (método gravimétrico por precipitación en alcohol de 96° y secado a 100 - 105°C).

Los métodos estadísticos empleados para el análisis de los resultados son ANOVA y pruebas de homogeneidad de grupos según Tuckey.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 2 se muestran los valores medios de la rotación específica obtenidos para las muestras de jarabes, tratados en idéntica forma que las muestras de miel, así como su desviación estándar y coeficiente de variación (CV)

Tabla 2. Rotación específica de los jarabes edulcorantes comerciales .

Jarabe	n	$[\alpha]^{D}_{20°C}$ (°)	CV (%)
JG	3	+119,5 ± 1,5	1,3
JM	3	+122,1 ± 1,5	1,2
JMAF	3	+5,4 ± 0,2	3,9
JCIF	7	+37,7 ± 9,3	24,6

En la tabla 3 se muestran los resultados obtenidos de los distintos parámetros para las muestras de miel, expresados como valor promedio con sus respectivas desviaciones estándar por zona.

Tabla 3. Valores de los parámetros físico-químicos y homogeneidad de grupos (Test de Tuckey) de las muestras de miel de diferentes zonas de la Argentina.

Zona Procedencia muestras	n	Humedad %	Azúcares reductores % (b.h.)	Azúcares totales % (b.h.)	Dextrinas % (b.h.)	Acidez meq/kg	Rotación específica (°)
Bs. As.	8	16.5 ± 0.5 a	75.0 ± 4.3 a	79.6 ± 2.4 a	0.74 ± 0.13 a	19.3 ± 2.7 a	-9.9 ± 2.1 a
Litoral	8	16.9 ± 0.8 a	75.7 ± 4.6 a	80.1 ± 2.4 a	0.79 ± 0.27 a	21.6 ± 4.4 a	-10.9 ± 1.9 a
Norte	5	16.4 ± 0.5 a	73.4 ± 4.0 a	80.1 ± 2.7 a	0.78 ± 0.25 a	18.8 ± 5.3 a	-10.3 ± 1.7 a
Centro	5	16.6 ± 0.7 a	74.1 ± 5.1 a	80.5 ± 2.1 a	0.80 ± 0.37 a	17.0 ± 3.1 a	-11.0 ± 1.9 a
Oeste	5	17.2 ± 0.8 a	73.4 ± 4.5 a	80.6 ± 2.1 a	0.79 ± 0.25 a	21.4 ± 4.9 a	-10.5 ± 2.1 a

El análisis de varianza de los mismos muestra que no hay diferencias significativas a $\alpha = 0{,}05$ para ninguno de los parámetros físicos o químicos en las mieles procedentes de las distintas zonas del país. Por esta razón, en los análisis que siguen, del comportamiento de mezclas con los jarabes edulcorantes comerciales de distinto tipo disponibles, se consideran globalmente todas las muestras de miel recolectadas, sin distinción de su zona de procedencia.

Tabla 4. Rotación específica y homogeneidad de grupos (Test de Tukey) de las mieles procedentes de todas las regiones argentinas con agregado de diferentes porcentajes de jarabes edulcorantes comerciales.

Cant. / Jarabe	0%	2%	5%	10%	20%	30%	50%
JG	-10.5 ±1.9 a	-7.9 ±1.8 de fg	-4.2 ±1.8 kl	+2.5 ±1.7 o			
JM	-10.5 ±1.9 a	-7.7 ±1.8 de fg	-3.7 ±1.7 kl	+2.9 ±1.7 o			
JMAF	-10.5 ±1.9 a	-10.4 ±1.7 ab	-9.9 ±1.8 ab	-8.5 ±1.6 bc de	-7.5 ±1.5 fg h	-5.6 ±1.3 ij	-2.8 ±0.9 lm
JCIF Promedio	-10.5 ±1.9 a	-9.6 ±1.8 ab c	-8.3 ±1.7 cd ef g	-5.9 ±1.6 hi j	-1.3 ±1.4 m	+3.8 ±1.3 o	
JCIF Lim. Inf.	-10.5 ±1.9 a	-9.8 ±1.8 ab	-8.7 ±1.8 bc de f	-7.2 ±1.6 ghi	-3.2 ±1.4 l	+0.7 ±1.3 n	
JCIF Lim. Sup.	-10.5 ±1.9 a	-9.4 ±1.8 ab cd	-7.3 ±1.8 ef g	-5.0 ±1.6 jk	+0.4 ±1.5 n	+6.5 ±1.3 p	

Dicho comportamiento se sintetiza en la Tabla 4, donde se registran los valores medios de la rotación específica de las muestras de miel mezclada con cantidades conocidas de los diferentes jarabes. Los valores obtenidos para cada muestra se incluyen en los gráficos de dispersión de la figura 1 y en los histogramas de frecuencias de la figura 2.

El análisis de varianza de los datos que se resumen en la tabla 4 muestra que no hay diferencias significativas entre los valores de las mezclas realizadas con jarabes de glucosa y las de jarabes de maltosa, las cuales tienen influencias similares sobre la desviación polarimétrica de la solución de miel, según el porcentaje de jarabe adicionado, lo que puede verse también fácilmente en las figuras 1 y 2.

Con cualquiera de estos jarabes, aún cuando se agreguen cantidades tan pequeñas como un 2%, las diferencias en los valores de rotación con los de las mieles originales resultan ya estadísticamente significativas para $\alpha = 0{,}05$, aún cuando en la figura 1 se observa que, dado que el rango de las desviaciones polarimétricas de las mieles genuinas es de aproximadamente 3°, se requieren cantidades de un 5% para que todos los valores de la mezcla se

encuentren formando una banda completamente separada con los de las mieles originales.

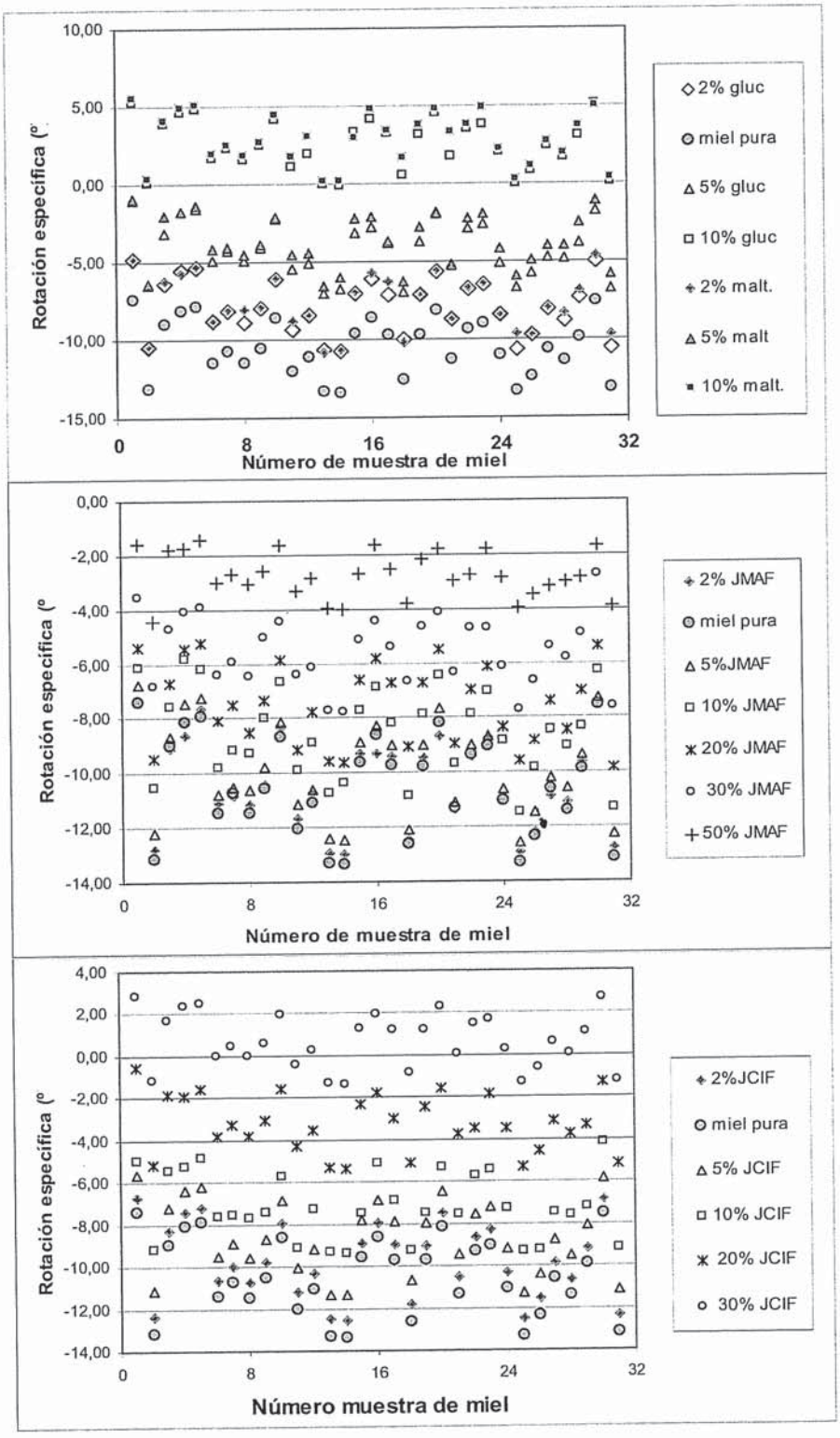


Figura 1. Rotación específica de las muestras de miel con el agregado de diferentes tipos y proporciones de jarabes edulcorantes.

Los jarabes de maíz de alta fructosa (JMAF), dada relación de fructosa : glucosa aproximadamente 0,8, tienen la mayor similitud con la composición de la miel natural, con rotación específica más cercana a la de ésta y por lo tanto son los que presentan menores diferencias con las muestras de miel.

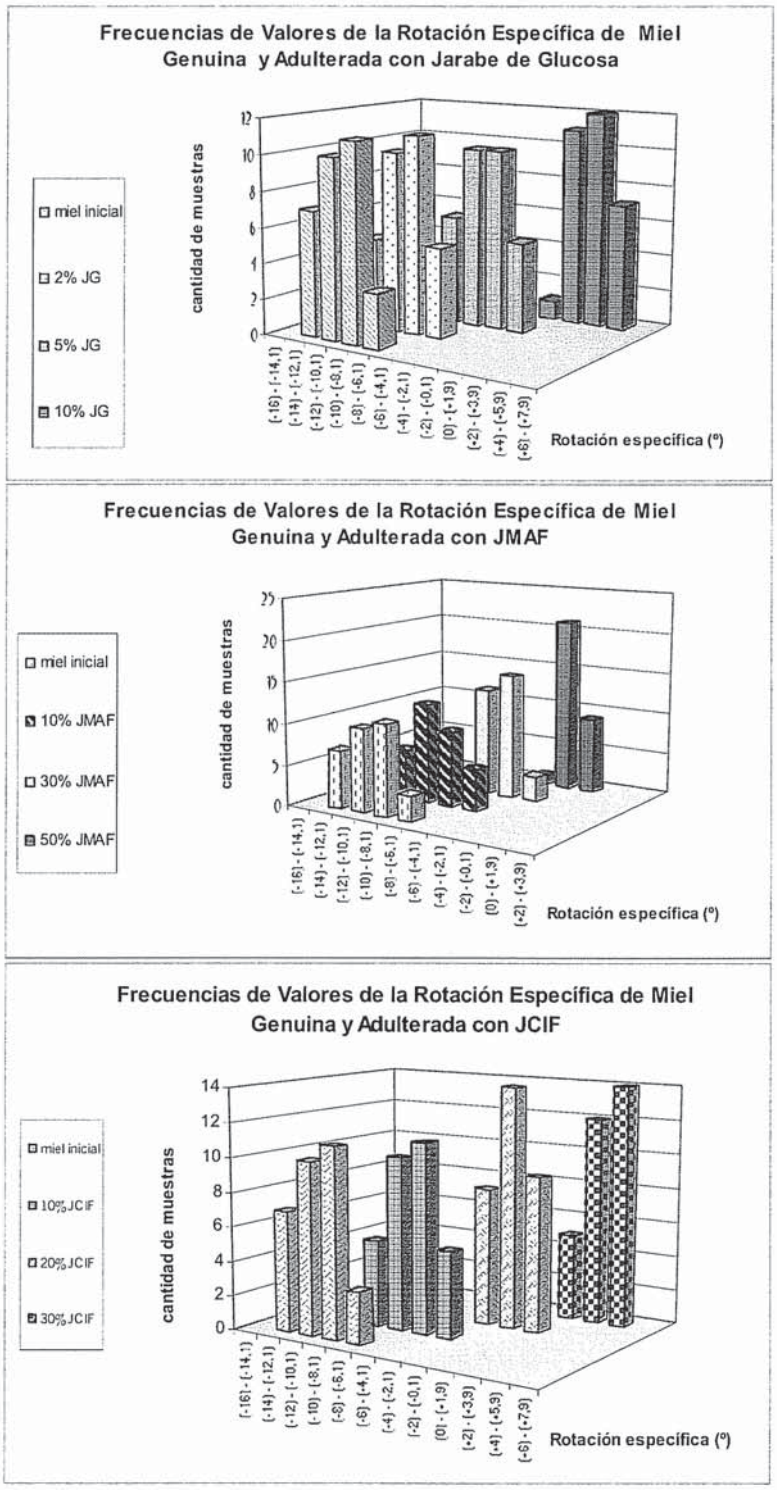


Figura 2. Histogramas de frecuencias de la rotación específica de miel genuina y adulterada con diferentes jarabes comerciales.

Estas diferencias no aparecen como estadísticamente significativas para $\alpha = 0,05$ hasta que el agregado de jarabe no supera el 10%. Sin embargo, en la Fig. 1 puede verse con claridad que para una buena cantidad de muestras (las de rotación específica de mayor valor absoluto), el parámetro puede no aparecer como índice de adulteración hasta que el porcentaje de jarabe agregado no supere el 25 a 30%.

Dado que estos jarabes no se agregarían con el fin de evitar la cristalización sino para obtener una disminución de los costos del producto, el porcentaje a agregar debería encontrarse al menos dentro de los valores que pueden detectarse mediante la rotación específica de la miel.

En lo que hace a los jarabes con contenidos intermedios de fructosa, a pesar de la variación que presentan los jarabes comerciales en la proporción de este último azúcar, las diferencias estadísticamente significativas a $\alpha = 0,05$ se presentan sólo a partir del agregado de un 5% de jarabe. En la figura 1 se muestran las desviaciones producidas por las diferentes muestras analizadas adicionadas con diferentes porcentajes de un jarabe que, dentro de este tipo de contenido intermedio de fructosa, presenta la rotación específica más baja, dado que es la situación más desfavorable para su detección. Igualmente en la figura 2 puede observarse en los histogramas el efecto mencionado.

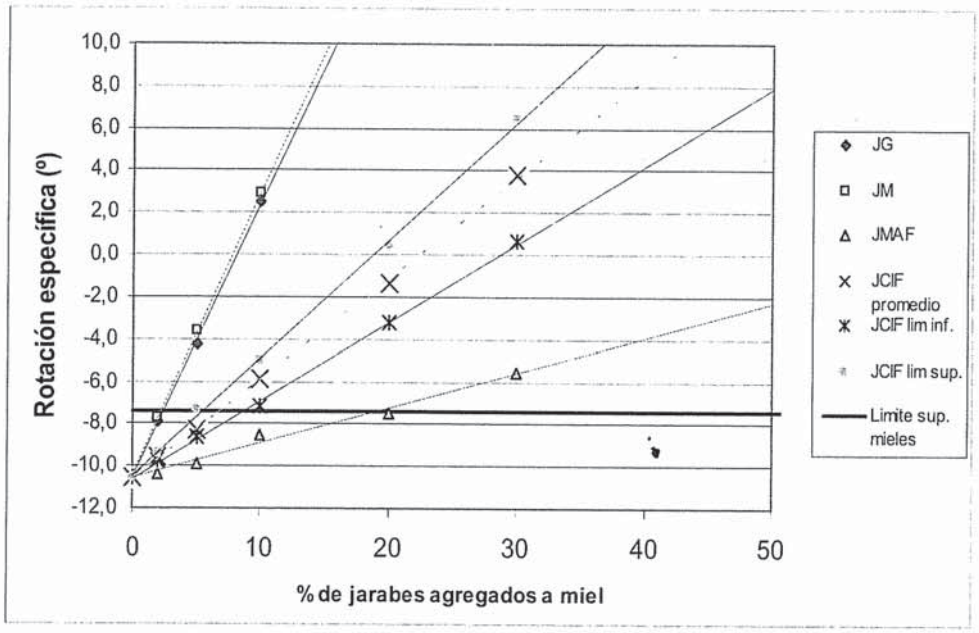


Figura 3. Variación de la rotación específica media de miel argentina con el agregado de diferentes porcentajes de jarabes edulcorantes comerciales

Para la mayoría de las muestras en este caso, el agregado de un 10% de jarabe resulta en un incremento tal de la desviación polarimétrica que la muestra se detectará como adulterada. En unas pocas muestras de rotación específica inicial muy baja, la adulteración sólo se detectará cuando el porcentaje agregado sea un poco mayor. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que estos jarabes con contenidos intermedios de fructosa tienden a poseer contenidos de dextrinas tanto menores cuanto mayor el porcentaje de ese azúcar, por lo que los jarabes de menor rotación específica no pueden ser utilizados para lograr un producto que no cristalice, sino simplemente como adulterante para abaratar los costos. Al respecto vale lo dicho más arriba para los JMAF.

Las rectas de regresión obtenidas en la Fig. 3, que presentan un muy buen ajuste con valores de $R^2 \geq 0.986$, permitirían, conociendo el tipo de jarabe comercial empleado, calcular en forma aproximada el porcentaje de adulterante de la muestra, teniendo en cuenta que la gráfica se ha construido con los

valores promedio de todas las muestras analizadas. En la tabla 5 se incluyen los modelos de regresión de cada serie, con sus ajustes R^2.

Tabla 5. Ecuaciones y ajuste de las rectas de regresión obtenidas para cada jarabe en la figura 3.

Jarabe	Modelo regresión	R^2
JMAF	y = 0,17x - 10,58	0.9863
JCIF (promedio)	y = 0,48x - 10,60	0.9994
JCIF (lim inferior)	y = 0,37x - 10,59	0.9987
JCIF (lim superior)	y = 0,56x - 10,44	0.9987
Jarabe de glucosa	y = 1,30x - 10,56	0.9996
Jarabe de maltosa	y = 1,34x - 10,43	0.9998

4 CONCLUSIONES

Los valores de la rotación específica de todas las muestras de miel analizadas, representativas de todas las regiones productoras de la Argentina, confirman que las mieles mezcla genuinas, listas para comercializar son levorrotatorias y dan desviaciones polarimétricas por debajo de -3.5 cuando se examinan en solución al 26% luego de mutarrotación completa de la glucosa, lo que corresponde a una rotación específica de $[\alpha]^{D}_{20°C}$ = -6,7°

El agregado de jarabes con alto contenido de dextrinas y baja o nula fructosa, como son los de glucosa y maltosa, modifica de tal manera la rotación específica de las mieles, que se detectan fácilmente por este método agregados tan pequeños como un 5%.

Si bien estos jarabes pueden detectarse también muy fácilmente por pruebas químicas sencillas como la precipitación de dextrinas en medio alcohólico y alcohólico ácido, la medida de la desviación polarimétrica presenta la ventaja de que permitiría calcular en forma aproximada la extensión de la adulteración realizada, cosa que no puede hacerse con el primer método.

Aún cuando este método no detectaría adulteraciones con pequeñas cantidades de jarabes de alto o medio contenido de fructosa, especialmente en mieles que originalmente presenten una rotación específica por debajo de -10°, sí pueden detectarse mezclas con proporciones habitualmente empleadas en una adulteración del producto, con la ventaja de que podrían detectarse incluso los JMAF, que pasarían desapercibidos con los métodos químicos de precipitación de dextrinas.

5 REFERENCIAS

[1] Código Alimentario Argentino y Anexo Resoluciones Mercosur. Actualización permanente. De la canal y Asociados SRL. Buenos Aires.

[2] Bianchi, E.M. 1990. Control de Calidad de la Miel y la Cera. Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO 68/3. Roma.

[3] Montes, L. 1981. Bromatología. Eudeba. Buenos Aires.

[4] A.O.A.C.(Association of Official Analytical Chemists). 1995. Official and Tentative Methods of Analysis. 16th Edition.

[5] SAGPyA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos de la Nación). 1998. Boletín Apícola N° 6, 6

[6] Piana, G; Ricciardelli D'Albore,G.; Isola, A. 1989. La Miel. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.

[7] SAGPyA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos de la Nación). 1999. Boletín Apícola N° 7, 1-2

[8] Hart, F.L.; Fisher, H.J. 1977. Análisis Moderno de los Alimentos. Edit. Acribia. Zaragoza. España.

Vulnerabilidad sísmica de un edificio educacional. Propuesta de una metodología para plantear medidas correctivas.

N. D. Aguera, J.C. Palencia, M. Tornello
ceredetec@frm.utn.edu.ar
CeReDeTeC, Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional

RESUMEN: El Gran Mendoza constituye el emplazamiento urbano socio-económico más importante del oeste Argentino y es el núcleo expuesto al mayor riesgo sísmico del país en base a los estudios de la sismicidad local y regional realizados. Hasta hoy los esfuerzos para optimizar la performance de las construcciones se han centrado en mejorar los reglamentos sismorresistentes. Queda pendiente qué hacer con las construcciones que no cumplen con los requerimientos de las últimas normativas, en especial los edificios educacionales, de gran riesgo e impacto social debido al factor de ocupación. Este trabajo presenta una evaluación cualitativa y cuantitativa de la vulnerabilidad sísmica de un edificio destinado a la enseñanza básica y de los cuales existe un número importante en Mendoza. El estudio realizado muestra un alto grado de vulnerabilidad del edificio y por lo tanto un elevado riesgo para sus ocupantes. Se sugieren algunas técnicas para reducir la vulnerabilidad sísmica del edificio estudiado y una metodología de trabajo para otros casos similares.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 *Objetivo del trabajo*

El objetivo del trabajo es la evaluación de la vulnerabilidad estructural de un edificio educacional de nivel primario, con una población estudiantil menor de doce años.
En caso de un terremoto destructivo, puede darse la necesidad de que los edificios educacionales sigan funcionando para brindar asistencia a la población, por ello se hace necesario evaluar la vulnerabilidad, con el objeto de obtener estimaciones precisas de los niveles de riesgo existentes y las posibilidades de adecuación a códigos actualizados.

1.2 *Descripción del edificio*

El edificio consta de una estructura de dos niveles, el entrepiso posee una losa de hormigón armado y el segundo nivel tiene una cubierta metálica flexible. La tipología estructural constituye un modelo típico de construcción de estos edificios educacionales del Gran Mendoza en la década de 1970.
La Fig. 1 muestra la configuración estructural: en la dirección transversal, la estructura predominante, está compuesta por tabiques de hormigón armado y muros de mampostería y en la dirección longitudinal la estructuración predominante es con pórticos de hormigón armado.
Los datos del edificio según documentación técnica corresponden a:

- Peso total del edificio (W) = 5390 kN
- Coeficiente de cortante en la base (Cs) = 0,13. según Código de Construcciones Antisísmicas [1].

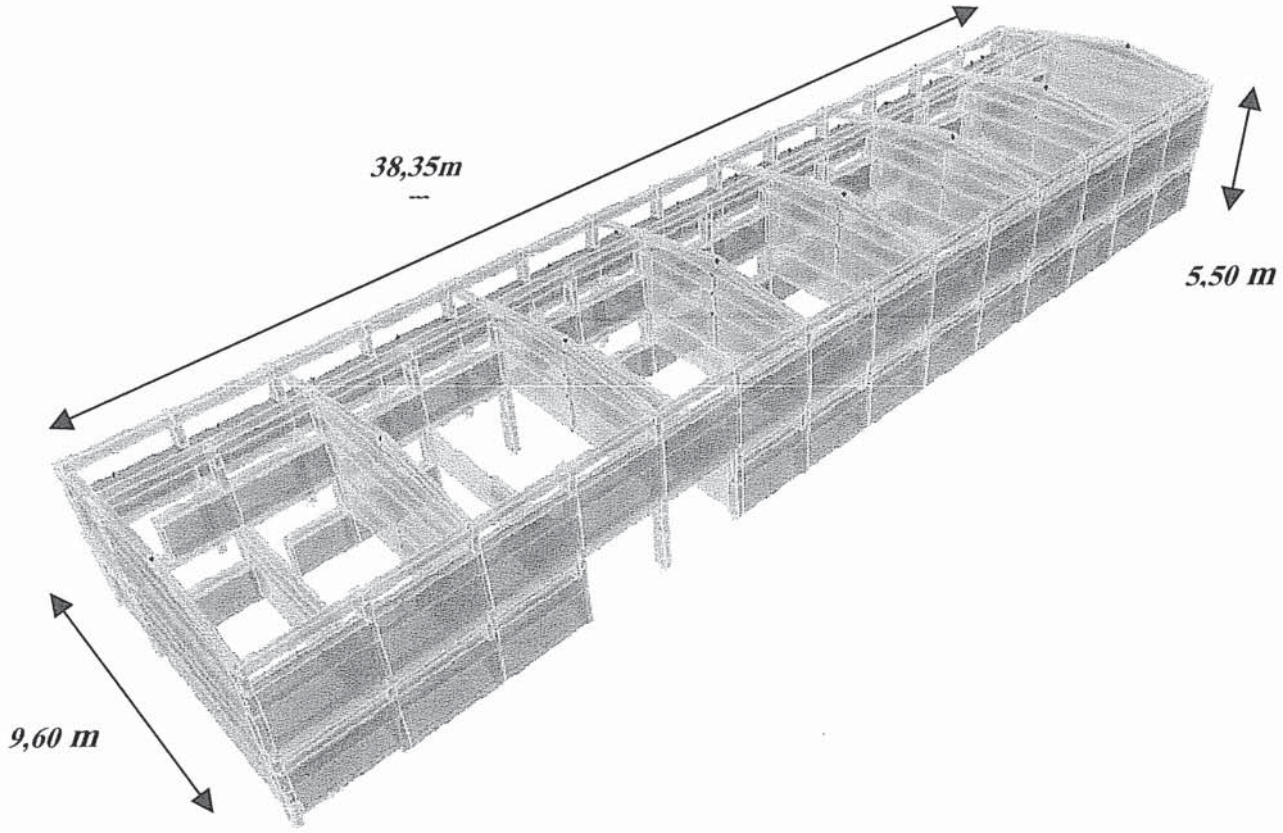


Figura 1: Distribución de elementos estructurales del edificio escolar estudiado

- Fuerza sísmica asociada a la dirección longitudinal (Fs) = 700 kN
- Hormigón tipo H13 y Acero tipo ADN 420/500 según Reglamento CIRSOC 201 [2]
- Mampostería de ladrillo macizo LCM con mortero clase 1 según el Código de Construcciones Sismorresistentes [3].

1.3 *Metodología aplicada*

Se aplicaron dos métodos, uno cualitativo que permite obtener un índice de vulnerabilidad (I.V) [4] y otro cuantitativo a través del uso de los espectros de capacidad [5].

1.3.a. Método cualitativo: Para obtener el índice de vulnerabilidad (I.V.) se identifican los parámetros más importantes que controlan el daño causado por un terremoto en los edificios.
El procedimiento califica diversos aspectos de los edificios tratando de distinguir las diferencias existentes en un mismo tipo de construcción o tipología. Este método fue originariamente aplicado por el Gruppo Nazionale per la Difesa dei Terremoti de Italia en 1986 [4].
Las razones de su elección fueron:

- está fundamentada en datos reales.
- se puede aplicar en estudios urbanos.
- se tiene la experiencia de aplicación en diferentes ciudades de Italia con buenos resultados y como consecuencia se adoptó oficialmente por el organismo gubernamental de Protección Civil de Italia.
- se ha aplicado en España en los sismos de Almería en 1993, 1994 y de Murcia en 1999.

El índice de vulnerabilidad global de cada edificio se evalúa utilizando la Ec.1.

$$I.V = \sum_{i=1}^{11} K_i \, W_i \qquad (1)$$

donde:

Ki : Coeficiente de calificación de la estructura de acuerdo a la clase de la estructura.
Wi : Factor de peso o ponderación de los parámetros en estudio.

En la Tabla 1 se presentan los resultados de la aplicación del método para los distintos parámetros [6].

Tabla 1: Resultados de la aplicación

Parámetro	Clase	Ki	Wi	Ki * Wi
1- Organización del sistema resistente	B	6	1	6
2- Calidad del sistema resistente	B	6	0.5	3
3- Resistencia convencional	C	22	1	22
4- Posición edificio y cimentación	A	0	0.5	0
5- Losas	A	0	1	0
6- Configuración en planta	B	3	0.5	1.5
7- Configuración en elevación	B	3	1	3
8- Conexión elementos críticos	C	6	0.75	4.5
9- Elementos de baja ductilidad	C	6	1	6
10- Elementos no estructurales	B	4	0.25	1
11- Estado de conservación	B	10	1	10
			Σ =	57

Referencias: Clase:
A = Comportamiento óptimo
B = Comportamiento intermedio
C = Comportamiento desfavorable

1.3.b. Método cuantitativo: consiste en determinar el punto de desempeño de una estructura cuando se ve sometida a movimientos sísmicos. Se compara la capacidad para resistir fuerzas laterales con la demanda sísmica, representada por medio de un espectro de respuesta reducido. La representación gráfica hace posible una evaluación visual de cómo podría comportarse la estructura cuando la misma se la somete a un determinado terremoto [5].

Se evalúa el desempeño sísmico estructural del edificio en estudio para el terremoto de diseño propuesto en el Reglamento INPRES-CIRSOC 103 [7]. Es importante tener en cuenta que en este análisis no se evalúa el desempeño de los elementos no estructurales ni los contenidos del edificio.
Para evaluar la respuesta de la estructura en fase no lineal se definieron las constitutivas de los materiales constitutivos de acuerdo a la propuesta de Park, R y Paulay, Priestley, M. J. N y Park, R. [9]
En este caso se aplicó para el acero la propuesta de Park, R y Paulay, T.[8], para el hormigón confinado se utilizó el modelo de Priestley, M. J. N y Park, R. [9], el cual se caracteriza fundamentalmente porque se utiliza para cualquier forma seccional y para cualquier grado de confinamiento. Las curvas momento-curvatura utilizadas para la modelación de la estructura fueron obtenidas mediante el programa Response 2000 [10].
Se realizó un análisis pushover con el programa ETABS V.2000 y para ello se introducen los parámetros de ductilidad seccional en valores de momento–rotación, como así también los valores de corte-desplazamiento. La curva de capacidad obtenida contempla no solo la rotulación por flexión sino también la de corte.
En las Tablas 2 y 3 se resumen las características de los elementos estructurales y los valores obtenidos de momento-rotación y ductilidad seccional.

Tabla 2: características de los elementos estructurales

Elemento	Dimensiones		Armadura Longitudinal		Estribos	
	b/bx	d/by	Cantidad	diám.	Diám.	Separación
	cm	cm	Abajo /Arriba	mm	mm	cm
C1	20	40	8	12	4,2	15
C6	20	40	10	12	4,2	15
CU2	7	28	4	8	4,2	20
V11	40	23	3/3	12/12	4,2	15
A4	23	30	3/3	12/12	4,2	15
VU2	38	7	4/3	8/8	4,2	15
VU1	18	30	2/2	8/8	4,2	15

V13	18	47	2/2	12/12	4,2	15

Tabla 3: Valores obtenidos de momento-rotación y ductilidad seccional

Elemento	Momento	Rotación	Ductilidad ∝
	(tm)	rad/m	
C1	*(1)* 0,00	0,0000	15,40
	(2) 3,86	0,0000	
	(3) 4,17	0,0697	
C6	0,00	0,0000	13,82
	4,79	0,0000	
	5,06	0,0578	
V11	0,00	0,0000	32,84
	2,60	0,0000	
	2,99	0,0912	
A4	0,00	0,0000	29,79
	3,52	0,0000	
	4,01	0,0754	
VU2	0,00	0,0000	5,90
	0,22	0,0000	
	0,23	0,0236	
CU2	0,00	0,0000	4,61
	0,20	0,0000	
	0,21	0,0183	
VU1	0,00	0,0000	22,55
	2,37	0,0000	
	2,37	0,0745	
V13	0,00	0,0000	32,62
	3,98	0,0000	
	4,56	0,0608	

C: *COLUMNAS*
V-VU-A: *VIGAS*

2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

2.1 *Método cualitativo*

El Método del Índice de Vulnerabilidad prevee un valor máximo de 90 puntos, y el valor encontrado fue de 57 lo que representa el 63% del total de la escala. Por lo tanto se considera que el establecimiento educacional presenta una importante vulnerabilidad.
Por lo tanto y de acuerdo al resultado obtenido ante la ocurrencia de un terremoto de diseño, la estructura presentará importantes daños de sus componentes estructurales y no estructurales. Por este motivo este tipo de edificio requiere una intervención con objeto de reducir la vulnerabilidad del mismo.

2.2 *Método cuantitativo*

La curva de capacidad se obtuvo en función de los parámetros determinados (θp, Mu, δ y Vu), con el programa ETABS 2000 [11] y mediante un análisis estático no lineal del modelo se obtuvo la curva de capacidad. La ubicación de las rótulas plásticas se realiza en función del diagrama de momentos flectores elástico lineal, las mismas se ubicaron en pie y cabeza de columnas y en los extremos de las vigas. Debido a la presencia de mampostería en uno de los planos resistente longitudinal, se genera columnas cortas y se permite la formación de rótulas en ambos extremos de las columnas cortas del modelo. No se incluyó en este análisis la modelación del suelo, por no tener parámetros confiables para incluir en el modelo.
Se realizó un análisis "controlado por desplazamiento", en el cual se aplica la carga horizontal monotónica hasta producir el colapso. Del mismo se obtiene una curva que representa el corte basal respecto del desplazamiento horizontal del diafragma rígido correspondiente al primer nivel. En la Fig. 4 se representa la curva de capacidad obtenida para la estructura original.

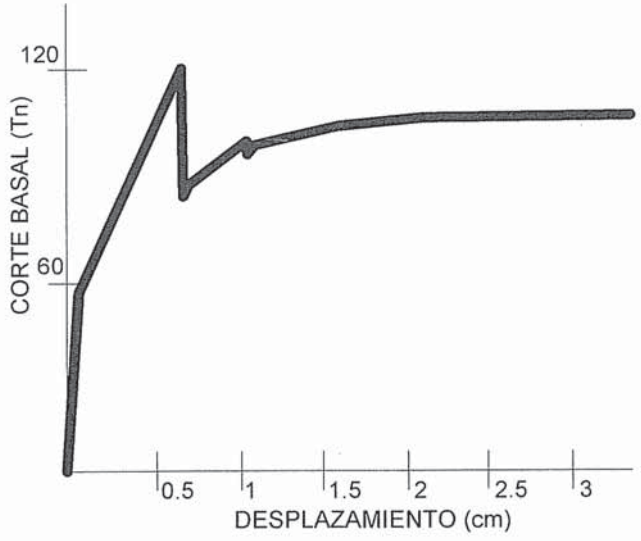


Figura 4: Curva de capacidad obtenida para la estructura original

En base al Capítulo 8 del ATC 40 [5], se representa en la Fig. 5 el espectro de capacidad del edificio en estudio, se observa que el edificio no resiste la demanda sísmica impuesta por el espectro elástico de diseño del Reglamento INPRES-CIRSOC 103 [7].

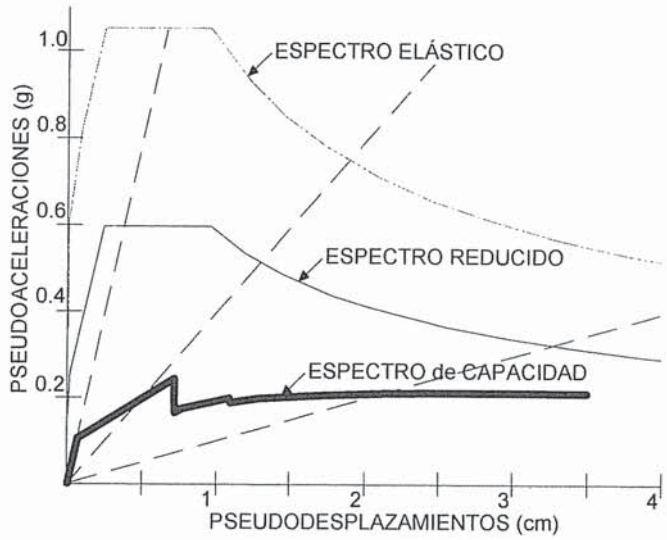


Figura 5: Espectro de capacidad del edificio en estudio

La baja capacidad está asociada principalmente a la falla por corte de casi la totalidad de las columnas cortas ubicadas en uno de los planos resistentes longitudinales. El mismo agota su capacidad mucho antes que los designados como planos resistentes longitudinales internos ubicados en el mismo sentido de análisis.

3 PROPUESTA DE LA REDUCCIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA

El edificio analizado requiere un refuerzo estructural, con el objeto de reducir su vulnerabilidad frente a terremotos esperados en la región. Controlar la vulnerabilidad del edificio implica no solo reducir las pérdidas económicas sino además salvaguardar las vidas de los ocupantes del edificio (alumnos, docentes, administrativos, etc.).

Una posible propuesta de refuerzo estructural para el edificio en estudio es la de disponer diagonales de acero, en forma de k invertida, ubicados en los pórticos que presentan el efecto de columna corta.

En base al capítulo 8 del ATC 40 [5], en la Fig. 6 se representan las curvas de capacidad para la estructura original y para la estructura reforzada con la propuesta citada.

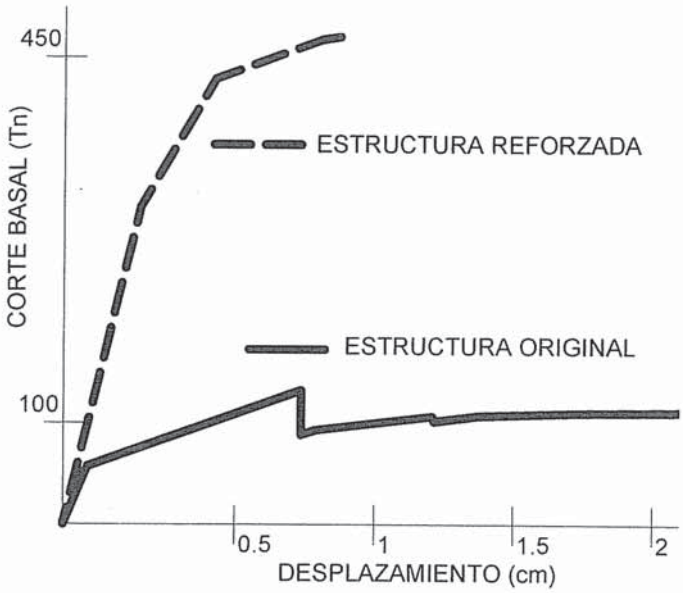


Figura 6: Curvas de capacidad para la estructura original y para la estructura reforzada

4 CONCLUSIONES

En función de los resultados obtenidos es posible expresar las siguientes primeras conclusiones:

- La tipología estructural que poseen estos edificios escolares no tienen capacidad estructural para resistir los requerimientos del espectro de demanda del Reglamento INPRES-CIRSOC 103 para zona 4.
- El método del Índice de Vulnerabilidad es un procedimiento adecuado para una evaluación cualitativa y rápida de la vulnerabilidad, pero requiere de experiencia profesional sobre comportamiento de estructuras y materiales para adoptar los coeficientes.
- Los resultados obtenidos indican que es necesario el estudio y el refuerzo estructural de todos los establecimientos educacionales emplazados en la Provincia de Mendoza que responden a esta tipología estructural analizada.
- La propuesta preliminar del refuerzo estructural planteado, si bien permite alcanzar un punto de desempeño, es necesario profundizar el diseño con el objeto de mejorar la capacidad de

deformación. También debe incluirse el efecto del tipo de suelo cuando corresponda.

- Es posible correlacionar los resultados obtenidos mediante los dos métodos analizados para la estructura original. También se obtienen las mismas conclusiones con la evaluación de la calidad sismorresistente de la obra primitiva definida en el capítulo 8 del Código de Construcciones Sismorresistente para la Provincia de Mendoza [12]. Según el punto 8.4.1 la construcción se clasifica como: "Obra importante (I1)", el punto 8.4.2 calidad sismorresistente: Obra de baja calidad "C3", el punto 8.4.3 capacidad sismorresistente: $r = 0.44 < 0.60$ (capacidad de la estructura dividida corte basal) que corresponde a seguridad "S4, seguridad insuficiente", por lo tanto el punto 8.6.3.3.a define: "Reparación de daños y restitución de la capacidad exigida por el código".

5 REFERENCIAS

[1] Gobierno de Mendoza. Código de Construcciones Antisísmicas. 1970.

[2] CIRSOC 201. Reglamento de Estructuras de Hormigón Armado y Pretensado. INTI.1983.

[3] Gobierno de Mendoza. Código de Construcciones Sismorresistentes. 1987.

[4] Gruppo Nazionale Difesa dei Terremoti. C.N.R. Istruzioni per la compilazione e vulnerabiltá sísmica degli edifici. Italia. 1986.

[5] ATC (Report ATC 40). Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, 2 Volumes, Seismic Safety Commission, Redwood City. 1996.

[6] M.Tornello. Vulnerabilidad Sísmica de Edificios de Hormigón Armado emplazados en Zonas de Alto Riesgo Sísmico. CeReDeTeC. Facultad Regional Mendoza.2002.

[7] INPRES-CIRSOC 103. Normas Argentinas para la Construcción Sismorresistente. Parte I. Argentina, 1991.

[8] R.Park y T. Paulay. Estructuras de concreto reforzado. Limusa, 1981.

[9] T.Paulay & M.J.Priestley. Seismic design of reinforced concrete and masonry building. New York: John Wiley and Sons, Inc. 1992.

[10] E.C. Bentz y M.P.Collins. Response 2000, 2000.

[11] ETABS Non Linear. Extended 3D. Analysis of Building Systems, Computers and structures, 2000.

[12] Código de Construcciones Sismorresistente para la Provincia de Mendoza, 1987.

Articulación de sistemas de representación en la competencia de resolución de problemas

A. Schilardi, G. Cuadrado & C. Bello

aschilardi@frm.utn.edu.ar & gcuadrado@frm.utn.edu.ar & cab@frm.utn.edu.ar
Centro de investigación y Educación Matemática para Ingeniería (CIEMI), Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional

RESUMEN: En este trabajo se analizó un aspecto de la resolución de problemas, competencia que junto a otras, proponen ciertas instituciones nacionales e internacionales, como: CONFEDI (Argentina), OCDE, Tunig y varias más. Éstas alientan la resolución de problemas para lograr un buen desarrollo profesional. Esas capacidades resolutivas están intrínsecamente vinculadas al uso de sistemas de signos, propios de la Matemática, la Ciencia y la Tecnología. Para analizar este aspecto se recurrió a la Teoría de Duval, que permite relacionar recursivamente el dominio de los conceptos con la destreza de uso de los sistemas de representación. Se encontró que para resolver problemas ingenieriles los conceptos intervinientes se expresan en dos o más sistemas de representación, además del lenguaje natural. Esto permitió concluir que para favorecer los aprendizajes es fundamental articular los sistemas de representación, actividad poco frecuente en Matemática, donde se privilegian los registros simbólicos. Se encontró también que la presentación de informes sobre la resolución de problemas ingenieriles tiene todo el potencial que favorecer dicha articulación, porque allí intervienen siempre representaciones analíticas, icónicas y del lenguaje natural. Este último aspecto es un indicador de la importancia que tiene este trabajo para organizar las actividades matemáticas del Ciclo Básico.

1 INTRODUCCIÓN

La *resolución de problemas* ha sido siempre una actividad implícita de todas las ramas de la Ingeniería, pero recientemente ha pasado a ser una competencia que se solicita de modo explícito. Así lo confirman las pautas establecidas en la XXXVII reunión plenaria CONFEDI, realizada en Sante Fe durante mayo del 2005 cuando establece que uno de los criterios que debe contemplarse en la formulación de los planes de estudio de Ingeniería es: *" desarrollar en los estudiantes (futuros ingenieros) capacidad de manejo de situaciones bajo incertidumbre, consolidando actitudes para la solución de problemas no tradicionales con predisposición a la adopción de soluciones de bajo riesgo".*

Los trabajos de ingeniería implican resolver problemas técnicos, como los señalados. El sentido de la palabra '*problema*' puede tomarse como "cualquier situación práctica o teórica, para la que no hay respuesta adecuada automática o habitual, y que por lo tanto, exige un proceso reflexivo" (Runes; 1985: 310) [1].

Cuando estamos frente a un verdadero problema, no sabemos cual es la solución, hay que buscarla y no pensar a priori que hay recetas para ello. La aplicación directa de una definición, o una propiedad no resuelve un problema. Aplicar una regla, un algoritmo o un procedimiento previo, nos indica que estamos frente a un simple ejercicio. Un problema

implica una situación inicial de perplejidad, malestar o confusión, y una situación final de clarificación: dada una situación se desea llegar a otra y no se conoce el camino. Por lo tanto hay tres elementos, cada uno de ellos claramente definidos:

Una situación inicial

Una situación final u objetivo a alcanzar

Restricciones o pautas respecto de métodos, actividades, tipos de operaciones, etc, sobre los cuales hay acuerdos previos.

Todo conocimiento es una respuesta a situaciones o problemas. O sea que ha surgido en un contexto funcional y luego ha sido procesado para relacionarlo con otros conocimientos, conservarlo y transmitirlo, adoptando la modalidad de saber cultural.

Resolver problemas en ingeniería requiere:

- Formular
- Probar
- Recomenzar a partir del error
- Construir modelos, lenguajes, conceptos
- Proponer soluciones
- Confrontar las soluciones, defenderlas, discutirlas
- Replantear, si fuera necesario.

Bunge (2002: 33-34) [2] hace una distinción entre problemas científicos y técnicos. Para él los problemas científicos suelen ser directos, mientras que los técnicos son inversos. Por ejemplo, dada una antena, un físico puede calcular las ondas que emite; un ingeniero en cambio, la diseña para que las ondas emitidas se propaguen en una frecuencia deseada. Para desarrollar esas actividades utiliza teorías empíricas que informan sobre aspectos de la realidad y la manera de modificarlos.

En relación con esta concepción de problema, Krick (1967: 23-26) [3] sostiene que en Ingeniería existe un problema cuando se desea transformar una situación en otra, hay más de una manera de hacerlo soluciones posibles no tienen la misma aceptación. Además propone hacerlo en cinco etapas. La primera es la *formulación del problema,* donde se identifica un estado inicial y otro final, sin detalles. El *análisis del problema*, la segunda, involucra investigación, procesamiento y síntesis de la información obtenida y detalla los estados indicados. La tercera consiste en la *búsqueda de soluciones*, inspeccionando las alternativas posibles que llevan del estado inicial al final. En la cuarta etapa interviene la *decisión*, las soluciones se comparan y se seleccionan en base a criterios. El quinto y último paso consiste en *especificar* y *documentar* todas las características técnicas de la solución elegida.

Este trabajo justifica introducir estudios de Lógica, Semiótica y Sistémica en el ciclo básico, para formar alumnos con una visión más crítica y general. Así se enfrenta el dilema mencionado con otro criterio, el de *forma* y *contenido*. Distinción que no es nueva, pero sí oportuna y sugerente, porque divide las ciencias en *formales* y *empíricas.* Además interviene en los procesos cognitivos de *abstracción* e *interpretación*, que regulan el autoaprendizaje y la autonomía profesional.

El presente trabajo analiza la importancia de una educación basada en la resolución de problemas, como una manera de dominar los conceptos. Como la actividad de resolver problemas consiste en representar conceptos a través de signos, requiere de otros sistemas de representación además del lenguaje natural.

Este análisis está basado en la teoría de registros de representación semiótica de Raymond Duval [4] que tiene como idea principal que la coordinación entre distintos registros de representación semiótica es fundamental para el desarrollo del pensamiento y una actividad necesaria y natural en la resolución de problemas.

Los tópicos más relevantes de este trabajo se centran

- ✓ en la relación entre la matemática, las ciencias empíricas, la lógica, semiótica y sistémica con la algoritmia.
- ✓ Descripción de fenómenos relativos a la semiósis.
- ✓ Diferenciación entre actividades de tratamiento y conversión
- ✓ Criterios de congruencia entre distintos registros
- ✓ Relación entre los cambios de registros y las dificultades de comprensión.

2 DESARROLLO

La actividad que se ocupa de sistematizar, unificar y describir los procedimientos que resuelven problemas es la *algoritmia*, es importante en Ingeniería. En esta actividad convergen aspectos disciplinares que provienen de la Matemática, las Ciencias Empíricas, la Lógica, la Semiótica y la Sistémica. La presencia de las dos primeras en la Ingeniería se remonta a tiempos muy distantes. No ocurre lo mismo con las otras tres. La Lógica, tradicionalmente, ha formado parte de los estudios

de Filosofía, también la Semiótica que en un tiempo llevó el nombre de 'Gramática Filosófica' (Bochenski, 1969: 37, 38) [5]. La Teoría General de los Sistemas surgió recién en el siglo XX.

En todas las etapas de la resolución de problemas se argumenta y se representan conceptos, en algún sistema de signos. Basta observar que todos verbos característicos de la algoritmia como *formular, analizar, procesar, sintetizar, reflexionar* y *modelizar*, generan argumentos sobre los que hay que decidir si son correctos o no, función que le compete a la Lógica. Ésta disciplina se ocupa de los procesos racionales del pensamiento y los vínculos de éste con la realidad, además estudia los procedimientos teóricos y experimentales del conocimiento científico y la estructura de la ciencia. A partir del siglo XIX, la Lógica desarrolló instrumentos de análisis de argumentos muy potentes, por ello es pertinente incorporarla de modo explícito en los estudios de Ingeniería. Tal vez no se hizo antes porque ésta se adquiría implícitamente en los ambientes de trabajo más reducidos, confinados por especialidad.

La Lógica está asociada estrechamente con la Semiótica. Ésta última estudia signos, lenguajes, representaciones y tiene tres ramas: 1) *Sintaxis* que se ocupa de la estructura de las relaciones entre signos; 2) *Semántica* que asigna signos a objetos o hechos; 3) *Pragmática* que estudia la relación de uso de los signos con sus intérpretes (Morris, 1994: 27-33) [6].

Tanto la Matemática como la Lógica son lenguajes sintácticos, porque los significados de sus signos son internos a la teoría formal. En cambio las teorías empíricas son lenguajes semánticos porque sus signos se vinculan con elementos externos, describen porciones de realidad, llamadas '*modelos*'. Estos son objetos semióticos porque explican *cosas* distintas de ellos y *alguien* los usa para explicar esas *cosas*.

Para María Herminia Paissan la resolución de situaciones problemáticas es un procedimiento intelectual muy complejo que no debe pasar por alto las distintas acciones que realiza nuestra inteligencia para efectuarlo. Considera que las estrategias utilizadas para dicha resolución deben consistir en: análisis de enunciado e interpretación del mismo; propuesta de posibles soluciones ordenadas (hipotetizar); aplicación de los algoritmos correspondientes; valoración de los resultados obtenidos.

En cambio para Wallas [7], la resolución de problemas consiste en una actividad que consta de las siguientes etapas:

-preparación: fase en la cual el solucionador analiza el problema, intenta definirlo en forma clara y recoge hechos e información relevante al problema.

- incubación: fase en la cual el solucionador analiza analiza el problema de manera inconsciente.

- inspiración: fase en la cual la solución del problema surge de manera inconsciente.

- verificación: fase que involucra la revisión de la solución.

Otros autores como André [8] o Hayes [9] señalan que las etapas de la resolución de problemas sirven para enfatizar el pensamiento consciente y para aproximarse analíticamente a la solución, así como también para ofrecer una descripción de las actividades mentales de la persona que resuelve el problema. En tal sentido André propone otras etapas en la resolución de problemas, éstas son:

- darse cuenta del problema, de que existe una discrepancia entre lo que se desea y lo que se tiene.

- especificación del problema, se trabaja una descripción más precisa del problema.

- generalización de la solución. Se consideran varias alternativas posibles

- selección de la solución. Se recoge aquella que tenga mayor probabilidad de éxito.

- instrumentación de la solución. Se implementa la solución. .

- nueva revisión de la solución, de ser necesario.

También Polya [10] señala que un problema puede resolverse correctamente si se siguen los siguientes pasos:

- comprender el problema.

- concebir un plan para llegar a la solución.

-ejecutar el plan.

- verificar el procedimiento.

- comprobar los resultados.

Shoenfeld [11] a partir de los planteamientos de Polya se ha dedicado a proponer actividades de resolución de problemas. Su modelo abarca los siguientes pasos:

- análisis: consiste en trazar un diagrama, si es posible; examinar casos particulares; probar a simplificar el problema.

- exploración: consiste en examinar problemas esencialmente equivalentes; examinar problemas ligeramente modificados; examinar problemas ampliamente modificados.

- comprobación de la solución obtenida: siguiendo criterios generales (obtener la solución por otro lado)

o siguiendo criterios particulares (usando estimaciones o predicciones).
Cualquiera sea el autor que se analice, en todas las etapas de la resolución de problemas se representan los conceptos en algún sistema de signos. Esta actividad cognitiva requiere de la utilización de sistemas de expresión y de representación distintos a los del lenguaje natural o de las imágenes como sistemas de escritura para los números, notación simbólica para los objetos, escrituras algebraicas y lógicas que toman el estatus de lenguajes paralelos al lenguaje natural para expresar las relaciones, etc.

Acá entonces cabe la pregunta ¿es esencial la utilización de varios sistemas semióticos de representación y de expresión?
El análisis de los problemas en el aprendizaje de las matemáticas y de los obstáculos a los cuales se enfrentan regularmente los alumnos de las ingenierías para resolver problemas, conduce a reconocer una ley fundamental del funcionamiento cognitivo del pensamiento *"no hay noesis sin semiosis"* (Duval, 1999:14) [12], entendiendo por semiosis a la aprehensión o la producción de una representación semiótica y noesis a los actos cognitivos como la aprehensión conceptual de un objeto. Según esta regla,
Esta investigación apunta, entonces a analizar como incide en el aprendizaje para la resolución de problemas, el enfoque cognitivo basado en los registros de representación de Raymond Duval, poniendo en evidencia el rol que juegan los registros de representación en las soluciones a problemas, dado que distinguir y coordinar distintos registros es una tarea necesaria y elemental para resolver problemas en ingeniería. La teoría de registros de representación de R. Duval es reciente, y ha sido desarrollada en forma independiente de Vygotsky; sin embargo, comparte con él la tesis de que el pensamiento no es puramente conceptual, sino también es semiótico. A diferencia de Vygotsky, que insiste solamente en el rol del lenguaje natural en el desarrollo del pensamiento, Duval insiste en la pluralidad de registros de representación.
Según Duval, hay al menos dos características de la actividad cognitiva implicada en las estrategias matemáticas. Por un lado se recurre a varios registros de representación, algunos de los cuales han sido específicamente desarrollados para efectuar tratamientos matemáticos; y por otro, los objetos matemáticos no son accesibles mediante la percepción, como ocurre con la mayoría de los objetos en las otras disciplinas.

El análisis de los obstáculos encontrados en los aprendizajes fundamentales relativos a nociones matemáticas, enfrenta tres fenómenos relativos a la semiósis:

- ✓ Diversificación de los registros de representación semiótica: además de utilizarse el lenguaje natural, es necesario conocer registros como el gráfico, algebraico, o las tablas.
- ✓ Diferenciación entre representante y representado: esto esta asociado a a la comprensión de o que una representación representa.
- ✓ Coordinación entre diferentes registros de representación semiótica: el conocer las reglas de correspondencia entre dos sistemas semióticos diferentes no alcanza para que se puedan usar simultáneamente y que se pueda realizar espontáneamente esta coordinación.

Por lo general no se hace la distinción entre las actividades de tratamiento y las de conversión de representaciones, no obstante son diferentes. Un *tratamiento* es una transformación que se efectúa en el interior de un mismo registro, acá se moviliza sólo un solo registro de representación. Por ejemplo en el registro algebraico, representar la expresión (a-b)(a+b) como $a^2 - b^2$ utiliza para su transformación reglas algebraicas que permiten realizar el tratamiento. Por el contrario, la *conversión* es, una transformación que hace pasar de un registro al otro. Esta actividad requiere de la coordinación del sujeto que la realiza. En el ejemplo anterior sería reconocer a esta expresión como una "diferencia de cuadrados"
En la resolución de un problema, podemos encontrar tareas de tratamiento y conversión. La interpretación de las variables enunciadas en un problema dado en el lenguaje natural como expresiones algebraicas, moviliza acciones de conversión, mientras que el manejo de estas expresiones algebraicas o simbólicas para obtener un resultado numérico como respuesta a un problema moviliza acciones de tratamiento.
Cuando resolvemos un problema, "traducimos" el enunciado utilizando una función matemática o un dibujo que lo represente, o "codificamos" la información que nos proporciona el enunciado a

través de símbolos matemáticos. Estas operaciones hacen corresponder una representación dada en un registro con otra representación en otro registro.

En las carreras de ingeniería, donde hemos dicho, la resolución de problemas es una tarea permanente, se recurre a la actividad cognitiva de conversión de las representaciones como si fuera una actividad natural o adquirida, desde los primeros grados de la enseñanza, por todos los alumnos; como si fuera una actividad sobre la cual los aprendizajes de tratamiento y los aprendizajes conceptuales pudieran apoyarse. Ahora bien, la mayoría de las veces la conversión es menos inmediata y menos simple de lo que se tiende a creer. Las experiencias realizadas demuestran que esta conversión es casi-inmediata en los casos en que existe congruencia entre el registro de partida y el de llegada. En caso de no-congruencia no solo aumenta el tiempo en que se realiza la conversión, sino que puede resultar imposible de efectuar o de comprender si no ha habido un aprendizaje previo concerniente a las especificidades semióticas de formación y de tratamiento de la representación, propias a cada uno de los registros presentes.
Duval precisa tres criterios de congruencia [13]:

- Posibilidad de correspondencia semántica de los elementos significantes: a cada unidad significante simple de una de las representaciones, se puede asociar una unidad significante elemental.
- Univocidad semántica terminal: a cada unidad significante elemental de la representación de salida, no le corresponde más que una única unidad significante elemental en el registro de la representación de llegada.
- Orden del arreglo de las unidades que componen cada una de las dos representaciones: es pertinente sólo cuando éstas tienen el mismo número de dimensiones. Este criterio es importante cuando se trata de comparar fórmulas con frases.

Estos criterios permiten determinar la congruencia entre dos representaciones semióticas diferentes del mismo contenido. Decimos que estas representaciones son congruentes cuando se verifican los tres criterios. La no-congruencia puede ser mas o menos grande según sea la cantidad de criterios que no se verifican.

Veamos los siguientes casos de congruencia y no-congruencia en conversiones del registro de lenguaje natural al simbólico:

- *"el conjunto de puntos cuya ordenada es superior a la absisa"* $y > x$

  hay correspondencia semántica de los elementos significantes. También hay univocidad semántica terminal y las unidades las dos representaciones están ordenadas.

- *" el conjunto de los puntos que tengan abscisa positiva"* : $x > 0$

  en la escritura simbólica no hay una unidad elemental significante que traduzca positivo, entonces hay que utilizar dos unidades signficantes ">" y "0"

Hay algunos trabajos de investigación que apoyan esta teoría de Duval, en los cuales se analiza que las dificultades de comprensión conceptual ponen de manifiesto el fracaso de la conversión en casos de no congruencia y la no coordinación de los registros de representación por parte de los alumnos. Esto obstaculiza la resolución de problemas en los estudiantes.
Uno de estos trabajos es el realizado por la Dra Ismenia Guzman[14] respecto de las nociones relativas a funciones. En esta investigación trabajo sobre los registros gráficos, algebraico y el de la lengua natural en un 1° año de ingeniería. Aplicó un cuestionario de 16 items a 75 estudiantes a alumnos de 18 a 19 años y examinó sus respuestas.
Las conclusiones de este trabajo son:

- que la mayoría de los alumnos daba respuestas mono-registros, quedándose en el registro en que se le planteaba la pregunta o utilizando el registro algebraico porque frecuentemente es privilegiado en las clases.
- Dificultad para redactar una explicación completa en lenguaje natural
- Estos alumnos no tienen la habilidad para leer o interpretar un gráfico movilizando los conceptos pertinentes que aprendieron en lenguaje formal o natural.
- Como la conversión entre registros no es un objetivo de enseñanza que se tome en cuenta explícitamente, no ayuda a los estudiantes a formular explicaciones en el registro del lenguaje natural.

El aporte de esta investigación es mostrar un camino para orientar la enseñanza favoreciendo la comprensión y la adquisición de nociones conceptuales mediante la puesta en juego de distintos registros de representación. Parece evidente que la coordinación de todas las representaciones pertinentes de una noción determinada ayuda a la adquisición de ella.
Para favorecer el desarrollo del pensamiento conceptual es fundamental que los alumnos lleguen a articular diferentes registros de representación semiótica. Para esto es necesario enfrentarlos a suficientes problemas de conversiones. Esto resulta una tarea creativa para los profesores aún en el caso de que los problemas parezcan muy fáciles.

3 CONCLUSIÓN

El conocimiento es el resultado de confrontaciones con obstáculos encontrados durante una actividad, de múltiples interacciones en una situación didáctica con aplicación de estrategias seleccionadas, anticipadas, ejecutadas y controladas (no espontáneas). La situación didáctica es construida por el docente con el propósito explícito de que el alumno aprenda algo.
Este conocimiento se puede adquirir a través de la resolución de problemas. Para las carreras de ingeniería, esta forma de aprender respondería a la consigna del CONFEDI, para diseñar los futuros planes de estudio en lo referido a

" desarrollar en los estudiantes (futuros ingenieros) capacidad de manejo de situaciones bajo incertidumbre, consolidando actitudes para la solución de problemas no tradicionales con predisposición a la adopción de soluciones de bajo riesgo".

Para que estos alumnos puedan aprender a través de problemas se debe favorecer la coordinación entre diferentes registros de representación semiótica dado que esto no se dá en forma espontánea. En la mayoría de los casos, la adquisición del conocimiento está ligada a representaciones efectuadas en un solo registro, o privilegiando alguno en particular. Esto provoca que cuando un alumno sale del contexto en el cual se realizó el aprendizaje es incapaz de movilizar los conocimientos adquiridos. De esta manera no se permite ninguna transferencia.

4 REFERENCIAS

[1] D.Runes, Diccionario de Filosofía, Barcelona, Grijalbo, 1985.

[2] M. Bunge, Ser, Saber hacer, Emergencia y convergencia, Paidós, 1996.

[3] E. Krick, Introducción a la ingeniería y al proyecto en ingeniería, Limusa-wiley, 1967.

[4] [12] [13] R. Duval, Semiósis y pensamiento humano. Registros semióticos y aprendizajes intelectuales, Universidad del Valle. Instituto de Educación y Pedagogía. Grupo de Educación Matemática, 1999.

[5] J. Bochenski, La filosofía actual, Fondo de Cultura Económica, 1969.

[6] C. Morris, Fundamentos de la teoría de los signos, Paidós, 1994.

[7] G. Wallas, The arto f thought, Harcourt Brace Jovanovich, 1926.

[8] T. André, Problem solving and education, Academic Press, 1986.

[9] J. Hayes, The complete problem solver, Franklin Institute Presss.

[10] G. Polya, Mathematical Discovery: on solving, Wiley, 1965.

[11] A. Schoenfeld, Mathematical problem solving, Academic Press.

[14] I. Guzman, Registros de representación, el aprendizaje de nociones relativas a funciones: voces de estudiantes, Revista Latinoamericana de investigación en Matemática Educativa, nº 1, volumen 1, 1998.

Los disipadores de energía por plastificación de metales en el diseño por capacidad

G. L. Palazzo

gpalazzo@frm.utn.edu.ar
Ceredetec, Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional

F. Crisafulli

jcrisa@uncu.edu.ar
Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo

F. López Almansa

francesc.lopez-almansa@upc.edu
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña

RESUMEN: El diseño por capacidad permite proyectar estructuras que respondan de manera dúctil ante solicitaciones sísmicas desconocidas. Orienta al estructuralista en el diseño especial de ciertas zonas de la estructura para que disipen la energía ingresada en ella por un sismo. En base a este diseño, y a los efectos de evitar la degradación de la construcción, pueden proyectarse dispositivos para disipar energía que no formen parte de la estructura principal. Los disipadores de energía por plastificación de metales, tal como las barras de pandeo restringido, permiten alcanzar este objetivo. Además, pueden reemplazarse a bajo costo luego de un terremoto destructivo. En este trabajo se evalúa la capacidad para disipar energía en forma estable y repetible de un diseño particular de estos dispositivos. Para ello se describen sus componentes, se presenta una metodología de diseño simplificada y se muestran los resultados de ensayos de cinco especimenes a escala, sometidos a unas secuencias de desplazamientos cíclicos. En las conclusiones se destacan los aspectos que deberían considerarse en una modelación numérica de estos disipadores, y el comportamiento alcanzado por ellos en los ensayos. Se proponen también estudios futuros para avanzar en el conocimiento de aspectos no definidos en estos dispositivos.

1 INTRODUCCIÓN

El diseño por capacidad, Ref. [1], es una metodología de diseño sismorresistente que conduce a la formación de un mecanismo de deformación plástica (respuesta dúctil) en ciertas zonas de una estructura, evitando la ocurrencia de fallas frágiles (mecanismos no deseados). Su objetivo es que la energía que ingresa a una estructura debida a un sismo se disipe principalmente en esas zonas, permaneciendo el resto de la estructura con comportamiento elástico (sin daño).

A pesar de las incertidumbres existentes en la definición de la demanda sísmica, el diseño por capacidad permite que la estructura exhiba una respuesta dúctil con buena capacidad de disipación energía. Esta metodología, desarrollada en Nueva Zelanda en la década de 1970, fue aplicada

inicialmente a estructuras de hormigón armado, luego se difundió a nivel internacional, y hoy se aplica a todo tipo de estructuras.
Aquellas zonas de deformaciones plásticas para disipar energía pueden pensarse fuera de la estructura principal (para evitar su deterioro), disponiendo para ello dispositivos especiales que puedan ser reemplazados luego de un terremoto severo. Así, podrían aplicarse para este fin los disipadores de energía por plastificación de metales, tal como las barras de pandeo restringido (BPR), Ref. [2].
A los efectos de evaluar las posibilidades de estos dispositivos como disipadores de energía, se presenta en este trabajo una descripción general de los mismos, un proceso de diseño simplificado y se analiza la respuesta obtenida en especimenes a escala sometidos a deformaciones cíclicas.

2 BARRAS DE PANDEO RESTRINGIDO

2.1 *Descripción general*

En las BPR un elemento central de acero disipa energía a través de ciclos de plastificación estable de tracción – compresión. El pandeo de la barra central se evita ubicando la misma dentro de un tubo de acero relleno de hormigón o mortero, Ref. [3]. En la Figura 1 se muestra un esquema de este tipo de barras.

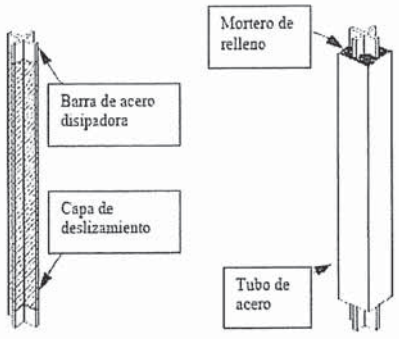


Figura 1. Barra de pandeo restringido.

Estos disipadores se colocan como diagonales en estructuras aporticadas de acero u hormigón armado. Debe considerarse que los mismos constituyen una estructura de material compuesto, donde una de sus partes está sometida a grandes deformaciones plásticas (por lo que puede sufrir pandeo inelástico), con fenómenos acoplado de fatiga (debido a las solicitaciones cíclicas de la acción sísmica), Ref. [4].

2.2 *Metodología de diseño propuesta*

A pesar del comportamiento complejo que presentan las BPR, tal como se indicara en el parágrafo anterior, se plantea en esta parte un diseño preliminar simplificado. La metodología se aplica a una BPR a instalarse en un nivel de un pórtico con deriva de piso máxima δ. Se supone además que se requiere del disipador una rigidez axial total K_T. El diseño simplificado se plantea en los siguientes dos pasos:
Paso 1: Determinación de la demanda de ductilidad μ en función de la deriva de piso δ, y de la longitud de fluencia L_y de la barra central:
El desplazamiento axial máximo que soportará el disipador $d_{máx}$ está relacionada mediante la (1) con la deriva de piso (siendo θ el ángulo que el dispositivo forma con la horizontal) y con el desplazamiento de fluencia d_y.

$$d_{máx} = \delta\, H \cos\theta = \mu\, d_y \qquad (1)$$

Considerando que los extremos tendrán una sección distinta a la zona de fluencia (con una tensión η veces menor que la tensión de fluencia f_y de la barra); y que la barra central tiene una longitud total L_T y un módulo de elasticidad longitudinal E; se puede expresar d_y según la (2).

$$d_y = \frac{f_y\, L_y}{E} + \frac{(\eta\, f_y)(L_T - L_y)}{E} \qquad (2)$$

Reemplazando (2) en (1) y denominado γ a la relación L_T/L_y se obtiene con la (3) la ductilidad requerida μ.

$$\mu = \frac{\delta\, H \cos\theta\, E}{f_y\, L_y\, [1 + \eta\,(\gamma - 1)]} \qquad (3)$$

Paso 2: Cálculo del área necesaria de la zona de fluencia A_y de la barra central, en función de K_T y de L_y:
K_T se relaciona con la rigidez de la zona de fluencia K_y y la de los extremos K_e de acuerdo a la (4), las cuales se determinan con la (5), donde Ae corresponde al área de la zona de extremos.

$$K_T = \frac{1}{\frac{1}{K_y} + \frac{1}{K_e}} \qquad (4)$$

$$K_y = \frac{E\, A_y}{L_y} \quad ; \quad K_e = \frac{E\, A_e}{(L_T - L_y)} \qquad (5)$$

Denominado ψ a la relación de áreas Ae/Ay, y reemplazando (5) en (4) se llega a la (6) que corresponde a la otra variable dependiente planteada.

$$A_y = \frac{K_T\ L_y\ [\psi + L_y(\gamma - 1)]}{\psi\ E} \quad (6)$$

Luego, si con la (7) se calcula la fuerza de fluencia P_y, y la $P_{máx}$ con la (8) (considerando la tensión de fluencia última del material f_u), puede determinarse el diagrama bilineal que representa el comportamiento elástoplástico de este disipador.

$$P_y = f_y\ A_y \quad (7)$$

$$P_{máx} = f_u\ A_y \quad (8)$$

Para evitar el pandeo global de la barra central se menciona aquí el criterio simplificado de la Ref. [6], dado por la (9), basado en la estabilidad del equilibrio elástico de una barra de material homogéneo e isótropo sumergida en un medio elástico. Esta expresión indica que la carga crítica de pandeo de Euler del tubo externo (sin considerar el relleno), P_{crit}, debe ser mayor que la fuerza de fluencia a desarrollarse en la barra central P_y, multiplicada por un factor de sobrerresistencia del material λ_o. En esa expresión I_{tubo} es el momento de inercia del tubo, L_{tubo} su longitud y c el coeficiente que considera el tipo de vínculo.

$$P_{crít} = \frac{\pi^2\ E\ I_{tubo}}{(c\ L_{tubo})^2} \geq \lambda_o\ F_y \quad (9)$$

3 ESPECIMENES DE ENSAYO

3.1 *Características generales de los especimenes*

Se han realizado varios ensayos de BPR aislados y dentro de estructuras aporticadas, Ref. [5]. Pero hay aspectos de su diseño que necesitan nuevos estudios. Así, en los cinco ensayos propuestos en este trabajo se buscó evaluar la capacidad de disipación de energía de un modelo particular de BPR con tipologías diferentes de tubo externo y relleno, sometidos a demandas distintas de ductilidad.

3.2 *Materiales empleados y configuración geométrica*

En todos los especimenes se dispuso la misma configuración de barra central. La longitud de éstas (Figura 2) fue de 400 mm, con una zona de fluencia de 175 mm. Las dimensiones de las secciones transversales se indican en la Tabla 1, mientras que los parámetros mecánicos obtenidos de un ensayo de tracción estático sobre una de las barras se presentan en la Tabla 2.

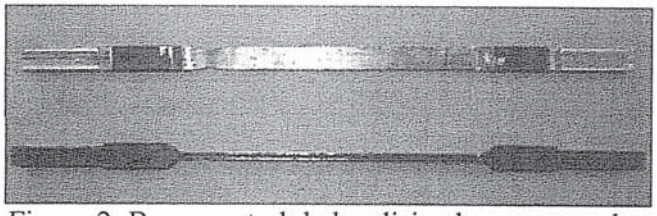


Figura 2: Barra central de los disipadores ensayados

Tabla 1. Dimensiones de la sección transversal de la barra central [mm]

Estructura	Ancho	Espesor
Zona fluencia	16	4.5
Extremos	16	16
Extremo para mordazas	14	16

Tabla 2. Parámetros mecánicos de la barra central

Parámetro		Magnitud
Módulo de elasticidad E [MPa]		210000
Fuerza inicio de fluencia F_y [kN]		23.0
Fuerza máxima $F_{máx}$ [kN]		26.3
Tensión de fluencia f_y [MPa]		320
Tensión máxima $f_{máx}$ [MPa]		480
$f_{máx} / f_y$		1.5
Deformación de fluencia [mm]	Inicial $\Delta_{y\ in}$	0.5
	Final $\Delta_{y\ fin}$	5
Deformación para $f_{máx}$ Δ [mm]		23
$\Delta\ /\ \Delta_{y\ in}$		46
Rigidez elástica K [MN/m]		46

Las barras centrales presentaron defectos de mecanizado (marcas de la herramienta de corte, y espesor variable de la zona de fluencia), los cuales constituyen aspectos de gran influencia negativa en la vida a la fatiga. La brusca zona de transición es otro aspecto negativo de este diseño, por la concentración de tensiones que allí se produce.

También sobre las barras centrales se colocaron láminas de polietileno protegidas con cinta adhesiva, para disminuir el rozamiento metal - mortero de relleno, y para permitir dilataciones transversales durante la compresión de la barra (ver Figura 3).

En la zona de transición, a los efectos de que en compresión la barra central no afectara el mortero de relleno, se dispusieron elementos de poliestireno expandido.

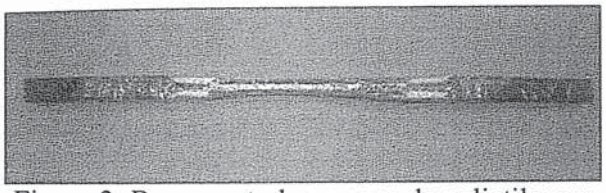


Figura 3: Barra central con capa de polietileno y cinta adhesiva

En dos especimenes se emplearon tubos externos de PVC (denominados disipadores 1 y 2), y en los tres restantes tubos de acero con unión soldada (denominados disipadores 3, 4 y 5). Éstos se rellenaron con grouter cementicio (tres con grouter y agua, tensión de rotura de 60 MPa; y dos con grouter y agua y arena, tensión de rotura de 44 MPa).
Los parámetros de estos tubos están dados en Tabla 4 (el valor del módulo E para los tubos de PVC fue obtenido de catálogos). También se indica en esta última Tabla la carga crítica de pandeo de Euler de los tubos (determinada mediante la ecuación 9), y la relación de esta con la carga de fluencia de la barra central (Pcrit / Py).

Tabla 4. Parámetros de los tubos externos

Parámetro	Disipador	
	1, 2	3, 4 y 5
Material	PVC	Acero
Módulo E [MPa]	700	210000
Longitud L [mm]	255	
Diámetro exterior D_{ext} [mm]	63	
Espesor e [mm]	2	1.2
Pcrit [kN]	19	3547
Pcrit / Py	0.82	154

En la Figura 4 se muestra uno de los disipadores una vez concluido su construcción.

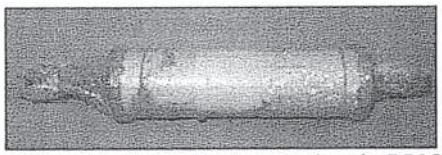
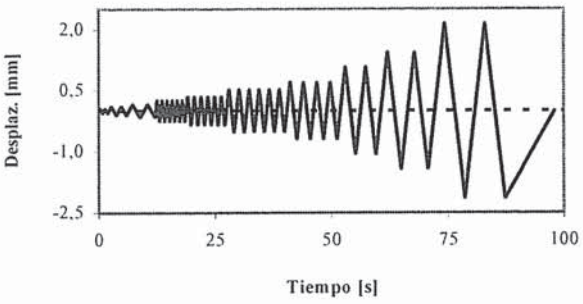


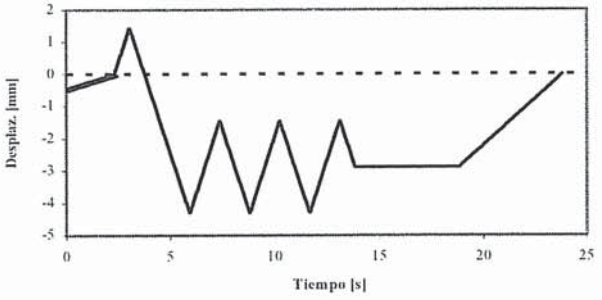
Figura 4: Disipador con tubo de PVC

3.3 *Historia de cargas*

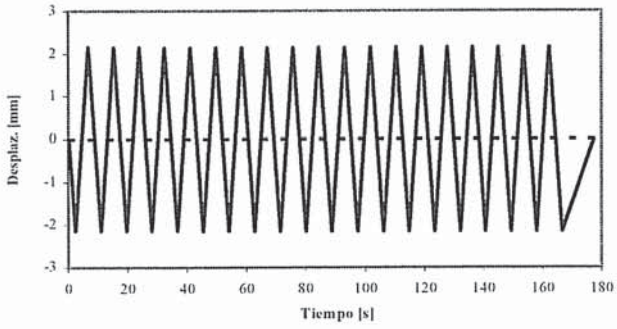
En cada espécimen se aplicaron las secuencias de cargas cíclicas tal como las de Figura 5. Las mismas se materializaron mediante control de desplazamiento en una máquina de ensayo MTS 318.10, con 100 kN de capacidad de carga (ver Figura 6).



a) Secuencia de ciclos crecientes



b) Secuencia sismo de falla cercana



c) Secuencia de ciclos repetidos

Figura 5: Secuencias de cargas cíclicas aplicadas

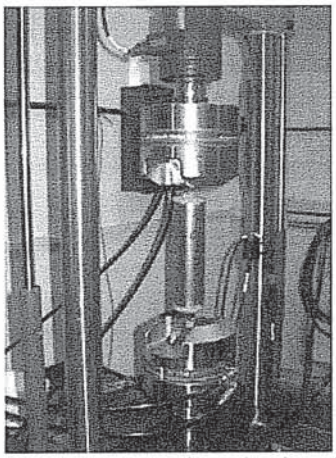


Figura 6: Espécimen en la máquina de ensayo

La definición de estas secuencias se basó en las Ref. [5] y [6]. En la Tabla 5 se muestran los desplazamientos máximos alcanzados, especificados en función de la ductilidad μ de la barra central. Mientras que en la Tabla 6 se expresa la duración de cada secuencia.

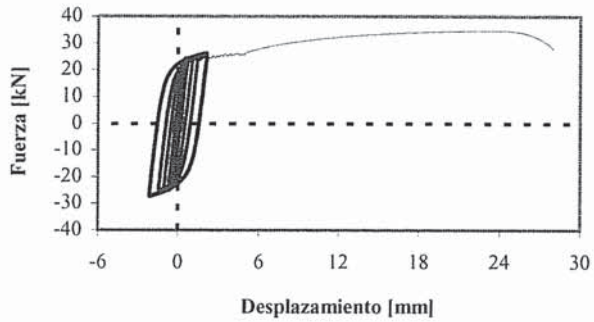
Tabla 5. Ductilidad máxima alcanzada

Espécimen	Secuencia de carga		
	Crec.	Falla cer.	Repet.
1, 2 y 3	4.1	8.3	4.1
4	9.6	14.4	9.6
5	9.6	14.4	5.7

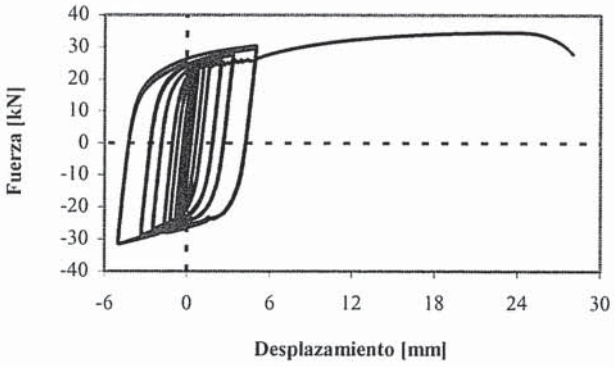
Tabla 6. Duración en [s] de cada secuencia

Espécimen	Secuencia de carga		
	Crec.	Falla cer.	Repet.
1 y 3	98	24	177
2	398	127	842
4	227	50	50
5	227	50	177

En la Figura 7 se compara la respuesta en tracción simple de la barra central, con la respuesta cíclica obtenida en un espécimen.



a) Ciclos crecientes para ductilidad de 4.1



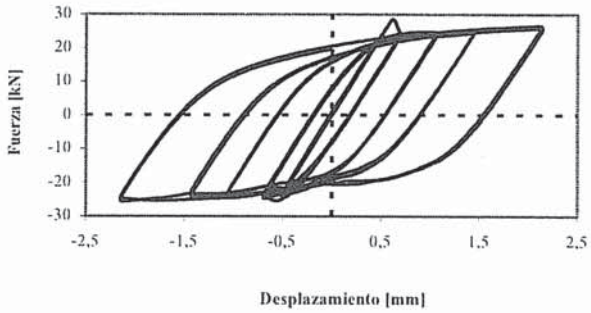
b) Ciclos crecientes para ductilidad de 9.6

Figura 7: Diagramas fuerza – desplazamiento de tracción estática y secuencia de ciclos crecientes

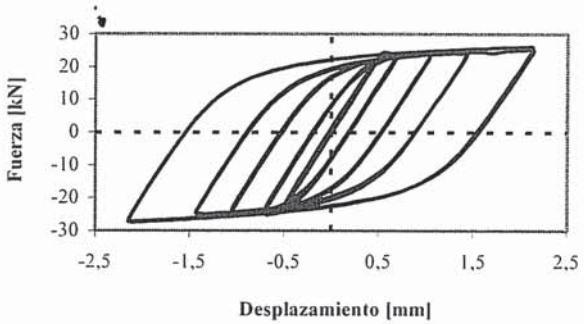
Se observa en la curva b) de la Figura 7 el endu recimiento del acero al ser sometido a cargas cíclicas, respecto de la curva de tracción estática.
Con un transductor MTS 661.21C-03 (capacidad hasta 100 kN) se midieron las fuerzas aplicadas a los especimenes. También se midieron desplazamientos totales con un transductor LVDT Stroke, Modelo MTS D 363269 (con +/- 100 mm de recorrido).

4 RESULTADOS DE ENSAYOS

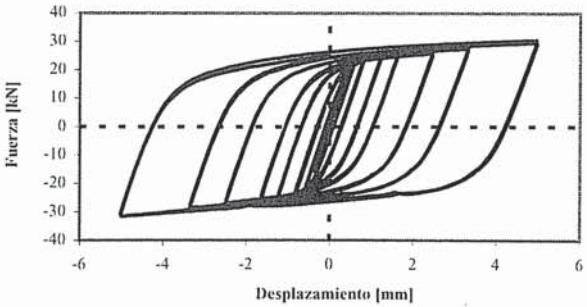
Para evaluar en forma cualitativa la energía disipada por cada espécimen, se analizaron las curvas fuerza – desplazamiento obtenidas en los ensayos, las cuales se muestran en las Figuras 8 a 10. Dado que el espécimen 2 tiene una respuesta aproximadamente igual a la del primero, no se incluyeron en la Figura siguiente aquellas curvas.



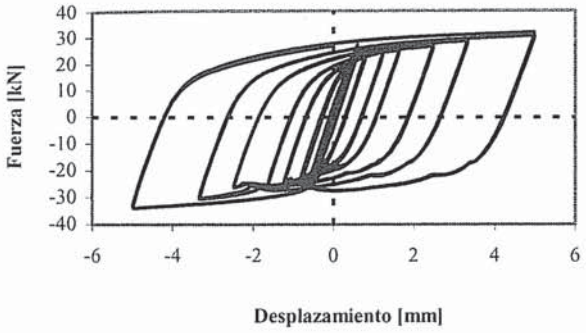
a) Espécimen 1



b) Espécimen 3



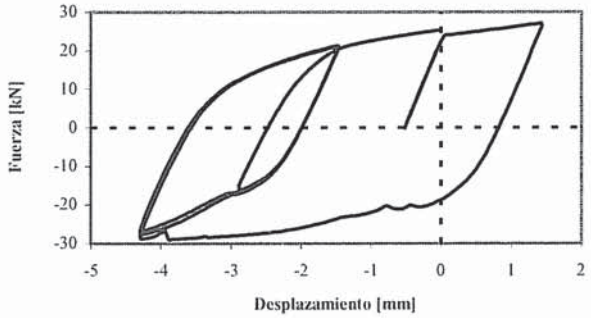
c) Espécimen 4



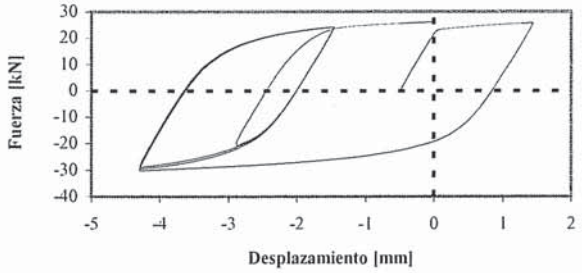
d) Espécimen 5

Figura 8: Diagrama fuerza – deformación para ciclos repetidos

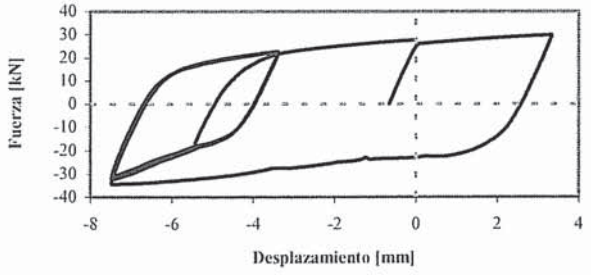
En los especimenes 1 y 5 se observa pérdida de la resistencia en algunos puntos de la barra en compresión. No así en los especimenes 3 y 5.



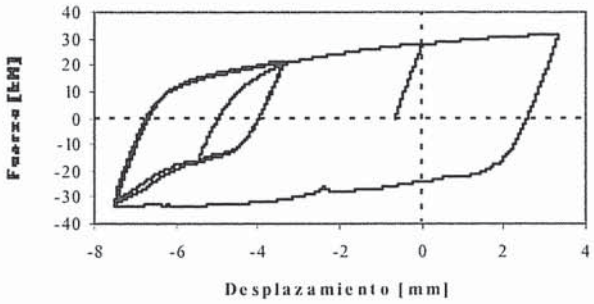
a) Espécimen 1



b) Espécimen 3



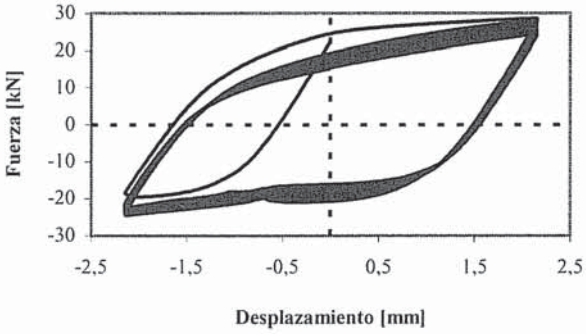
c) Espécimen 4



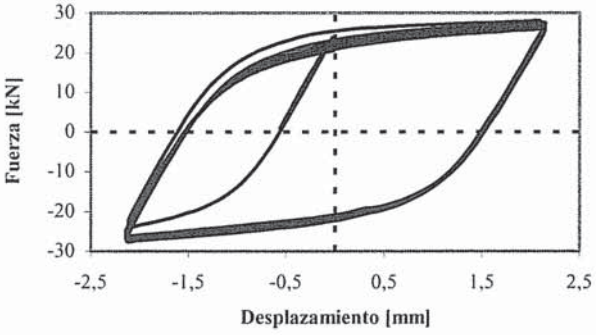
d) Espécimen 5

Figura 9: Diagrama fuerza – deformación para ciclos de falla cercana

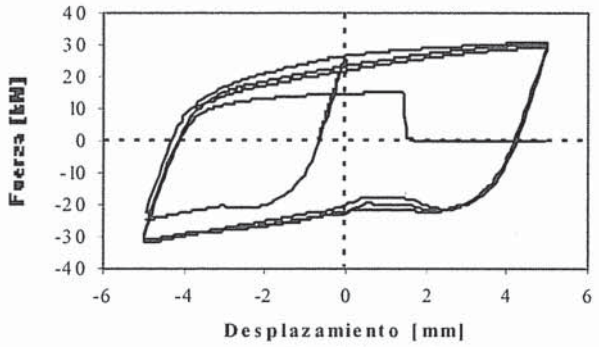
También se observa para la secuencia de carga de falla cercana una pérdida de resistencia en algunos puntos de los especimenes 1, 4 y 5; situación que no se da en el dispositivo 3. Además, en los ciclos repetidos de los especimenes 4 y 5 se advierte un notable aumento de la rigidez post fluencia en la zona de compresión, debido seguramente a la interacción de la barra central con el tubo externo.



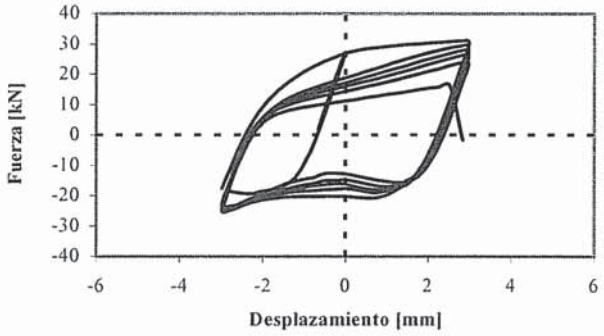
a) Espécimen 1



b) Espécimen 3



c) Espécimen 4

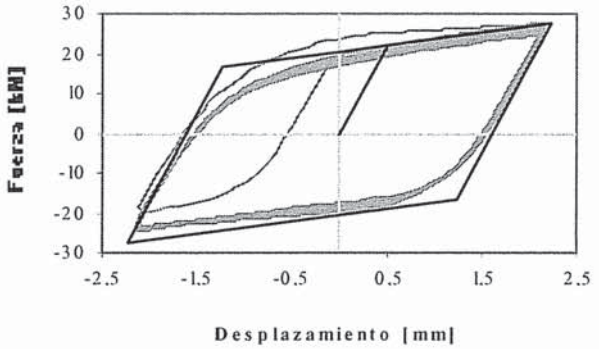


d) Espécimen 5

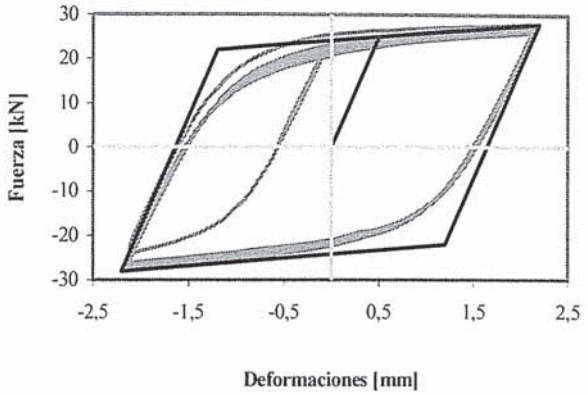
Figura 10: Diagrama fuerza – deformación para ciclos repetidos

Para los ciclos repetidos la rigidez post fluencia en el espécimen 1 y 2 es mucho mayor que en el 3. Además, en el primer caso disminuye apreciablemente el área del ciclo histerético con cada nuevo ciclo de carga. También para estas secuencias de carga se advierte una influencia importante del tubo externo en la respuesta, y los efectos de fatiga acoplada con plasticidad.

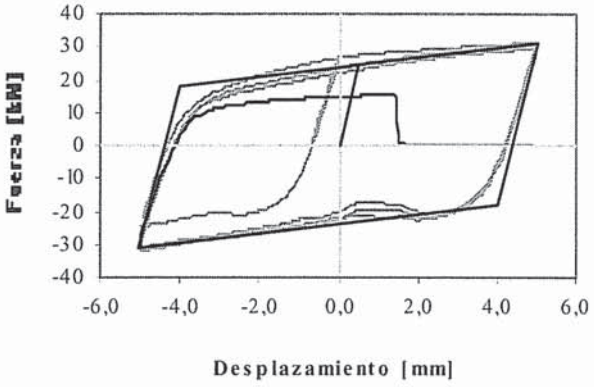
Se compararon además los diagramas fuerza – desplazamiento con modelos elasto-plásticos bilineales envolventes de los primeros, como se aprecia en la Figura 11.



a) Espécimen 1



b) Espécimen 3



c) Espécimen 5

Figura 11: Diagrama fuerza – deformación experimental y modelo bilineal

Un diagrama bilineal puede aproximar el comportamiento fuerza – desplazamiento de los especimenes ensayados. Pero la fuerza para el inicio de la fluencia P_y y la rigidez post fluencia α varían en cada espécimen, tal como se muestra en la Tabla 7 (α se determinó como la relación porcentual entre la rigidez post fluencia y la rigidez elástica). Se tienen entonces parámetros dependientes de la demanda y de las características del tubo externo.

Tabla 7. Parámetros del modelo bilineal envolvente de diagrama fuerza – desplazamiento

Espécimen	F_y	α
1	22	8.6
2	22	7.3
3	25	3.5
4	25	2.9
5	21	9.3

Para evaluar la vida en fatiga de los especimenes se determinó, el número de ciclos soportado por cada dispositivo.

Los dispositivos 1, 2 y 3 soportaron sin colapso las tres secuencias de carga impuestas (con 24 ciclos en la zona elástica y 32 en la inelástica). En cambio, los especimenes 5 y 6 perdieron su capacidad resistente en los primeros ciclos de la secuencia repetida (luego de manifestar comportamiento estable en las secuencias crecientes y de falla cercana). Así, el disipador 5 soportó solo tres ciclos con esta secuencia, mientras que el disipador 6 soportó cinco ciclos.

5 CONCLUSIONES

Con un diseño y ejecución adecuada de la barra central, capa de deslizamiento y tubo de relleno, puede lograrse un comportamiento eficiente de las BPR para disipar energía en forma estable. Por ello, estos dispositivos podrían implementarse dentro de la filosofía del diseño por capacidad tanto para proyectar estructuras nuevas como para rehabilitar construcciones existentes.

El comportamiento de las BPR es complejo dado que se trata de elementos estructural conformado por un material compuesto sometido a plasticidad en grandes deformaciones con fenómenos de fatiga acoplada. Pueden desarrollarse diseños simplificados de estos dispositivos, pero la consideración del pandeo local de la barra central y su vida en fatiga requiere de modelos más precisos, que contemplen todos los fenómenos que en ellos se desarrollan. Un modelo bilineal con parámetros prefijados de tensión de fluencia y rigidez post fluencia no puede representar con precisión la respuesta de estos dispositivos frente a distintas demandas de ductilidad.

El diseño propuesto para los especimenes ensayados alcanzó un comportamiento histerético estable, repetible y dúctil especialmente en el caso del espécimen 3. También tienen una respuesta de este tipo los dispositivos 4 y 5 hasta la secuencia de falla cercana que provocó una demanda de ductilidad de 14.4. Los gráficos fuerza – desplazamiento muestran variaciones importantes según sean los parámetros geométricos y mecánicos del tubo y relleno externo de la barra central. Al variar la frecuencia de aplicación de la carga cíclica no se observaron variaciones significativas en la respuesta de la BPR.

También son necesarios nuevos estudios para contar con un modelo más preciso para evaluar esta influencia.

Se estima conveniente continuar con investigaciones tendientes a: definir una metodología de diseño sismorresistente de edificios que incorporan disipadores de energía; determinar el suministro que deben aportar las BPR para proteger la estructura principal frente a terremotos destructivos; y desarrollar modelos más precisos para evaluar todos los fenómenos implicados en la respuesta estructural de las BPR.

6 REFERENCIAS

[1] R. Park & T. Paulay, Reinforced Concrete Structures, John Wiley & Sons Inc., 1975.

[2] T. Soong & G. Dargush, Passive Energy Dissipation Systems in Structural Engineering, John Wiley, 1997.

[3] A. Watanabe, Y., Hitomi, E., Saeki, A. Wada & M. Fujimoto, Properties of Brace Encased in Buckling - Restraining Concrete and Steel Tube, Proceedings of Ninth World Conference on Earthquake Engineering, Paper No. 6-7-4, Vol. IV, pp. 719- 724, 1998.

[4] S. Oller, Simulación Numérica Del Comportamiento Mecánico de los Materiales Compuestos, CIMNE, 2003.

[5] C. Black, N. Makris, & L. Aiken, Component Testing, Stability Analysis Characterization of Buckling-Restrained Unbonded Braces, Pacific Earthquake Engineering Research Center, Report PEER 2002/08, 2002.

[6] Recommended Provisions for Bucling-Restrained Frames, AISC/SEAOC, 2001.

7 AGRADECIMIENTOS

El Ing. Gustavo Palazzo agradece el financiamiento del Ceredetec y de la Universidad Tecnológica Nacional para realizar este trabajo. Los autores, además, agradecen la colaboración en los ensayos del Dr. Alejandro YAWNY y del Ing. Hugo Soul del Centro Atómico Bariloche, y del personal técnico del Laboratorio de Materiales de la FRM: Ing. Jorge Norrito y MMO Ariel Rosales.

Accidentes mortales en líneas de alta tensión

D. Pujadas

dpujadas@frm.utn.edu.ar
Laboratorio LEEM, Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional

RESUMEN: los accidentes de electrización o electrocución de personas por contacto directo o indirecto con una línea de alta tensión son hechos que ocurren en las zonas próximas a los extensos recorridos de las mismas. El objetivo general de esta presentación es mostrar un informe sobre un accidente de este tipo y como objetivo particular, los criterios seleccionados para obtener datos pertinentes que diriman el análisis del tema en cuestión. La metodología utilizada involucra mediciones in situ de distintos parámetros inherentes a la línea de transmisión de energía eléctrica, su localización geográfica y la investigación de los hechos ocurridos el día del accidente. El impacto que se espera lograr es el consenso con la comunidad del grado de importancia que tiene la educación de las personas sobre riesgo eléctrico en general y en particular en este tipo de instalaciones de alta tensión.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 *Trabajos dependientes de la empresa de distribución eléctrica que se realizan en las líneas de alta tensión.*

Se considera para esta presentación una línea de alta tensión de 132 (KV) que se encuentra en funcionamiento y la tarea que demanda es de control, mantenimiento, protección y reparaciones, si el caso lo amerita. La empresa de transporte de energía a la que pertenece, posee incorporado en su sistema de calidad rutinas de control e inspección visual, que se registran con códigos internos y que en estos casos se denominan Recorridas Lentas y/o Rápidas de todos los tramos de la línea. Esto permite detectar las zonas donde es necesario realizar las tareas antes mencionadas. Para ello se elaboran planillas que los operarios llenarán con detalles de los trabajos realizados, asimismo se colocan las novedades ocurridas desde la última inspección. El registro de eventos tiene una connotación particular en cuanto a que puede prevenir en un grado medianamente satisfactorio el riesgo eléctrico de las personas que habitan en las proximidades de la línea. Considérese que la longitud de una línea de alta tensión está en el orden de los cientos de kilómetros y que su paso por distintos lugares, como es el caso real de viñedos, plantaciones de vegetales, desiertos andinos, zonas rurales, urbanizadas o semi urbanas, debe cumplir permanentemente, no sólo con los requerimientos técnicos, sino los de seguridad pública determinados por el Ente Nacional Regulador de la Electricidad (ENRE). No obstante, aún cuando se cumpla con la reglamentación vigente, no es posible evitar los accidentes de electrización o electrocución de personas por contacto directo o indirecto con una línea de alta tensión. Esto ha sido constatado in situ por el laboratorio de seguridad eléctrica LEEM que en diversas oportunidades ha realizado peritajes con el objeto de dar opinión sobre las posibles causas que convergieron para la ocurrencia de accidentes.

Para plantear el caso un caso particular, que es motivo de esta presentación, no se denominarán los datos específicos de la línea, en cuanto al tramo

donde ha ocurrido el accidente, la empresa a la que pertenece y demás detalles geográficos, en forma tal de mantener la confidencialidad de la información, normativa a la que está sujeto el LEEM, no sólo por el sistema de calidad bajo el cual está certificado, sino para guardar respeto por los protagonistas de los eventos acaecidos.

1.2 *Ejemplo de trabajos no dependientes de la empresa eléctrica que se realizan en las proximidades de las líneas de alta tensión.*

Ejemplo 1. La línea cruza una finca que es un terreno privado, donde se encuentran viñedos. En el trabajo diario que se realiza entre las hileras se utiliza herramientas metálicas a veces de longitudes que propician el accidente eléctrico. Asimismo las puestas a tierra de las torres que sostienen los vanos de la línea, suelen ser del tipo contrapeso, es decir, un conductor de aproximadamente treinta metros de longitud, enterrado a una profundidad de alrededor de setenta centímetros. Este electrodo de tierra es removido sin intención por el trabajo con pala del terreno y queda al descubierto. Si bien no es un cable energizado, está eventualmente sujeto a drenar corriente de falla a tierra que podrían circular por una persona que tenga un contacto directo con él.

Ejemplo 2. La línea cruza un asentamiento de residuos municipales. Es sabido que existen grupos de personas que seleccionan los residuos con fines particulares. Se ha dado el caso de que niños juegan con determinados elementos seleccionados de los residuos que les permite construir un tipo de boleadoras que lanzan sobre las líneas. Estos elementos pueden ser zapatillas u objetos metálicos amarrados con alambre. Es obvio que el riesgo eléctrico se maximiza, al punto tal de haber producido electrocución de la persona, es decir, muerte instantánea o días después del accidente.

Ejemplo 3. La línea cruza un desierto andino próxima a casas rurales que tienen como modo de vida la crianza para la venta de ganado caprino. Los responsables de cuidar el rebaño suelen escalar las torres de alta tensión para localizarlo. Logran trepar a pesar de las protecciones colocadas a tal fin, que son horquillas de metal con varios brazos terminados en formas puntiagudas con la finalidad de provocar el temor del posible corte con ellas.

Ejemplo 4. Debajo de la línea o dentro del la franja de servidumbre se construyen lugares que pueden estar eventualmente ocupados por personas. Ref. [1] En la mayoría de los casos se hace por desconocimiento de los riesgos que se corren. Como ejemplo se puede citar casas habitaciones, galpones de almacenamiento, corrales para guardar animales. En alguna de estas oportunidades, durante la construcción, se manipulan herramientas como andamios, cuya altura es suficiente como para alcanzar la zona de influencia del campo eléctrico de la línea. Y es este el caso que se pretende mostrar aquí, al sólo efecto de hacer conocer la trascendencia de eventos de este tipo que culminan en el fallecimiento de personas. Dichas personas no trabajan para la empresa transportista, ya que de ser así, serían personal idóneo capacitado para manejar situaciones como las que se describirán en los siguientes párrafos.

2 METODOLOGÍA DE TRABAJO

2.1 *Tipos de Tareas*

Para comenzar el análisis del accidente es necesario contar con la documentación que provee el organismo nacional que es quien solicita el trabajo en cuestión. Este caso se trata de un accidente mortal de cuatro personas que estaban debajo de una línea de 132 (KV) manipulando un andamio. Desde punto se parte para decidir que actividades se deben llevar a cabo para dar cumplimiento a lo requerido. En función de esto se realizaron dos tipos de tareas:

I- Inspección y medición in situ:

A) Medición de resistencia de puesta a tierra de las torres del vano en cuestión Ref. [2].

B) Inspección del sistema de puesta a tierra de las torres Ref.[2].

C) Traza del perfil longitudinal del cable y Traza del perfil longitudinal del terreno en el vano.

D) Medición de la franja de servidumbre del electroducto Ref.[1].

Se considera oportuno dar dos definiciones a los efectos de facilitar la lectura de esta presentación:
- Vano es la distancia entre dos torres que sostienen una línea aérea de tensión, independientemente del nivel de tensión de que se trate Ref. [3].

-Electroducto se designa a todo sistema de instalaciones, aparatos o mecanismos, destinados a transmitir, transportar y transformar energía eléctrica. Ref. [1]En el caso de una línea es un volumen que involucra el entorno desde la altura máxima hasta el suelo. La servidumbre administrativa de electroducto afecta el terreno y comprende las restricciones y limitaciones al dominio que sean necesarias para construir, conservar, mantener, reparar, vigilar y disponer todo sistema de instalaciones, cables, cámaras, torres, columnas, aparatos y demás mecanismos destinados a trasmitir, transportar, transformar o distribuir energía eléctrica Ref. [1].

II- Verificación de documentos: se lee la documentación presentada para el análisis, se correlaciona entre sí con el objetivo de determinar la concordancia de los datos devenidos de distintas entidades (ENRE, empresa transportista). En segundo lugar se comparan con la información obtenida por mediciones in situ y la indagación con personas que presenciaron o bien conocen detalles del accidente.

2.2 *Equipamiento utilizado*

En la Tabla 1 se presentan la denominación de los instrumentos y accesorios utilizados para realizar las distintas tareas antes mencionadas.

Tabla 1. Instrumentos

EIME	Marca-Modelo
Telurímetro	ZPA PU – 431
Cámara fotográfica	BENQ
Navegador	Garmin Etrex
Estación Total	Leica 307 TCR
Termómetro Digital	TES

Se utilizo el equipo reglamentario de seguridad botines y guantes dieléctricos, casco y antiparras.

4 RESULTADOS

4.1. Inspección y medición in situ

4.1.1. Medición de la puesta a tierra (p.a.t) y resistividad del terreno. Ref. [2]

En la tabla 2 se muestran los valores obtenidos por medición de la resistencia de p.a.t. de torre N° ABC que se encuenctra dentro de la finca privada. Se realiza la medición con la puesta a tierra desconectada de la torre N° ABC.

Tabla 2. Resistencia de p.a.t. desconectada

N°	Resistencia (Ω)	Dirección	Método
1	21	Norte -Sur	Tetrafilar
2	41		Trifilar
3	40		Trifilar
4	23.5	Este-Oeste	Tetrafilar
5	24		Tetrafilar
6	42		Trifilar
7	42		

Se obtiene un valor promedio de Rd = 33,6 (Ω)

En la tabla 3 se muestran los valores obtenidos por medición de la resistencia de p.a.t. de torre N° ABC que se encuentra dentro de la finca privada. Se realiza la medición con la puesta a tierra conectada a la torre.

Tabla 3. Resistencia de p.a.t. conectada

N°	Resistencia (Ω)	Dirección	Método
1	33,0	Este-Oeste	Tetrafilar
2	28,0		Trifilar
3	5,4		Trifilar

Se obtiene un valor promedio Rd = 22,13 (Ω). En la tabla 4 se muestran los valores de resistividad del terreno tomados en la zona circundante de la torre N° ABC.

Tabla 4. Resistividad del terreno.

N°	ρ (Ω.m)	Dirección	Método
1	201.03	Este-Oeste	Wenner
2	199.99		
3	199,05		

Se obtiene un valor promedio de

$$\rho_{prom.} = 199.08 \quad (\Omega.m)$$

4.1.2. Inspección del sistema de puesta a tierra:

Se inspeccionó la puesta a tierra de la torre N° ABC y se verifico que está debidamente colocada en la columna metálica, empotrada ésta última directamente en el terreno, como se puede observar en la fotografía 1. Se siguió la dirección de la puesta a tierra tipo contrapeso y se verificó la sección de conductor.

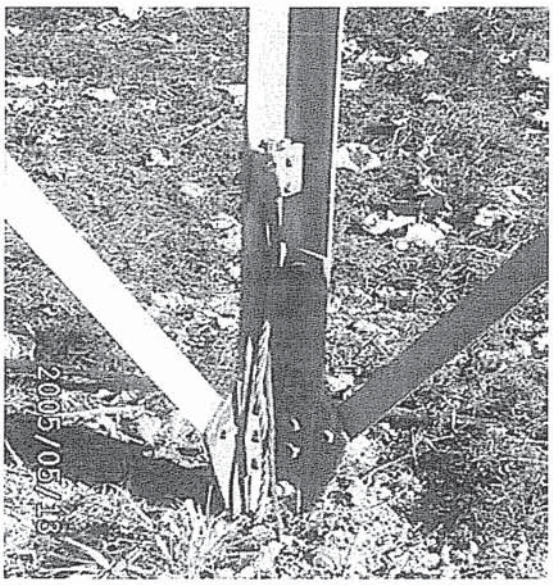


Figura 1. Puesta a tierra de la torre N° ABC

4.1.3. Traza del perfil longitudinal del cable y del terreno. Conviene, por comodidad, mostrar el grafico en las páginas finales del artículo, con el nombre Fig. 4 y Fig. 5.

En el texto siguiente, que es parte del informe presentado por el LEEM, se explica la metodología utilizada para determinar las trazas mencionadas en el título y que estuvieron a cargo de personal asociado al laboratorio. Georreferenciación: para ubicar las torres o columnas se utilizo un Navegador Garmin Etrex y las coordenadas se expresan en Sistema Posgar, Elipsoide WGS'84, Proyección Gauss Krugger, Faja 2. La cota que se informa es la Altura Elipsoidal, sobre el elipsoide de referencia (WGS'84). Por las características del estudio solicitado y con el objetivo de trabajar con cifras no extensas, se utilizaran sistemas locales de coordenadas para cada uno de los casos, ya que lo que interesa son las diferencias relativas de cota y no su relación con la altura elipsoidal o alturas sobre el nivel del mar (absolutas sobre uno u otro elipsoide). En consecuencia se determina las diferencias de cotas entre el nivel de piso y los cables de alta tensión, las cotas de los cables en el sector de sujeción a las columnas o torres que lo sostienen. Para encontrar las diferencias de alturas, se utilizo el método trigonométrico de resolución de triángulos, contando con la distancia horizontal y el ángulo vertical, se resuelve la altura. La estación total Leica utilizada posee un programa especial de resolución de alturas. Para encontrar el punto mas bajo del cable, se utilizo el método de "tanteo", ya que aun alejándose lo suficiente, a simple vista no se puede determinar con exactitud.. Asimismo se debe tener en cuenta que el punto de cota mas bajo del cable, a veces no es el que determina la menor distancia cable-suelo. En el caso planteado, la pendiente del suelo (cultivado con espalderos) es mayor que la del cable, implica que la menor distancia cable-suelo, no coincide con la menor cota del cable, que es la flecha.

En la tabla 5 se muestran los valores obtenidos de las distintas cotas del cable de alta tensión.

Tabla 5. Cotas del cable.

Torre Sur Altura Elipsoidal	X = 6.347.064 Y = 2.520.954 Z = 817 (m).
Torre Norte Altura Elipsoidal	X = 6.347.277 Z=813.50(m). Y = 2.521.156

La menor diferencia cable-tierra se encuentra en la progresiva de 157,63 (m), partiendo de la torre sur (progresiva 0,00), con una diferencia de cotas tierra-cable de 7,577 (m). La menor cota del cable se encuentra en la progresiva 165,40 (m) con una altura h= 16.807(m), en este punto el valor de la flecha es de 9,00 (m).

4.1.4 Medición de la franja de servidumbre del electroducto.

En el primer día de trabajo se realizo la primera estación en el callejón sur de la finca, desde donde se podían relevar las características de la torre

metálica con N° ABC. Desde este punto se relevaron las características de esta torre y sus cables, que se encuentra en el terreno colindante sur. Asimismo se relevaron los vértices y alturas de la construcción situada al este de la línea. Se realizo la segunda estación en la zona cercana al vértice nor-oeste del mencionado galpón, desde donde se podían relevar las características de la torre norte con sus cables. Ésta que se encuentra dentro de los espalderos en producción de la finca. Se debieron realizar dos estaciones por los problemas de visibilidad que causaban los árboles y los viñedos existentes. La segunda estación se ubicó convenientemente para relevar las zonas bajas del cable, pero debido al viento existente que balanceaba el cable en forma apreciable, se considero inoportuno realizar esta tarea ese día, ya que se perdería por factores externos, la exactitud buscada. El segundo día de trabajo se comenzó contando con estaciones fijas en la zona, las que se habían materializado con clavos de acero sobre el contrapiso, se pudo reiniciar la tarea interrumpida en el primer día. Desde la estación N°2 se relevo, según ya se ha explicado, con el método de tanteo, los sectores más bajos del cable y se continuo esta tarea hacia el sur, habiendo advertido que los niveles del piso de la finca eran de mayor pendiente, que la del cable, lo que ocasiona que la menor distancia cable-tierra, no coincida con el sitio de menor cota del cable. Se mide una distancia de máxima seguridad a 18,15 (m) a ambos lados del eje de la línea y de 5 (m) más a cada lado, para la de media seguridad. La sumatoria de ambas distancias es 23,15 (m) a cada lado del eje. Ver fig. 4. Se observa que la esquina Nor-oeste del la construcción, invade en 7,02 (m 2) la zona media de seguridad. En la fig. 1 se puede observar las medidas lineales del triangulo de la construcción metálica (5,70; 2,84; 4,95). La altura de la construcción en su vértice es de h = 18.97 (m), y la del cable en el sector frentista a la arista de dicha construcción es de h = 16.807(m). Conviene, por comodidad, mostrar el grafico en las páginas finales del artículo, con el nombre Fig. 6.

4.2. Verificación de documentos

-La empresa transportista presenta copia de la Actuación Notarial del Acta de Constitución de Servidumbre Administrativa del Electroducto donde menciona en distintos párrafos, la línea de alta tensión de 132 (KV) y su la zona media de seguridad de una franja de 5(m) de ancho, contados a partir de 9,97 (m) del eje de la línea. La zona de máxima seguridad queda comprendida por una franja de 19,94 (m) de ancho, dividas por el eje de la línea, donde está incluida la servidumbre de paso (art.16 y 19). En el párrafos siguientes se expresa las restricciones de acuerdo a la ET (Especificación Técnica) por Resolución GG 477/78 de Agua y Energía Eléctrica S.E, en la primera zona (máxima seguridad) no se podrá realizar ningún tipo de construcción e instalaciones de molinos, antena, mástiles, ni plantaciones superiores a 4,82 (m), teniendo en cuenta que la base de las estructuras (torres) corresponde al nivel cero. En la segunda zona (media seguridad) se permitirán construcciones de una planta sin balcones ni terrazas accesibles.

-Plano de Mensura NOM. CAT codificado del propietario.

-Lámina Catastral N° codificado., con rótulo de la empresa transportista y fecha. Esc. 1:10.000

-Copia de ET N° T-80 "Reglamentación sobre Servidumbre de Electroducto" de Ay E.E. S.E y su modificación del 13/11/79.

- Fotocopia de cada Registro de Recorridas Lentas y/o Rápidas, codificado en el Sistema de Calidad de la empresa transportista, para Inspecciones de Líneas, con fechas de varios meses, próximas a las del accidente.

-Fotografía de vano en cuestión que muestra la reparación del conductor, de la fase este luego de ocurrido el accidente.

-Planilla con detalles de mantenimiento de los tramos en cuestión con fechas de varios meses que están próximas a las del accidente.

-Original Actuación Notarial codificada y Acta de Contratación fechada.

-Copia de la Ley N° 19.552 Régimen de Servidumbre Administrativa (nota modificada por Ley 24.065, artículo 9° de ENRE).

-Lámina Sistema Interconectado Cuyo LAT 132 (KV), donde se muestra el esquema de una torre para LAT de 132 (KV) con distancias y alturas acotadas, sin escala con rótulo de la empresa transportista.

-Folleto informativo que se refiere a Peligros Bajo la Línea de Alta Tensión.

-Resolución ENRE N° 0057/2003 denominada Guía de Contenidos Mínimos del Sistema de Seguridad Pública de las Empresas Transportistas y sus

Anexos I Y II que forman parte de la resolución. En el Art. 1° se mencionan las distintas empresas de transporte donde figura la empresa transportista que usufructúa la línea de alta tensión de que se trata esta presentación.. En el art. 3° se menciona la obligación por parte de las empresas transportistas de presentar Manual de Seguridad Pública y Planes del Sistema de Seguridad Pública certificados bajo norma IRAM O ISO.

5 CONCLUSIONES

5.1. Medición de resistencia de puesta a tierra.

De acuerdo a la Reglamentación sobre Líneas Aéreas Exteriores de la A. E A. 1973, apartado 2.1.14, Puesta a Tierra de los Sostenes, no especifica valor de la resistencia de dispersión de puesta a tierra, no obstante define que la sección del cable de tierra debe ser superior a 16 (mm2) si es de cobre y de 50 (mm2) si es de otro material, con lo cual cumple con los requerimientos de sección.

De acuerdo a la normas de referencia Ref. [7] [8] [9] para una longitud de contrapeso aproximadamente de 30(m) según resulta de la inspección in situ y considerando que la resistividad del suelo según resultado de medición está en el orden de los 200 (Ω. m) corresponde una resistencia de 30 (Ω). Con lo expresado, el valor de resistencia de dispersión de puesta a tierra cumple con la normativa de referencia.

5.2 Inspección del sistema de puesta a tierra.

De acuerdo a la Reglamentación sobre Líneas Aéreas Exteriores AEA, 1973, apartado 2.1.14, Puesta a Tierra de los Sostenes, para líneas de segunda y tercera clase con hilo de guardia, el vano en cuestión se halla dentro de viñedo, la p.a.t. de la torre N° ABC metálica cumple con lo especificado en la normativa de referencia.

5.3. Traza del perfil longitudinal del cable y Traza del perfil longitudinal del terreno.

5.3.1. La diferencia de cotas tierra-cable es de 7,577 (m) según la medición in situ.

5.3. 2. La menor cota del cable se encuentra en la progresiva 165,40 (m) con h= 16,807(m) y en este punto el valor de la flecha es de 9,00 (m).

5.3.3. El andamio al que se hace referencia en el expediente ENRE codificado, del cual se muestran las fotografías, posee una altura de 7,70 (m).

5.3.4 Suponiendo que:

-El dato de la altura del andamio fuese exacto.

-En el día del accidente la línea de alta tensión tuviese la misma flecha que se midió en el momento de este peritaje.

-El andamio estaba colocado del vano a una distancia contada a partir de la torre sur, entre 158 (m) a 165,40 (m), es decir que la altura tierra -cable está en el orden de 7.577(m) y la flecha es de aproximadamente 9(m).

Cabe concluir que:

a. El andamio penetró en la zona de influencia del campo eléctrico de la línea provocando la ruptura de la capacidad dieléctrica del aire, 21 (KV/cm), provocando en consecuencia el salto del arco eléctrico entre la línea y el andamio.

b. Si se presupone que el andamio está sobre ruedas con cubiertas de goma, es decir aislado de tierra, empujado por los cuatro operarios, presumiblemente sin protección adecuada para el trabajos en zonas de riesgo eléctrico, la descarga eléctrica encontró varios caminos o circuitos eléctricos para drenar la corriente de falla a tierra (andamio y cuerpos humanos).

c. La tensión aplicada a este circuito con impedancias (cuerpos) y resistencia (andamio) en paralelo, fue de 132(KV)/1.73= 76,2 (KV).

d. Si se considera que la resistencia del cuerpo humano en condiciones de normales tiene un valor mínimo aproximadamente de 1000 (Ω), la corriente que circuló por cada cuerpo fue del orden de los 40(A).

e. Las normas vigentes nacionales e internacionales indican que para un valor superior a 500 (mA) circulando por el cuerpo humano un tiempo mayor de 10 (ms) el riesgo de muerte por electrocución es altamente probable y los efectos son espontáneamente irreversibles.

f. Cabe suponer que en este caso analizado se produjo la muerte de las personas asidas al andamio, por quemaduras electrotérmicas generadas por el arco eléctrico establecido entre el andamio y la fase de la línea, que dieron lugar a lesiones vasculares por fragilidad capilar y trombosis extensas debidas a perturbaciones electrolíticas. Ref. [10]

g. Asimismo es conveniente aclarar que los operarios no estaban realizando tareas inherentes a la línea de alta tensión, sino otras diferentes y no relacionadas a la electricidad ya que no son personal de la empresa transportista. Por lo cual no corresponde exigir el cumplimiento de dichas tareas a lo establecido en el Reglamento de la Asociación Electrotécnica Argentina para la Ejecución de Trabajos con Tensión en Instalaciones Eléctricas. Ref. [4]

5. 4 Medición de la franja de servidumbre del electroducto.

De acuerdo a los resultados obtenidos por medición in situ y comparado a los datos obtenidos por lecturas de la documentación, el ancho total de la franja de servidumbre de la línea de alta tensión 132 (kV) cumple con los requerimientos establecidos por la norma.

5. 5 Frecuencia de mantenimiento

En cuanto a la del tramo en cuestión:

Se deduce, como resultado del análisis de la documentación presentada por la empresa transportista, considerándola fidedigna, que cumple con los requerimientos de la Res. N° 0057/03 Se deduce de acuerdo al apartado 5.2.1 que no cumple con lo especificado en él ya que no se registran mediciones de puesta a tierra realizadas en ningún periodo.

5.6. Plan de Comunicación Interna y Externa

En cuanto a la del tramo en cuestión, se deduce, como resultado del análisis de la documentación presentada por la empresa transportista considerándola fidedigna y de la inspección in situ, según se obtuvo registro Fig 2 y 3, que cumple con los requerimientos de la Res. N° 0057/03.



Figura 2. Tramo señalizado.

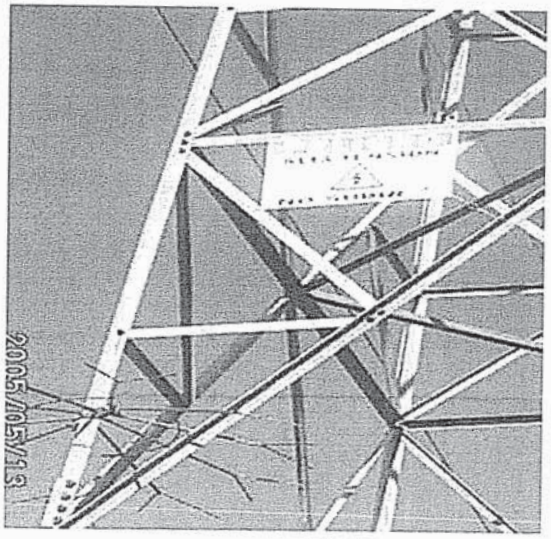


Figura 3. Torre señalizada y protegida.

6. Observaciones generales

Condiciones durante la inspección y medición:

La línea de referencia cruza propiedad privada donde existen plantaciones de viñedos. El suelo se encuentra húmedo ya que es un viñedo activo que utiliza el denominado riego por goteo.

Se observa, en inspección in situ la reparación de la línea en el tramo donde se produjo de falla por accidente.

Se observa indicaciones de peligro, mediante carteles, en las proximidades del vano, en la torre N° ABC y torres cercanas.

Durante la inspección en el lugar en el momento de este peritaje no se encontró el andamio al que se hace referencia en el expediente de ENRE.

8. Sugerencias

Luego del análisis del trabajo realizado por el LEEM que involucra los datos obtenidos del expediente de ENRE donde se detalla el accidente que trae como consecuencia el fallecimiento de cuatro personas, según consta en el acta correspondiente y de los resultados obtenidos por mediciones y otras actividades in situ se sugiere a las partes intervinientes:

-Mantener, por parte de la empresa transportista, los avisos de peligro (carteles de prevención de riesgo, impedimento de escalamiento de las torres) en los

vanos de la línea que se encuentran dentro de la finca privada. Asimismo sería conveniente entregar al responsable de la seguridad del trabajo la folletería educativa que la empresa transportista posee para su difusión, donde se detallan los riesgos eléctricos a que se someten las personas que trabajan en la zona de la línea de alta tensión.

-Contratar, por parte de los propietarios de la finca, personal con entrenamiento básico para trabajos sobre riesgos eléctricos y especialmente próximos a líneas de alta tensión, sin importar índole de dicho trabajo.

- Si la envergadura de la finca lo amerita, en estos casos de trabajos no eléctricos realizados en las proximidades de líneas de alta tensión por personal no capacitado básicamente sobre riesgos eléctricos, es imprescindible el control y supervisión de profesionales especialistas en higiene y seguridad en el trabajo.

- Siempre es oportuno hacer conocer a las personas, independientemente de la tarea que realizan, la importancia que posee la electricidad en cuanto a los riesgos que se corren por depender de ella. Si se tiene en cuenta que en casi todos los órdenes de la vida cotidiana y que indudablemente incluye la laboral, la electricidad tiene un aporte fundamental es coherente para el LEEM sugerir que la abundancia de información sobre estos temas, podrá evitar accidentes de electrización y/o electrocución de las personas.

7. Referencias

[1]Régimen de Servidumbre Administrativa de Electroducto Ley Nº 19.552. 1972

[2] Norma IRAM 2281-IV/86 e IRAM 2281-1/02 e

IT LEEM 09-01/03.

[3] Reglamentación AEA sobre líneas aéreas exteriores 1973.

[4] Reglamento de la Asociación Electrotécnica Argentina para la Ejecución de Trabajos con Tensión en Instalaciones Eléctricas. 1997.

[5] Resolución ENRE Nº 057/03 Guía de Contenidos Mínimos del Sistema de Seguridad Pública de las Empresas Transportistas con ANEXOS I y II.

[6] Esquema Unifilar del Sistema interconectado Cuyo según Plano EMSE 30/04/95.

[7] ET Nº T-80 Res. GG 477/78 de Ay EE S.E

[8] ET1002 Empresa Provincial de Energía de Córdoba.

[9] Estudios sobre resistividad y resistencia de puesta a tierra en la Estación Cruz de Piedra realizados por el Ing. Augusto Baracchini en 1983/1984.

[10] R. A. Giménez. Monografía Accidentes Laborales debidos a la Electricidad. Carrera de Especialización en Medicina del Trabajo. Facultad de Ciencias Médicas. Universidad Nacional de Cuyo. 2000.

Sistemas de medición para la evaluación y disminución del riesgo de ocurrencia de avalanchas de nieve en las Leñas (Mendoza, Argentina)

H. Martinez
hugom@uncu.edu.ar
Instituto I.D.E.P.R..N. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Cuyo.

R. Haarth & M. Distéfano
rhaarth@uncu.edu.ar & mdistefa@uncu.edu.ar
Instituto I.A.E.I. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Cuyo.

RESUMEN: Se presenta una descripción general de los sistemas de medición que actualmente se utilizan para realizar adquisición y registración de datos relacionados con el fenómeno de ocurrencia de avalanchas de nieve. Comprende la descripción de los sensores que capturan la señal de medición y sus características de funcionamiento. El objetivo que se persigue es realizar un estudio preliminar sobre el fenómeno de avalanchas de nieve que permita en un futuro investigar aquellos factores que tienen importancia en la predicción, detección y protección de la infraestructura y personas frente al problema de realizar pronósticos de ocurrencias de avalanchas de nieve. El estudio se aplicará al diseño de un sistema experto de predicción en zonas que topográficamente presentan inestabilidades y son propensas a generar avalanchas. El trabajo se circunscribe a la región del Valle de las Leñas en la Provincia de Mendoza.

1 INTRODUCCION

1.1 *Fundamentos*

El aumento de población y la mejora de la tecnología actual ha permitido que en regiones de alta montaña, se haya dado lugar a un aumento en la construcción de viviendas e infraestructuras turísticas.

En estas regiones la nieve representa un problema grave cuando se trata de evaluar el riesgo natural de ocurrencia de avalanchas que ponen en peligro la vida humana sobre todo, si se considera el constante crecimiento del uso de las zonas montañosas debido al aumento de ocupación del territorio por expansión de la población, vías de comunicación o las actividades relacionadas con el esquí y de montaña en general.

Las avalanchas de nieve representan un fenómeno natural cuyo riesgo asociado es elevado si se considera el aumento de la vulnerabilidad, lo que provoca un interés social creciente en la prevención y mitigación de este riesgo natural.

Se impone, por tanto, lograr la disminución de las consecuencias negativas de este peligro natural mediante la detección, prevención y reducción del impacto que provocan.

Existen varios métodos de ayuda, uno de estos son los mapas de zonificación de peligrosidad que se confeccionan con cartografías realizadas por expertos [1].

Requieren de mucha información de campo con datos aportados por observadores experimentados y el auxilio de modelos teóricos.

Otro método de prevención son los denominados modelos de predicción de avalanchas.

Se basan en información proveniente de datos nivometeorológicos y el resultado es un mapa zonificado del terreno con diferentes grados de peligrosidad.

La tecnología actual permite el uso de sistemas de medición con sensores que registran información complementaria de los datos nivometeorológicos 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.

2 EL FENÓMENO DE AVALANCHA Y SU PREDICCION

Una avalancha se define como un flujo de nieve que desciende a lo largo de la pendiente de una montaña o terreno elevado, es un proceso natural y complejo.
El fenómeno que ocurre antes de una avalancha es, sin lugar a dudas, la acumulación de nieve en la ladera de la montaña y su propia inestabilidad es el factor determinante que la provoca.
Esto es debido a la presencia de cargas externas, como su peso propio (exceso de nieve) y a la relación de sus propiedades físico-químicas.
Estos elementos mas las condiciones nivometeorológicas del lugar, son los determinantes del inicio de una fractura que al progresar provoca el desprendimiento de un bloque de nieve desencadenando la avalancha.
Los sistemas actuales de predicción de avalanchas necesitan datos nivometeorológicos que permitan aportar o arrojar resultados con la mayor precisión posibles.
Un sistema automático de detección de avalanchas aportaría información util en tiempo real sobre las avalanchas producidas y el nivel de acumulación de nieve en la ladera de la montaña.
Se debe distinguir entre los eventos que ocurren durante una avalancha de nieve en progreso de aquellos que ocurren previo al desencadenamiento de la misma.
Actualmente existen algunos software de predicción basados en algoritmos que utilizan la información proveniente de los modelos.
Estos programas necesariamente requieren ser alimentados continuamente con información de datos nivometeorológicos.

2.1 Software de Predicción NIVOLOG

El programa denominado NivoLog es un ejemplo de un software de predicción de avalanchas de nieve. NivoLog es un sistema de ayuda del pronóstico de la avalancha diseñado para ser utilizado continuamente por el personal responsable que tiene que asegurar regiones, caminos, infraestructura y recursos de montaña.
El sistema consiste en varios componentes de software dedicados a la gestión y el análisis de datos y al intercambio de información (figura 1)



Figura 1. Pantalla principal del software de predicción de avalanchas de nieve NivoLog.

La base de datos de NivoLog contiene información del tiempo, la topografía y geografía del terreno y los datos de avalanchas observadas.
Esta información se estructura según un modelo numérico que, además, puede procesar imágenes tales como mapas y fotos.
NivoLog incluye los programas de análisis que computan riesgos microrregionales de la avalancha (según la escala europea estándar) y probabilidades locales de ocurrencia de avalanchas.
El conocimiento experto de casos ocurridos en el pasado son considerados y utilizados por el modelo.
Los resultados que entrega NivoLog se pueden enviar por Internet a las personas responsables de administrar el sistema de prevención de riegos.
NivoLog fue probado con éxito durante el invierno de 1997 y 1998 por muchos servicios europeos de seguridad en avalanchas de nieve (figura 2).

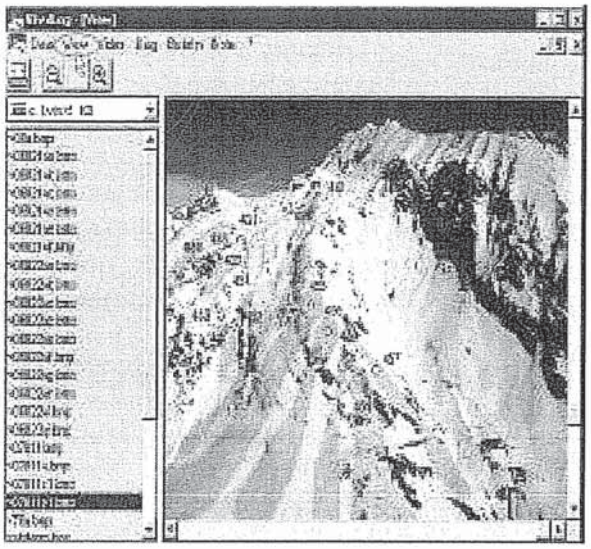


Figura 2. Pantalla con resultados según una de las formas que Nivolog dispone.

3 METODOS DE PROTECCIÓN

Los métodos de predicción se complementan con métodos de protección que disminuyen el riesgo y los daños cuando ocurre una avalancha de nieve. Estos se clasifican en 4 tipos [2]:

-Protección activa permanente: en gran parte dificultan la formación de avalanchas ya que su función es soportar la capas de nieve y prevenir la sobreacumulación. Ejemplos: vallas de soporte, forestación.

-Protección activa temporal: dificultan la formación de avalanchas en momentos críticos ya que su función es descargar lo acumulado evitando el crecimiento continuo de grandes bloques de nieve. Ejemplos: uso de explosivos.

-Protección pasiva permanente: son elementos que se instalan en el terreno en forma permanente.
Ejemplos: muros de desvío y frenado, refuerzos adicionales en la infraestructura.

-Protección pasiva temporal: son elementos que se utilizan solo en momentos críticos.
Ejemplos: planes de contingencia y evacuación mientras dura la emergencia.

4 MODELOS DE AVALANCHAS DE NIEVE

Muchos son los modelos que tratan de explicar el comportamiento de una avalancha, siendo de suma importancia la descripción del fenómeno mediante la obtención de datos experimentales y el estudio dinámico del proceso a fin de mejorar los modelos y optimizar los resultados que arrojan, esto permite definir con mejor precisión la zona del territorio que topográficamente presenta mayores inestabilidades y es propensa a generar avalanchas.

Se siguen dos ejes principales de estudio: Los modelos dinámicos y los modelos empíricos [3].

Los dinámicos calculan los parámetros de la avalancha por simulación con modelos obtenidos de la teoría de fluidos.

Los empíricos calculan parámetros de la avalancha en función de estudios estadísticos y comparativos obtenidos de información pasada (históricos)

Según el comportamiento de la nieve en una avalancha, los modelos dinámicos se subdividen en modelos mixtos, modelos de nieve en polvo, modelo de nieve densa y modelos de colada de nieve.

Los modelos empíricos se subdividen en modelos por comparación, modelos estadísticos y modelos por simulación del riesgo.

5 FACTORES RELACIONADOS EN UNA AVALANCHA

Si bien son muchos los factores que intervienen en una avalancha de nieve, es importante conocer la información que aportan el viento y la acumulación de nieve porque tienen especial interés en la predicción de la formación de una avalancha.

El viento puede crear incluso mayores acumulaciones de nieve inestable en áreas montañosas que las mismas nevadas naturales. Pero saber las condiciones del viento no es suficiente para predecir éstas acumulaciones y su evolución porque depende, además, de la calidad de la nieve precipitada en la superficie alrededor.

Está demostrado que los datos de la acumulación de nieve aumentan la confiabilidad de las predicciones de la avalancha [4], esta información es utilizada por el sistema de ayuda de decisión (NivoLog) para establecer las predicciones locales de una avalancha.

6 SISTEMAS DE MEDICION: SENSORES

Los diferentes métodos de predicción, detección y protección de avalanchas requieren de información actualizada para mantener una base de datos común que alimenta los modelos encargados de entregar los resultados.

Se necesita, por lo tanto, medir y registrar datos en tiempo real continuamente.
Actualmente los sistemas de medición modernos pueden registrar información, realizar análisis, almacenar y transferir datos a una unidad central que organiza y mantiene la base de datos.
La tecnología actual permite disponer de sensores que capturan, registran y transfieren la información digitalizada ya sea al sistema de medición o directamente a una unidad inteligente central con la base de datos.
Es evidente, entonces, que el uso de sensores, constituye una herramienta indispensable del conjunto de medición, registración y transferencia de datos, mas si se tiene en cuenta que la tecnología actual disponible permite ubicar al sensor muy cerca del canal de descarga de la avalancha y a cierta distancia segura, el sistema de medición o unidad central (ver figura 2).
Esto permite obtener lecturas mas precisas y con menos riesgos si se tiene en cuenta que la transferencia de datos es automatizada y no requiere de la presencia del ser humano en la zona de peligro para tomar los valores.
Los sensores y sistemas de medición se instalan en verano, lo que no representa riesgos por la falta de nieve, se calibran y se dejan operativos esperando la llegada del invierno y con ello las nevadas.

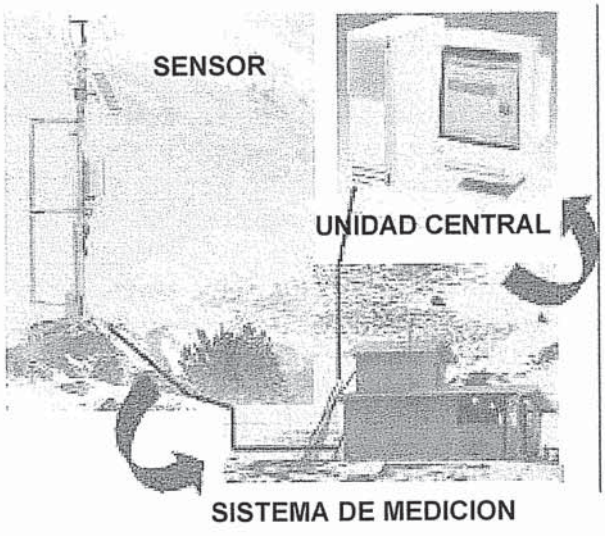


Figura 3. Conjunto Sensor, Sistema de Medición y Unidad Central.

Cuando se analiza el progreso de una avalancha, los sensores se colocan en el canal de descarga lo que genera grandes dificultades de instalación y operación debido a roturas y pérdidas de equipos de registración de datos.
Se debe analizar muy bien que tipo de sensores se utilizarán , el montaje y costo de reposición.
No siempre el mantenimiento es posible durante la época de nevadas.
A diferencia de esto, los sensores que pueden usarse para registrar los fenómenos desencadenantes de la avalancha se instalan en lugares mas accesibles por estar mas lejos de la zona de influencia de misma avalancha. No obstante, su tecnología es compleja y requieren de mantenimiento.

7 TIPOS DE SENSORES

La elección y utilización de diferentes sensores está en relación al tipo de estudio que se persigue, esto es, en la detección o predicción de avalanchas.

7.1 Sensores de Detección

Para la "detección" se utilizan sensores que presentan ventajas y desventajas según el principio de funcionamiento y su ubicación en el terreno:
- Sensores ultrasónicos:
Se colocan en el mismo canal de recorrido de la nieve por lo que presentan dificultades de instalación y por esta razón, además, son susceptibles de roturas frente al paso de una avalancha.
- Sensores de efecto Doppler:
Se necesita una buena visibilidad para que puedan registrar información.
Se instalan en lugares seguros que no los afecte la avalancha. Son de elevado valor económico.
- Cámaras de video:
Requieren de una excelente visibilidad de la zona de medición para operar. Su limitación es que no funcionan en la oscuridad.
- Sensores sísmicos:
Se instalan en el suelo del terreno de estudio. Detectan y registran la información del progreso de una avalancha. Presentan el inconveniente de la limitación de la distancia de detección y medición. Deben filtrar la información proveniente de otro ruidos que no son propios de la avalancha.

7.2 Sensores de Predicción

Para la "predicción" de la ocurrencia de avalanchas de nieve, se consideran los siguientes factores:

- Velocidad y dirección del viento:
Anemómetros que operan por principio térmico (hot-wire), ultrasónicos (tiempo de tránsito, Doppler, triangulación) y de presión. Los anemómetros mecánicos pueden servir a los fines de calibración, pero no resultan apropiados en el ambiente de operación.
- Acumulación de nieve:
Transporte de nieve por acción del viento, se registra mediante dispositivos acústicos ("driphtophone"), térmicos u ópticos.
-Cantidad de nieve precipitada:
Mediante mediciones de nivel por ultrasonidos, infrarrojos y otros métodos en contraste con pluviómetros para nieve/agua.
-Densidad y compactación superficial por peso especifico:
La nieve sufre diferencias en su densidad de más de un orden de magnitud (500 kg/m3 en nieve compactada contra 40 kg/m3 en la nieve fresca). La medición del peso específico y los penetrómetros mecánicos son adecuados para mediciones manuales, pero no para mediciones automatizadas.
-Temperatura del aire:
Se utilizan para captar la temperatura máxima, mínima, actual y tendencia
- Temperatura de la nieve:
Se mide a 10 o 20 cm de profundidad, captada mediante sonda. Generalmente las avalanchas se inician a temperaturas para la nieve próximas a su punto de fusión.
- Sensores de vibración-desplazamiento:
Se utilizan acelerómetros integrados y geófonos. Miden el desplazamiento de una masa de nieve al deslizar por la superficie durante la avalancha.
- Otros:
Presión atmosférica, humedad relativa.

8 DESCRIPCIÓN DE SENSORES

De los resultados obtenidos de un proyecto actualmente en desarrollo iniciado en el año 2005, referido al estudio de evaluación y disminución del riesgo relacionado a la ocurrencia de avalanchas de nieve, se describen algunos de los sensores estudiados para registrar información sobre el transporte y acumulación de nieve por acción del viento, además, de las mediciones de una estación nivometeorológicas.

8.1 Sensor Acústico (anemo-driphtophone)

Se utiliza para medir la velocidad de desplazamiento de partículas de nieve por acción del viento.
El diseño posee un filtro mecánico que minimiza ruidos de fondo no asociados al movimiento especifico y un filtro electrónico que mejora la señal proveniente de un micrófono.
El sensor incluye una parte mecánica diseñada para formar un recinto acústico cerrado constituido por un tubo metálico vertical.
Este recinto acústico contiene un micrófono conectado a una interface electrónica que amplifica y filtra la señal eléctrica resultante.
Los impactos de las partículas sólidas de nieve que arrastra el viento sobre la superficie de contacto (tubo vertical) producen un ruido que capta el micrófono y se convierte en una señal eléctrica proporcional a la velocidad del viento y al flujo de estas partículas.
La intensidad y característica de la señal permite detectar y medir los choques de partículas que inciden (figura 4).

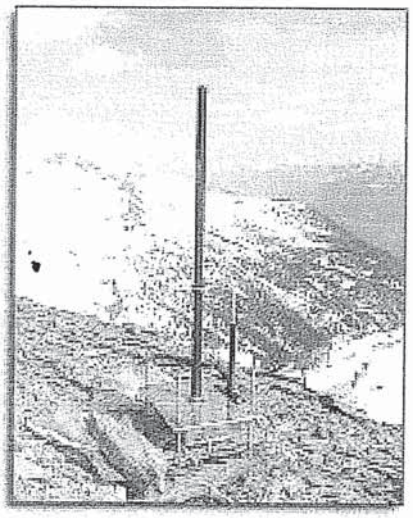


Figura 4. Sensor acústico. Fabricado por IAV Engineering y AlpuG.

8.2 Sensor de Acumulación (driftometer)

Este tipo de sensor se utiliza para medir el grado de acumulación de nieve por transporte.
El viento produce en varias ocasiones mayores acumulaciones de nieve que la misma nevada. Esta es la razón de analizar este fenómeno en detalle.
Este sensor es de tipo mecánico y se construye de forma tal que las partículas de nieve que arrastra el

viento quedan atrapadas en el interior de un recipiente depositándose en el fondo del mismo.
Un observador debe anotar periódicamente la cantidad acumulada en el depósito generando un registro de nieve precipitada o acumulada en un determinado periodo de tiempo. Una característica que presentan es que se construyen varios sensores, que se distribuyen sobre un mismo soporte en forma radial, generalmente ocho, todos unidos entre si, constituyendo un conjunto que permite registrar la orientación y dirección de la nieve que se acumula (figura 5).
Esto permite aumentar la cantidad de información registrando datos de acumulación, dirección y orientación de la nieve trasportada por acción del viento. Se construyen de diferentes formas pero con el mismo principio de funcionamiento.
Se ha mencionado que la toma de datos es manual, esto hace difícil la registración de información cuando las condiciones climáticas lo impiden, es por esta razón que una mejora que se está estudiando es lograr un sistema automático de lectura y transferencia que elimine la presencia del observador en el lugar para tomar los valores de lectura.
Este sensor es complementario con el acústico, la información de ambos permiten determinar velocidad de arrastre, dirección y acumulación de nieve transportada por acción del viento. La información que entrega el driftometer demuestra que existe una correlación entre el grado de acumulación de nieve con el riesgo de ocurrencia de avalanchas, además, se utiliza para realizar algunos estudios sobre la formación de losas de nieve.

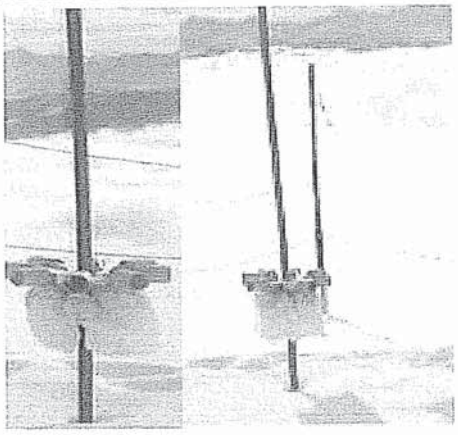


Figura 5. Driftometer fabricado por FlowCapt.

8.3 Sensor Sismico

Una avalancha genera señales en el terreno que pueden ser captadas y medidas por sensores sísmicos No todos los registros sísmicos provienen de una avalancha, debido a que pueden presentarse señales generadas por sismos locales o señales generadas por las explosiones de cargas detonadas intencionalmente como medio de protección [5].
La señal sísmica que se atribuye a una avalanchas es superficial y no avanza en componente vertical.
Uno se los sensores que mas se utiliza, está conformado por un cilindro que contiene en su interior el sensor y electrónica asociada . el conjunto se coloca sobre el terreno sobre una superficie cercana a la registración o bien enterrado superficialmente en la zona de descarga de la avalancha (figura 6).
Las señales sísmicas generadas por una avalanchas de nieve (SSA) dependen del lugar en el que son registradas, de la dimensión del alud, del tipo de flujo y del canal por el que se desarrollan. A pesar de esta variabilidad se observan señales envolventes similares en avalanchas del mismo tipo de flujo, dimensión, con trayectorias similares y registrados en el mismo emplazamiento.
Las máximas amplitudes y la duración temporal de las SSA son proporcionales a las dimensiones de la avalancha.
Las señales registradas por sensores situados dentro de la trayectoria de la avalancha contienen frecuencias de hasta 45 Hz. Las SSA registradas por sensores situados fuera de la trayectoria contienen frecuencias de hasta 20 Hz.
Se interpreta a un avalancha como un conjunto de múltiples fuentes sísmicas en movimiento.
A medida que el alud se aproxima al sensor el contenido en altas frecuencias aumenta y se hace máximo a su paso sobre el emplazamiento del sensor.

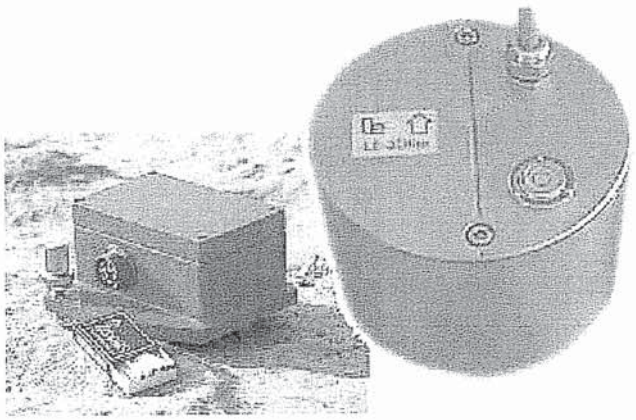


Figura 6. Sensor sísmico fabricado por la empresa Lennartz Electronic

8.4 Estación nivometeorológica

Con el objetivo de mejorar el pronóstico de ocurrencia de avalanchas, se utilizan estaciones nivometeorológicas instaladas en las laderas de la montaña cerca de los canales de descarga con el fin de disponer de información mas precisa que complemente los datos.
Se registra temperatura del aire y del suelo, humedad relativa, radiación solar, velocidad del viento con anemómetros y altura de la capa de nieve con sensores ultrasónicos.
Estas estaciones deben estar diseñadas para soportar fuertes vientos con anclajes al terreno y tirantes que mantengan estable la estructura.
En la zona del Valle de las Leñas, los vientos pueden superar los 250 Km/h lo que hace difícil el mantenimiento (figura 7).

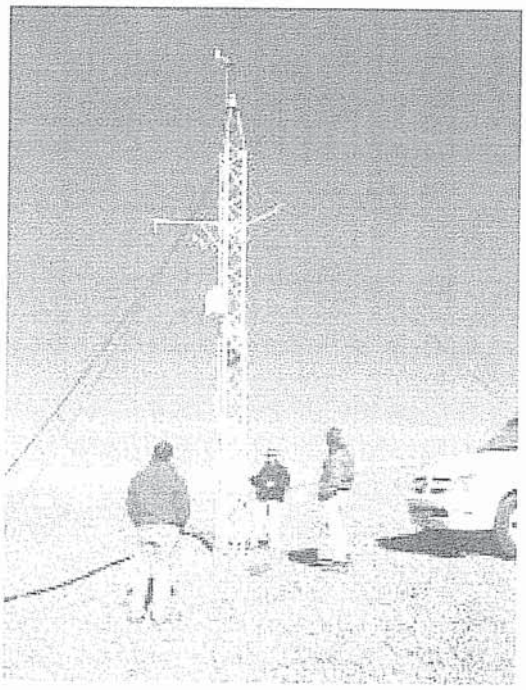


Figura 7. Estación nivometeorológica instalada en el Valle de las Leñas a 3400 msnm, Mendoza.

9 AGRADECIMIENTOS

Los autores del trabajo agradecen a las autoridades del complejo Valle de las Leñas, en especial, al Gerente de Montaña, Sr. Jorge Torres, por la atención e interés puestos de manifiesto durante nuestra estancia y toda vez que fue requerida su asistencia.

10 CONCLUSIONES

1- Queda establecida la importancia de definir, medir y registrar la información de aquellos factores naturales que pueden ser responsables del desencadenamiento de una avalancha de nieve.
2- Los sensores constituyen una herramienta fundamental en la medición y registración de datos en tiempo real; la tecnología actual permite predecir futuras mejoras.
3- Se necesita establecer una base de datos común actualizable en tiempo real con la información que aportan los sistemas de medición y sensores ubicados en el terreno de estudio.
4- Se observa la necesidad de seguir desarrollando sistemas expertos de ayuda en la predicción de avalanchas que realimenten los resultados con información de aporte de la base de datos común en tiempo real.

11 REFERENCIAS

[1] Garcia C., Gavalda J. , Martí G. , Martinez P. , Oller P. Com neix un butlletí de perill d'allaus. Horitzó. Crecit (Centre de Recerca en Ciéncies de la Terra). Andorra. España. 2003.
[2] Rapin, F, French theory for the snow avalanches with aerosol. Université européenne sur les risques naturels. Niege et avalanches.Cemagref editions. 1995.
[3] Harbitz, C.B. , Issler D., Keylock C. J. Conclusions from a recent surcent survey of avalanche computacional model. Norwegian geotechnical Institute. 1998.
[4] Bolognesi R., Daultier J.-M, Naaim F., Ousset F., Une évaluation quantitative du snowdrift pour la prévision locale des avalanches, ANENA Revue n°69, march 95. 1995.
[5] Suriñach, E., Sabot, F., Furdada, G., and Vilaplana, J.M., Seismology as a tool for the detection of snow avalanches. Implications for the mitigation of this natural risk. 1999.

La presa de Valle Grande a 41 años de su inauguración

F.A. Di Lello
fdilello@ciudad.com.ar
GEPRO, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo

RESUMEN: El trabajo, un subproducto del proyecto de investigación "Mejoramiento de la Componente Hidrológica en los Aprovechamientos Hidroeléctricos Mendocinos", analiza y detalla los aspectos tipológicos y principales dificultades halladas durante la construcción de la presa de Valle Grande, para que a partir de un mejor conocimiento de sus condicionantes y una adecuada consideración de sus dificultades y características, se pueda interpretar el importante proceso de riesgo y envejecimiento en que se encuentra la obra, con vistas a su seguridad futura. Se pretende contribuir con las decisiones técnicas y medidas administrativas necesarias para reducir y controlar el riesgo inherente de esta antigua obra, de la cual depende el riego en la cuenca del río Atuel. En ese sentido se describen algunos aspectos de las técnicas aplicadas durante su ejecución y se sugieren algunas intervenciones de ineludible implementación para un funcionamiento confiable de tan importante como vital obra del sur mendocino. Complementariamente se proponen algunos esquemas para el desarrollo hidroeléctrico del tramo inferior del río hasta la progresiva de Rincón del Atuel.

1 INTRODUCCIÓN

El complejo hidroeléctrico del río Atuel, en el sur de la Provincia de Mendoza, denominado Los Nihuiles, que convirtió en su momento al río Atuel, en uno de los ríos más desarrollados del país, tiene como compensador al embalse de Valle Grande. Este sistema fue concesionado a HINISA en los '90, en el marco de la ley Nº 24.065/91 de desregulación del mercado eléctrico. Años más tarde y utilizando la descarga de riego existente, se agregó la Central Nihuil IV, ubicada al pie de la presa de Valle Grande, concesionada a Hidronihuil S.A. [Ref. 1].

Se analizan seguidamente algunos aspectos relacionados con la seguridad de la presa de Valle Grande. El envejecimiento de una presa en el tiempo es una preocupación permanente para los ingenieros hidráulicos, porque de no controlarse, ello puede afectar su desempeño y estabilidad. El proceso de envejecimiento tiene muchos aspectos, como el del hormigón por ejemplo, que suele identificarse a partir del deterioro de algunas de las propiedades del mismo, con pérdida de resistencia o incremento de la permeabilidad. Pero muchas causas y consecuencias del deterioro son predecibles y con precauciones y medidas que pueden tomarse a tiempo, es posible reducir el daño potencial asociado. (Ver Fig. 1).



Figura 1. Aprovechamiento Integral del río Atuel hasta Valle Grande.

2 CARACTERÍSTICAS DE LAS OBRAS

El embalse de Valle Grande con 160 hm^3 a cota 812, se ha formado mediante una presa de 300 m de desarrollo en el coronamiento, del tipo gravedad

aligerada de contrafuertes (Noetzli-Alcorta). Pero parte de aquel volumen hoy está ocupado por una importante sedimentación de material fino, dando lugar al fenómeno de aguas claras en San Rafael y General Alvear, con reclamos de los afectados.
El hormigón necesario para la presa se estimó inicialmente en unos 333.000 m^3, pero algunos imprevistos geológicos y topográficos descubiertos al fundar las obras, requirieron 700.000 m^3.
La presa tiene 25 contrafuertes de hormigón simple, de una altura máxima de 112 m desde la fundación, con 12 m de ancho en el morro y pilar, y espesores del entrepaño de 2,00 m arriba a 4,20 m en la base. Su construcción llevó 7 años y se terminó en 1965.

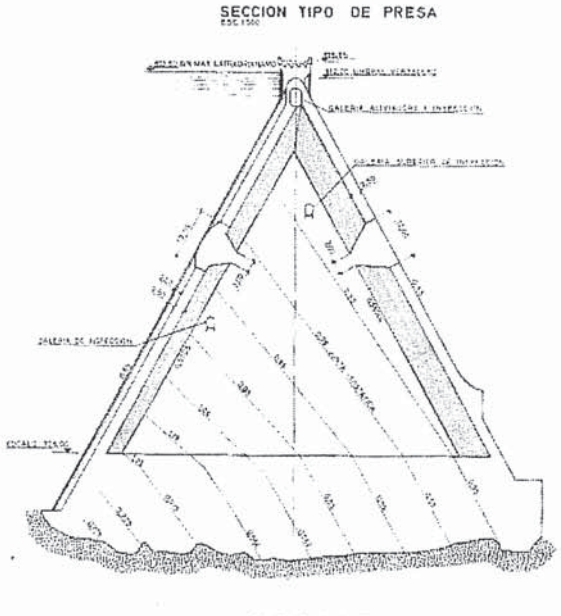


Figura 2. Perfil transversal de un elemento tipo Noetzli -Alcorta de la presa Valle Grande.

Para alcanzar el techo de roca se excavaron más de 35 m del aluvión existente en el cauce, pero las condiciones geológicas de la roca no eran buenas para fundar un dique de contrafuertes puro.
Así fue que se decidió ejecutar una platea bajo todo el dique, modificándose a más del doble el volumen de hormigón originalmente previsto. (Ver Fig. 3).
La garganta se impermeabilizó mediante una cortina de inyección lograda con 12.146 m de perforación de 50 mm de diámetro, las que demandaron en promedio 263 kg de cemento por metro de perforación, inyectándose en total 3.190 t de cemento pórtland. Ambas márgenes se vinculan y forman parte del circuito del río Atuel mediante un camino que pasa por el coronamiento, con veredas peatonales en sus costados y 6 m de ancho. [Ref. 4].

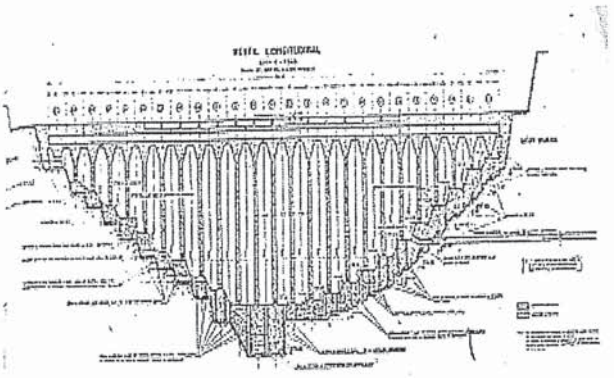


Figura 3. Perfil por el eje de la presa, donde aparece el relleno y las inyecciones complementarias.

3 EL VERTEDERO

Está en el centro del coronamiento de la presa y tiene 150 m de desarrollo. Es del tipo libre, con umbral a cota 812.50, de perfil Creager y con 1,50 m de carga puede erogar 600 m^3/s. Cuando vierte la descarga se desliza sobre el paramento de aguas abajo, constituido por los pilares de los elementos, que a cota 740, en el pie, se comportan como verdaderos disipadores de energía. El tramo en correspondencia del vertedero, se salva mediante un puente carretero apoyado en pilas cada 12 m.

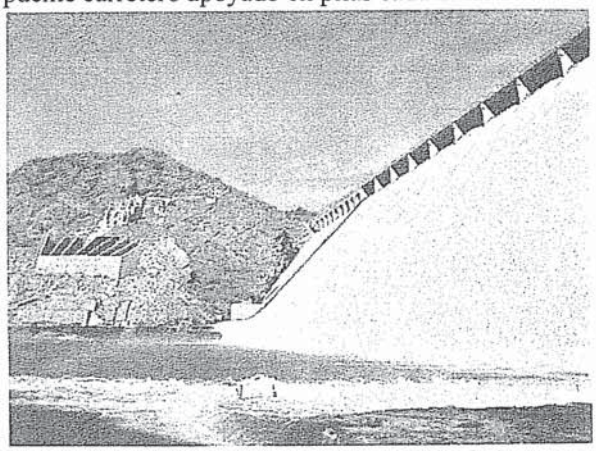


Figura 4. Vertedero con disipación al pie de la presa.

4 LAS OBRAS COMPLEMENTARIAS

Las obras se completan mediante una derivación para riego con su Toma y conducción por margen derecha y fuera del cuerpo de la presa. Antes de incorporarse Nihuil IV, las descargas para riego se atendían con 2 válvulas tipo Howell-Bunger, que

erogaban hasta 90 m^3/s con mínimo embalse (cota 765). En la Casa de Válvulas sólo se instalaron dos de las 4 válvulas de chorro hueco (Howell- Bunger) de 2,10 m de diámetro que preveía el proyecto, las más grandes hasta entonces construidas en el país. Las válvulas (Ver Fig. 5) se operaban según las consignas del DGI. Cada ramal disponía como cierre de seguridad de una válvula mariposa de 2,40 m de diámetro. A máximo nivel de embalse, la derivación soporta una presión de 164 m, por lo que se la ha revestido en hormigón y los últimos 20 m son blindados con un espesor de acero 22 mm, terminado en una tetrafurcación de ramales asimétricos a 45° respecto del túnel.

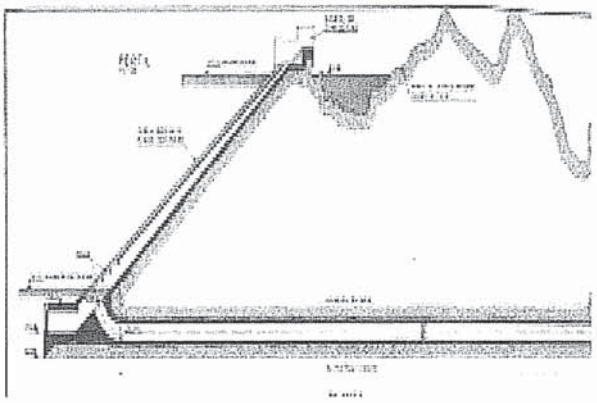


Figura 5. Perfil por el eje del túnel de la derivación

La Toma para Riego es inclinada, con rejas en su embocadura y dispone de recatas para la compuerta vagón de 40 t (de 3,50 x 5,50 m), las que llegan a la Casa de Maniobras en el coronamiento. (Ver Fig. 6)

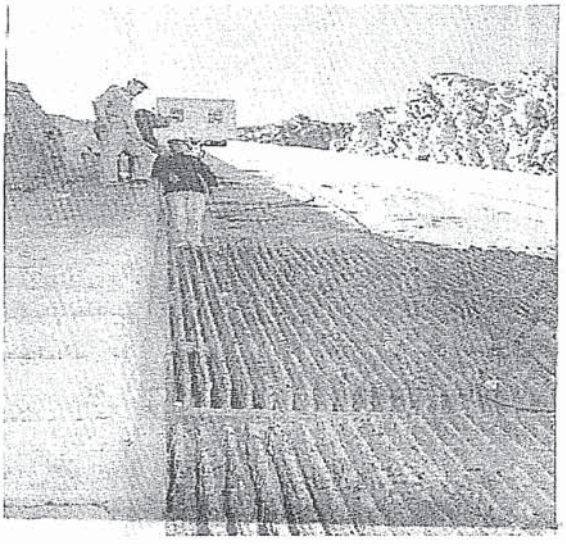


Figura 6. Rejas embocadura y Casa de Compuerta.

Ante una emergencia la compuerta ahora debería cumplir con la condición ineludible de cierre por su propio peso, aún con flujo pasante. Sin embargo su desplazamiento sobre un plano inclinado de 115 m de desarrollo, es dificultoso y lento. La antigua toma y derivación ahora se usan como aducción a la Central Nihuil IV, por lo que la compuerta debería haberse reemplazado por otra nueva más segura, porque la operación de la central puede provocar sobrepresiones peligrosas. (Ver Fig. 7)

El centro de la embocadura está a cota 757,60 y luego de una transición rectangular a circular, sigue un túnel de 250 m de desarrollo y 4,50 m de diámetro, excavado en la roca de margen derecha.

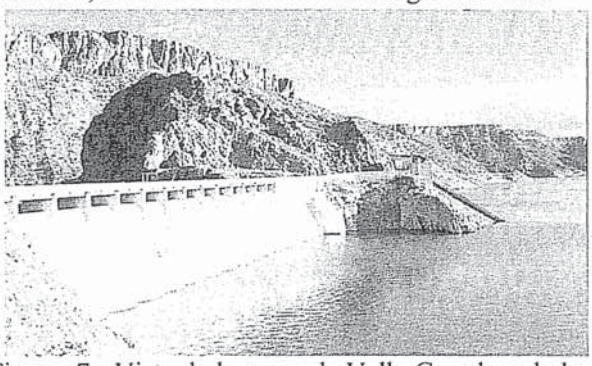


Figura. 7. Vista de la presa de Valle Grande y de la Casa de Maniobras de la Compuerta.

Se había pensado que Valle Grande fuera cabecera de otra Central (Nihuil N° 4) a ubicar en Rincón del Atuel (ahora podría ser Nihuil V), para lo cual se inició una Obra de Toma en Margen Izquierda, y un túnel de 9 km, pero sólo se hizo la fundación de la Obra de Toma y 100 m del túnel (ver Figs. 8, 9 y10).



Figura 8. Traza del túnel comenzado para Nihuil 4.

5 DESCARGA PARA EMERGENCIAS

Para emergencias es necesario disponer de otra descarga adicional, la cual podría materializarse recuperando el Túnel de Desvío del río, el cual fue excavado en margen derecha (ver Fig. 9)



Figura 9. Túnel de desvío en Margen Derecha y el iniciado para Nihuil 4 en Margen Izquierda.

6 FUNCIÓN DE UN COMPENSADOR

El embalse Valle Grande sirve para recomponer las erogaciones variables de las centrales ubicadas aguas arriba del embalse, de modo de poder ajustar las entregas de caudales conforme a las necesidades del área irrigada aguas abajo del mismo. Los usos del agua en regiones como la nuestra, requieren una correcta administración del recurso hídrico, ya que no sólo es escaso sino también con variaciones estacionales, debe cumplir las siguientes consignas:

6.1 Demandas de riego variables en el año

Las descargas de Valle Grande entre el 25 de mayo y el 20 de agosto de cada año, son casi nulas, con pequeñas descargas periódicas para bebida y usos domésticos, lográndose acumular unos 100 hm^3.

6.2 Demanda de energía variable en el año

A lo largo del día, la semana y durante los distintos meses del año hay variaciones en la demanda eléctrica, y además en invierno alcanza valores altos, pero a su vez no es necesario erogar caudales para riego. El único modo posible que las centrales operen así, es acumulando el agua turbinada por ellas en un embalse compensador, hasta el momento necesario para el riego (consuntivo). En Valle Grande se requería un volumen tal que acumulara el derrame de los meses de corta, de modo de usarlos en la primavera siguiente, significando esto una capacidad del orden de 100 hm^3. Sin embargo el volumen asignado al embalse es mayor porque la compensación requerida es del tipo anual. Además el embalse cumple con otras funciones de carácter diario y semanal, las que son indispensables para que las centrales puedan acomodarse a las exigencias de la curva de carga del MEM, conforme a las diferentes demandas en cada época del año.

7 LA ZONA DEL CIERRE Y DEL VASO.

El río Atuel discurre por un cauce de erosión, el cual en gran parte está relleno con importantes espesores de aluviones del cuaternario. En los casi 50 km del cañón del río resulta difícil hallar sitios adecuados para embalsar 160 hm^3 con una presa de una altura razonable y económica. Sin embargo en el sitio denominado Valle Grande y debido al encuentro de dos arroyos generalmente secos, pero de comportamiento torrencial cuando llueve en la cuenca media del río Atuel, hay un importante ensanchamiento local en el que se emplazó la presa. Así es que por la margen derecha aparece el A° Rincón del Molle y por la izquierda el A° Cochi-Có, configurando entre ambos un ancho valle de 5 km, aunque hacia aguas arriba y en una longitud de 8 km el ancho medio del vaso sólo alcanza a unos 300 m.
La margen derecha está constituida por porfiritas, pórfidos cuarcíferos y tobas, que son formaciones permo-triásicas, apareciendo el aglomerado tobáceo

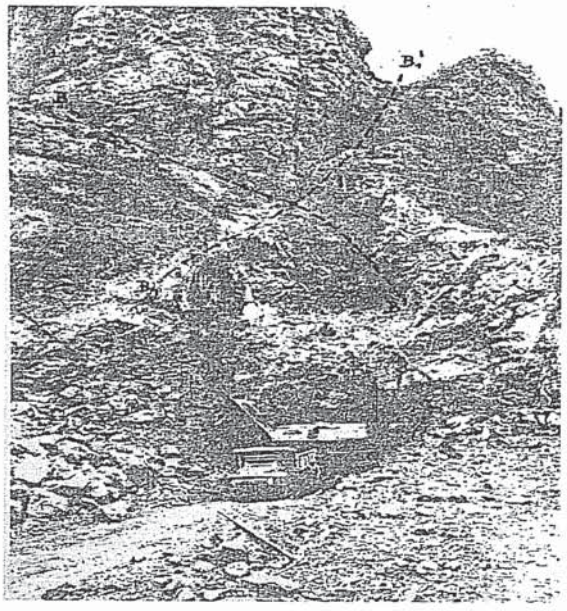


Figura. 10. Excavación para la Toma de la central

casi siempre entrecruzado por vetas de calcita de hasta 0,30 m de espesor. La margen derecha en tanto, muestra un aglomerado tobáceo muy compacto y resistente, con diaclasamiento principal favorable, que buza hacia la ladera (ver Fig. 11).

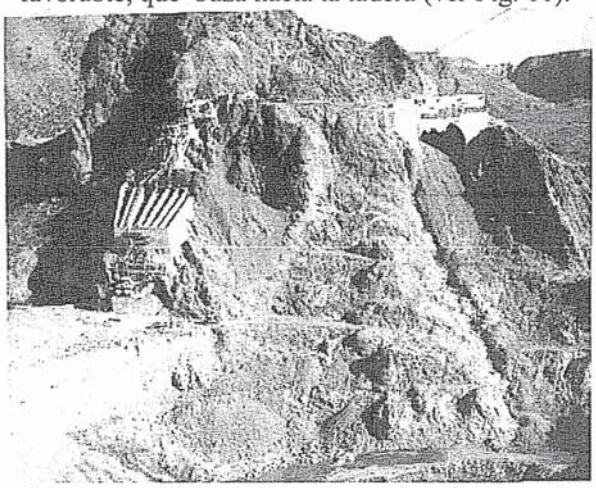


Figura. 11. Vista de la margen derecha durante las excavaciones para fundar las obras de la presa

Esta singularidad del río está controlada por un grueso paquete de aglomerado tobáceo, que intercepta y estrangula el valle con buzamiento de 60° hacia aguas arriba y dirección NO-SE. El estrato aparece junto con unas areniscas superiores de tipo cuarcítico y otras areniscas inferiores arcillo-esquistosas y pizarras que pertenecen al carbonífero pérmico. El río corta y cruza el aglomerado tobáceo y las areniscas luego de su encuentro con el Cochi-Có, por una garganta de unos 200 m de profundidad total, tallada entre las cotas 700 y 900, en donde unos 50 m aparecían cubiertos por aluviones.

8 LA INSEGURA MARGEN IZQUIERDA

La geología de la fundación y sus laderas aparece en varios informes de la ex AYEE desde 1953 hasta, unos últimos en 1988 para el emplazamiento de la Central Hidráulica Nihuil IV. Las rocas observadas se pueden ordenar según su antigüedad, relacionándolos con formaciones o unidades litológicas en forma estratigráfica. Los estudios indican formaciones permotriásicas, por ser las que más aparecen en la fundación de la presa y obras auxiliares. A simple vista la roca desnuda de ambas laderas parece de buena apariencia. [Ref.5]
Sin embargo y según se aprecia en el croquis de la estructura geotectónica (ver Fig. 12), hay una importante falla A-A y dos vetas de calcita (B-B y C-C). Estas tres fracturas finalizan contra un plano de corrimiento.

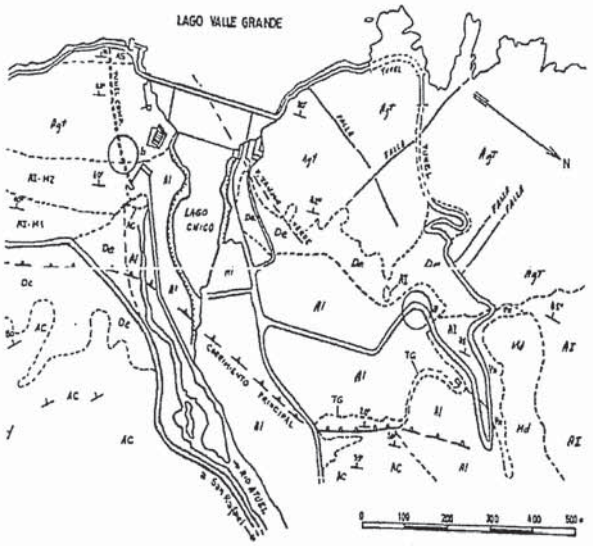


Figura. 12. Esquema geotectónico de Valle Grande

Para complicar aún más, el aglomerado tobáceo y algunos estratos de areniscas intercaladas, tienen buzamiento e inclinaciones de dirección paralela al eje de la presa en 15°30' hacia el río, lo cual se consideró en los cálculos de estabilidad de la presa.
A cota 750 aparecía hacia aguas abajo una zona de sobreescurrimiento [Ref.7] que interceptaba la zona de apoyo de la presa, constituido por un paquete de roca verdosa y blanda, respaldada en un sólido morro de aglomerado tobáceo que emergía hacia agua abajo, dando la seguridad y firmeza necesarios frente a un deslizamiento de la presa.
El reconocimiento de la fundación en el lecho del río se logró mediante 11 perforaciones, una horizontal en la margen izquierda y las restantes verticales y distribuidas (ver Fig. 13).

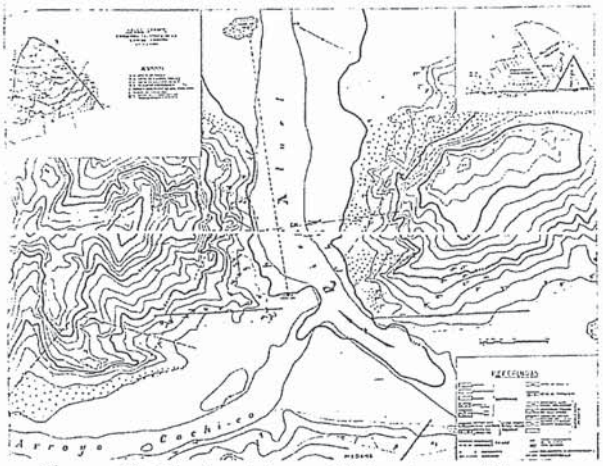


Figura 13. Planimetría geológico-topográfica

El espesor del aluvión fue de más de 36 m, pero sin una certeza de cuál era la profundidad real del techo de roca. Se verificó con los sondeos [Ref. 4] la presencia del aglomerado tobáceo en toda la garganta a cerrar con la presa (ver Fig. 14).



Figura 14. Vista de excavaciones en margen derecha

9 LAS TIPOLOGÍAS PROPUESTAS

La ex AYEE había preparado para la licitación dos alternativas, una era una presa de tierra y la otra en hormigón de gravedad aligerada, con perfil Noetzli-Alcorta. La altura de cálculo adoptada fue de 100 m y debía realizarse en hormigón simple. La cabeza redonda la introdujo Noetzli en 1928, tomando como antecedente la Presa de Don Martín en Méjico. La solución con presa de tierra tenía núcleo impermeable de arcilla y espaldones de material semipermeable y escollera. Así se llamó a licitación pública en 1954, pero aquel primer concurso fue anulado y recién el 23 de abril de 1957 se hizo un segundo llamado, adjudicándose a Sollazzo Hnos. S.A. la variante en hormigón el 30 de noviembre de 1957. En abril de 1958 comenzó la construcción de una presa de gravedad aligerada y contrafuertes con cabezas redondas con sección horizontal doble-té, tipo Noetzli-Alcorta.[Ref.5].

10 OTRA DESCARGA ADICIONAL

La Obra de Toma comenzada a construir en margen izquierda podría servir para derivar hacia una nueva Central (Nihuil V) o bien como la embocadura para una descarga de emergencia. [Ref. 6]

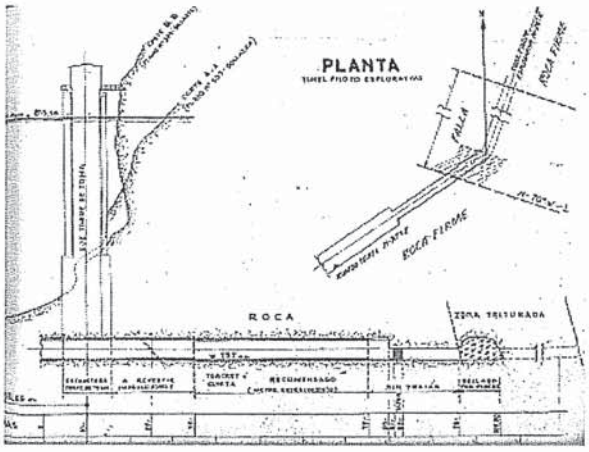


Figura 15. Perfil y planta del túnel excavado hacia Nihuil 4 utilizable para una futura central Nihuil V.

La obra iniciada está en margen izquierda del A° Cochi-Có, a unos 500 metros aguas arriba de su desembocadura en el río Atuel. El túnel sólo alcanzó la progresiva 105,80 m respecto del centro de la Obra de Toma en progresiva +10,00. Hay 80 m del túnel excavados a plena sección y otros 25,80 m de un túnel piloto. (ver Fig. 15).

La Obra de Toma de margen izquierda (inconclusa), bien podría ser una segunda salida o descarga adicional para contar así con una mínima seguridad en una presa con más de 40 años en explotación, y que aún no dispone de una descarga de emergencia o de medio fondo, aspecto de ineludible cumplimiento en una obra de embalse como Valle Grande. La roca en la zona de fundación [Ref. 10] de la toma y la del túnel es un aglomerado Tobáceo, la misma del apoyo izquierdo y en la zona del camino de acceso al coronamiento. Se han hallado también afloramientos de aluvión, roca natural y roca

alterada en la zona de la dársena de aducción de la obra de toma. Puede establecerse [Ref. 11] que la obra de toma estaría fundada en roca, a pesar de estar cubierta por escombros de la misma excavación, quedando solamente expuestas a la vista las laderas y el túnel.
También esas obras abandonadas podrían constituir el arranque de la conducción hacia una nueva central a emplazar aguas abajo, en caso de concretarse el trasvase del río Grande al Atuel.

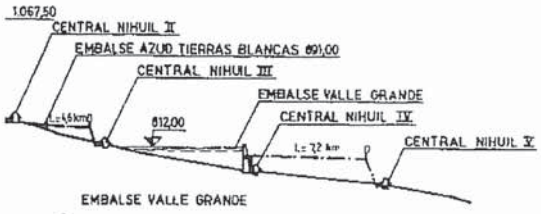


Figura. 16. Perfil longitudinal desde Central Nihuil II hasta Rincón del Atuel (Nihuil V)

A pesar de que la explotación con fines energéticos del embalse de Valle Grande al momento de su construcción era muy incierta, las obras existentes facilitarán cualquier alternativa a decidirse en el tiempo. La Obra de Toma iniciada serviría para una nueva Central, y el tramo de túnel excavado, de continuarlos, permitirán disponer de una descarga adicional, que se podría perforar desde aguas abajo, aún con embalse lleno.

12 ASPECTOS RELATIVOS A LA SEGURIDAD

El desempeño de compuertas y válvulas, junto a la posibilidad de disponer de más de una descarga, son esenciales para la seguridad hidráulica de presas y vertederos. Además al diseñarse una obra debe tenerse en cuenta cualquier posible reducción de la descarga efectiva resultante de compuertas o válvulas bloqueadas. La seguridad de una presa, además de otras propias de sus materiales constructivos y singularidades del sitio, se basa entonces en la asociación posible de compuertas y válvulas operando correctamente. Las normas técnicas especifican en general que debe poderse asegurar que las crecientes sean descargadas aún con uno de los órganos bloqueado. Para el diseño de modelos probabilísticos sin embargo es deseable el desarrollo de análisis de riesgo, con aplicación de las frecuencias de fallas y niveles de daños observados.

13 CENTRAL HIDRÁULICA NIHUIL IV

Al pie de Valle Grande se emplaza Nihuil IV comenzada a construirse en 1995. Está equipada con una turbina Kaplan de 25 MW que genera 150 GWh/año (Ver Fig. 17).
Los caudales para la central se derivan a través de la tubería de riego existente, la que en parte se ha modificado, uniendo dos ramales en uno.
Esta tubería debería haberse adecuado conforme a las mayores exigencias operativas de la Central, junto con el resto del equipamiento hidromecánico de la obra de toma, además de agregarse otra descarga adicional, pero estos recaudos no se han cumplido acertadamente y la configuración actual no es compatible con las delicadas condiciones de estabilidad de la margen derecha, ni para la seguridad de la presa.

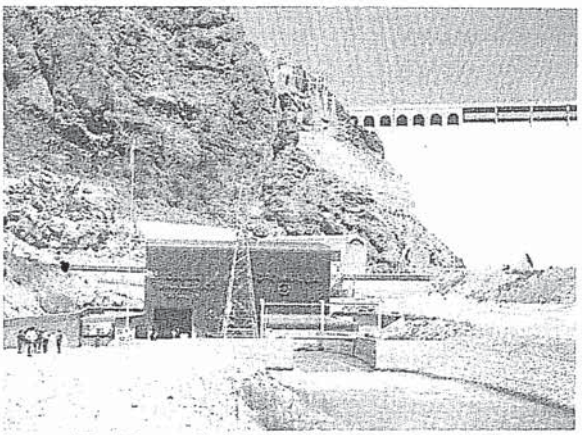


Figura 17. Presa de Valle Grande y nueva descarga para riego junto a la Central Nihuil IV

Un aspecto ya señalado es el de la compuerta de guardia o cabecera, por ser el único elemento con que se podría controlar las descargas desde Valle Grande. Ante una avería en la alimentación a las válvulas y ahora a Nihuil IV, no se podrían descargar caudales para reducir el nivel del embalse.

14 APROVECHAMIENTOS AGUA ABAJO

El desarrollo del resto del río hasta Rincón del Atuel, podría ser en un único salto o bien en dos consecutivos, a partir de un pequeño compensador aguas abajo de Valle Grande, (ver Fig. 18).

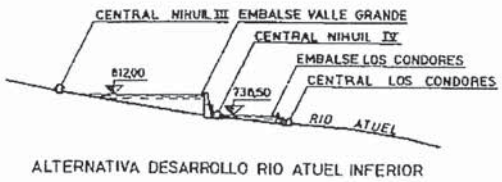


Figura 18. Central Nihuil IV y nueva Los Cóndores

La gestión de Nihuil IV mejoraría, pero la nueva central estaría condicionada al riego. El desarrollo del río Atuel inferior debe analizarse no sólo el contexto actual sino también considerando el trasvase del río Grande al Atuel. En ese caso por los mayores caudales sería necesario no sólo repotenciar algunas de las centrales existentes, sino también desarrollar otras nuevas en el tramo del río ya aprovechado (ver Fig. 19 y Cuadro 1).

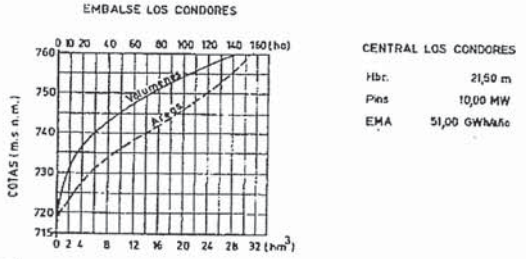


Figura 19. Curva A-V Compensador Central Nihuil IV y datos Central Los Cóndores

Cuadro 1 - Características de las centrales del tramo aguas abajo de Valle Grande

CENTRAL	Salto bruto (m)	Pot. Inst. (Mw.)	EMA GWh/año	Observ.
NIHUIL IV	67,30	25	150	Existente
NIHUIL V (06)	143,5	61	330	c/Trasvase
NIHUIL V Los Cóndores	21,50	10	51	Nueva (+)
NIHUIL VI Rincón del Atuel	44,50	17	100	Nueva (+)

Nota (+): Puede ser con o sin trasvase del Río Grande al Atuel.

15 CONCLUSIONES

La presa de Valle Grande y su embalse asociado ameritan un mayor control y cuidados, no sólo por el maravilloso entorno y atractivo turísticos que representan, sino por la antigüedad de las obras y la imperiosa necesidad de dotar a la presa de una descarga adicional que provea una mínima seguridad como debe contar cualquier presa de embalse frente a un evento extraordinario, que exija su vaciado, dentro de los tiempos recomendados por las normas de aplicación. También es viable el aprovechamiento hidroeléctrico del tramo de aguas abajo de Valle Grande hasta Rincón del Atuel. Esto abre nuevas perspectivas a analizar junto al trasvase de las aguas del Río Grande al Atuel, y todo ello en el marco de los acuerdos fijados en la sentencia del litigio Mendoza - La Pampa por las regalías del río Atuel. Además está el hecho real producido por innumerables intrusos que han invadido el cauce del río, edificando construcciones de recreo en pleno valle de inundación (Valle Grande puede descargar hasta 600 m^3/s). También hay que prestar atención a lo que sucede respecto de la realidad física de las obras de embocadura a la Central Nihuil IV y hacer cumplir no sólo las obligaciones contractuales fijadas en la concesión para su construcción y explotación, sino lo concerniente a la seguridad. Otro aspecto digno de tener en cuenta es el referido a la calidad actual del cuerpo de agua y la implementación urgente de acciones de mitigación para evitar la alteración de sus aguas y controlar el proceso de sedimentación avanzado del embalse.

16 BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

[1] F. A. DI LELLO, "Evaluación y Catastro del Potencial Hidroeléctrico de la Pcia de Mza. 3° Etapa ríos Tunuyán, Diamante y Atuel", CIUNC 1998.
[2] F. A. DI LELLO, "Mejoramiento de la Componente Hidrológica en los Aprovecham. Hidroeléctricos Mendocinos" - SCTyP 2005.
[3] IFTA - Relevamiento a escala 1:5.000 de V.G.
[4] K.E BÖHM, Informe Geológico para el Dique de Valle Grande - 04/1953.
[5] K.E BÖHM., Condiciones geológico-tectónicas ladera izquierda Valle Grande - 08/1960.
[6] AYEE - Plano General de la Obra de Valle Grande. Esc.:1:5.000 - 07/ 1962.
[7] AYEE - Planos de Obra V. G. N° 369 y 378.
[8] AYEE - Relevamiento Topográfico de la roca en la zona de la Toma a escala 1:200
[9] A. MOCHKOFSKY, A. Aspectos constructivos de la presa Valle Grande en Mendoza - 1964
[10] SOLLAZZO Hnos.; Plano N° 309: (Planta y perfiles de excavación de la Toma a la Central).
[11] SOLLAZZO Hnos.; Plano N° 323: Túnel Central Hidráulica (Armaduras e inyecciones).

Análisis de un instrumento para la recolección de datos perteneciente a un modelo de evaluación de cátedra.

D. F. Pujadas
dpujadas@frm.utn.edu.ar
Ingeniería Electromecánica, Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional.

RESUMEN: El trabajo que se pretende desarrollar consiste en analizar las variables de uno de los instrumentos utilizados para la recolección de datos inserto en un modelo de evaluación de cátedra denominado Estrategia para la Mejora Continua de la Calidad de la Educación Superior en la U.T.N-F.R.M.. Los objetivos comunes de aquellos son identificar y analizar las debilidades y fortalezas de la práctica docente. El instrumento sometido al análisis en esta ocasión es la encuesta al estudiante y el objetivo específico es encontrar mediante análisis, el grado de pertinencia y consistencia de las variables para el instrumento. La herramienta de medición imbrica aspectos cualitativos y cuantitativos inherentes a la cátedra, que en esta investigación se considera, la célula de la universidad tomada esta última como una organización. El ámbito donde se ha llevado a cabo esta experiencia son dos departamentos de enseñanza pertenecientes a la Facultad Regional Mendoza. El impacto que se espera al aplicar una herramienta como esta, entre otras, del modelo de evaluación mencionado arriba, es modificar el grado de la calidad de la autogestión de la práctica docente en cuanto al incremento de la eficacia y eficiencia de las actividades y de los procesos asociados a ella.

1. INTRODUCCIÓN

La tarea de gestión académica involucra entre otras cosas la evaluación de desempeño del personal docente. A realizar el análisis comparado de las evaluaciones de distintas dimensiones de la organización educativa, entre las cuales se encuentra la de docencia, surge de manera sui generis el establecimiento de políticas de mejora continua en la calidad del producto que es la educación Ref. [1]. Dentro de este marco y como aporte a la identificación de los componentes de la calidad presentes y ausentes en el proceso de enseñanza, aprendizaje y evaluación se debe tener en cuenta que el instrumento a analizar en esta presentación es uno entre varios y en consecuencia corresponde a un sólo punto vista del tema de investigación mencionado en el resumen Ref. [2]. Se deja para otra oportunidad la revisión de los otros

intervinientes en dicho modelo y se destaca que la aplicación del conjunto de ellos otorga la visión integral del problema a investigar.

2. DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA

1.2 *Descripción del trabajo del campo*

A través de los resultados obtenidos en una serie de mediciones tomadas con esta herramienta, encuesta al estudiante, se ha intentado demostrar el grado de pertinencia de cada pregunta con respecto a lo que se desea saber de la práctica docente del profesor de una asignatura. Para poder validar de algún modo dicha herramienta se ha propagado su aplicación a otras asignaturas con cátedras diferentes. Consecuentemente se ha realizado un análisis comparativo de los resultados obtenidos y se intenta abordar las conclusiones que, según se estima, tendrán por lo menos dos aplicaciones diferentes pero relacionadas entre sí. A los fines de la investigación propiamente dicha permitirá, como ya se ha mencionado, encontrar la presencia o ausencia de los componentes de la calidad educativa. En el otro aspecto inherente a la gestión académica, se supone que podrán transformarse en recomendaciones para la dirección departamental quien buscará distintos andariveles para la mediación de las acciones a tomar por cada cátedra o bien para involucrar integralmente al cuerpo docente.

1.3 *Libro de códigos*

En este apartado se definen y describen las variables sobre las que se desean conocer atributos y además se incluyen otros términos de calidad referida a la educación Ref. [3]. Para introducirse plenamente en el tema se presenta en la Tabla I el modelo de encuesta al estudiante compuesto por preguntas cerradas y una abierta.

Tabla 1. Encuesta al alumno

Asignatura:	Fecha:

1. ¿Qué métodos de enseñanza utilizan los docentes de esta asignatura?	
a. Clase expositiva	d. Coloquios con los alumnos
b. Trabajos Grupales	e. Resolución de problemas
c. Trabajos individuales	f. Otras formas
2. ¿El docente expone con claridad el tema y transfiere su experiencia profesional en sus clases?	
Titular Sí □ No □ Según el tema □	JTP Sí □ No □ Según el tema □
Adjunto Sí □ No □ Según el tema □	Ayudante Sí □ No□ Según el tema □
3. ¿Opina que el docente debería cambiar de manera de enseñar?	
Titular Sí □ No □ Según el tema □	JTP Sí □ No □ Según el tema □
Adjunto Sí □ No □ Según el tema □	Ayudante Si □ No □ Según el tema □
4. ¿Los docentes de la cátedra responden las dudas que Ud. le plantea?	
Titular Sí □ No □ Según el tema □	JTP Sí □ No □ Según el tema □
Adjunto Sí □ No □ Según el tema □	Ayudante Sí □ No □ Según el tema □
5. Relación Docente-Alumno	
5.1 ¿El profesor es respetuoso en el trato con ustedes?	
Titular Sí □ No □ A veces □	JTP Sí □ No □ A veces □
Adjunto Sí □ No □ A veces □	ayudante Sí □ No □ A veces □
5.2 ¿El profesor los estimula y motiva a participar y seguir el desarrollo de las clases?	
Titular Sí □ No □ A veces □	JTP Sí □ No □ A veces □
Adjunto Sí □ No □ A veces □	Ayudante Sí □ No □ A veces □
6. ¿La cátedra da a conocer el programa de actividades al iniciarse el cursado? Sí □ No □	
7. ¿La cátedra dicta la mayoría de los temas previstos? Sí □ No □ No lo sé □	
8. ¿Ud. Cree que los conocimientos de años anteriores, incluido el nivel medio, son suficientes para encarar esta asignatura? Sí □ No □ Según el Tema □	
9. ¿Está de acuerdo en que el docente le exija para cada clase poseer los conocimientos previos del tema que va dictar? (Esto significa estudiar o leer en casa lo dado en la clase anterior). Sí □ No □ Según el Tema □	
10. ¿Los docentes de esta cátedra dan las consultas previstas? Sí □ No □ A veces □	
11. ¿Cómo lleva a cabo las evaluaciones parciales y/o finales?	

11.1 ¿Los contenidos de las evaluaciones están de acuerdo a los temas dados? Sí ☐ No ☐ A veces ☐
11.2 ¿Evalúa con equidad a todos los integrantes del curso? Sí ☐ No ☐ A veces ☐
11.3 ¿Responde dudas sobre calificaciones o diferencias en los exámenes? Sí ☐ No ☐ A veces ☐
12. En cuanto a teoría y práctica
12.1 ¿Cómo es el desarrollo de la teoría? M ☐ R. ☐ B ☐ MB ☐ E ☐
12.2 ¿Cómo es el desarrollo de la práctica? M ☐ R. ☐ B ☐ M ☐ E ☐
12.3 ¿Cree que el número de temas teóricos es suficiente? Sí ☐ No ☐
12.4 ¿Cree que el número de trabajos prácticos es suficiente? Sí ☐ No ☐
12.5 ¿Ud. opina que los trabajos prácticos se deben resolver en clase? Sí ☐ No ☐ Según el Tema ☐
13. En cuanto a la bibliografía, el docente:
13.1 ¿Recomienda bibliografía? Sí ☐ No ☐ Según el Tema ☐
13.2 ¿Ha elaborado material de estudio para la teoría? Sí ☐ No ☐ Según el Tema ☐
13.3 ¿Son completos y/o suficientes? Sí ☐ No ☐ Según el Tema ☐
13.4 ¿Le han resultado útiles para el seguimiento de la teoría? Sí ☐ No ☐ Según el Tema ☐
13.5 ¿Ha realizado guías de trabajos prácticos? Sí ☐ No ☐ Según el Tema ☐
13.6 ¿Le han resultado útiles para el seguimiento de la práctica? Sí ☐ No ☐ Según el Tema ☐
14. Si tuviese que dar una opinión sobre los docentes de esta Cátedra, ¿que diría?:
14.1 ¿Cursaría otra asignatura con estos mismos profesores? Sí ☐ No ☐
14.2 ¿Desearía cursar esta asignatura con otros profesores? Sí ☐ No ☐
15. ¿Desearía agregar algún otro comentario o idea respecto de lo consultado? (Escriba a vuelta de página si lo desea) ¡Gracias por su colaboración!

En la Tabla 2 se presenta la grilla de recolección de los datos obtenidos con el instrumento mostrado en la tabla anterior. Aquí se discriminan los cuerpos o variables de la encuesta que involucra sólo a las preguntas cerradas. Cabe destacar que la presentación de la encuesta en el momento de tomarla posee un desarrollo claro, delineados los campos, con espacio suficiente para las respuestas, sin abreviaturas y en consecuencia, sin referencias para su interpretación.

Tabla 2. Grilla de cuerpos de la encuesta en %

Valor / Cuerpos	A	B	C	E	F	G	H	I	J	K	L
Estrate-gias Pedagó-gicas. (I)											
Relaci-ón Comu-nicacio nal (II)											
Estrate-gias de Evalua ción. (III)											
Valida-ción de Biblio. (IV)											
Valida ción de Cali-dad Acadé mica (V)											
Valora-ción Cualita tiva (VI)											
Auto-valo-ración de Condu ctas del Alumn o (VII)											

Referencias de la Tabla 2: Valoración (valor), A: SI, B: NO, C: Medianamente, D: A veces, E: Malo, F: Regular, G: Bueno, H: Muy bueno, I: Excelente, J: No sabe/No contesta.
El formato original de la Tabla 2 es apaisado, po cuanto no aparecen abreviaturas que sólo han sido utilizadas para esta presentación.
En la Tabla 3 se presenta la valoración sugerida de los puntajes, que luego se debe acordar entre los miembros del equipo de trabajo o bien ser establecido por los Consejos Departamentales o el Consejo Académico de la Facultad.

Tabla 3. Valoración de los puntajes

Porcentaje %	Valoración
0 a 29	Malo
30 a 49	Regular
50 a 69	Bueno
70 a 89	Muy bueno
90 a 100	Excelente

Para lograr una interpretación coincidente entre los actores de esta presentación se estima conveniente poner a disposición el glosario donde se define cada cuerpo de la encuesta y otros términos utilizados:

- (I) Didáctica y Estrategias Pedagógicas: grado de aptitud del docente para el desarrollo de los contenidos de la asignatura.
- (II) Relación comunicacional y actitudinal entre docente y alumno: cumplimiento de docente en cuanto a horarios de clases, de consultas, de la planificación, del trato y motivación al alumno)
- (III) Estrategias de Evaluación: actitud del docente para determinar el grado de conocimientos conceptuales, actitudinales y procedimentales del alumno, correspondencia de las evaluaciones con los contenidos definidos con el nivel de los mismos.
- (IV) Validación de la Bibliografía utilizada: Actualidad, cantidad, calidad de los libros, guías de teoría y práctica que recomienda para el seguimiento de la asignatura.
- (V) Validación de la Calidad Académica: actitud del Docente para cumplimentar el desarrollo de temas previstos, grado de conformidad del Alumno con el docente.
- (VI) Valoración Cualitativa del docente: libre manifestación de la opinión del alumno respecto del docente
- (VII) Autovaloración de Conducta del Alumno: estimación de los propios conocimientos y de su perspectiva de la asignatura y del docente.

Calidad: conjunto de características de una entidad que le confieren la aptitud para satisfacer las necesidades establecidas e implícitas.
Producto: resultado de un proceso. En el contexto educativo es la educación y se entiende como la mejora en los conocimientos, las aptitudes intelectuales, competencias, hábitos y actitudes del educando Ref. [3]
Cliente: organización o persona que recibe un producto.
Producto: es el resultado de actividades o procesos.
Organización educativa: conjunto de personas e instalaciones con una disposición de responsabilidades, autoridades y relaciones que provee educación Ref. [4].
Conformidad: cumplimiento de los requisitos especificados.
No conformidad: no satisfacción de un requisito especificado. Ej.: docentes no calificados, insuficiencia de infraestructura y/o de laboratorios y/o de equipamiento.
Eficiencia: uso adecuado de los recursos y del tiempo según metas funciones y metas preestablecidas
Eficacia: habilidad de lograr los resultados esperados.
Efectividad: grado del impacto en el contexto socio-cultural
Excelencia: mejor nivel de desempeño que se puede alcanzar.
Equidad: respuestas dadas a las capacidades y expectativas personales.

En la Tabla 4 se muestra el modelo de recolección de datos de la pregunta abierta y en la tabla 5 la tipificación de las respuestas. El número de la muestra es uno solo para la asignatura, no obstante el de estudiantes que responde para cada jerarquía de profesor o auxiliar docente no necesariamente es el mismo.

Tabla 4. Recolección de datos de de la pregunta abierta

Asignatura	Docente	Cantidad de respuestas
	Titular	
	Adjunto	
	JTP	
	Ayte 1°	

Tabla 5. Tipificación de las respuestas

Nº	Tipos de Respuestas
1	Infraestructura
2	Calidad de los contenidos
3	Objetivos de los trabajos prácticos
4	Actividades prácticas
5	Comunicación intracátedra
6	Material didáctico
7	Tipos de clases
8	Contenidos en referencia a otros
9	Visitas
10	Modalidad de presentación de la Teoría
11	Evaluaciones

En la Tabla 6 se presenta discriminación de los tipos datos dentro de respuesta abierta cuyo responsable es la Institución representada por el Departamento de Enseñanza.

Tabla 6. Tipos de respuesta que responsabilizan al Departamento

Tipos	Cant. de respuestas
Biblioteca del Departamento	
Hora de consulta todas las materias	
Infraestructura y/o Equipamiento	

La muestra que debería ser tomada para evaluar la cátedra de cada asignatura corresponde al 100% de los alumnos que la cursan. No obstante en caso de no lograr este porcentaje se sugiere obtener el máximo posible para asegurar un resultado confiable. En cuanto al procesamiento de datos, todos ellos quedan como información cuantificada, aún los aspectos cualitativos que se han tipificado para este fin, según se observa en las Tablas 5 y 6. Asimismo se ha elaborado un software para recolección de datos que permite la evaluación cuantitativa de los resultados.

2 RESULTADOS

2.2 *Presentación del Informe de Seguimiento*

En la Tabla 7 se muestra resultados obtenidos de la aplicación de este modelo de encuesta a siete docentes titulares de un departamento de enseñanza. Se los denominará a cada uno con una letra para mantener la confidencialidad de la información habida cuenta que es imperativo, para los responsables que realizan las tareas de seguimiento, guardar las normas éticas que merece el tema.

Tabla 7. Informe de Seguimiento

	I	II	III	IV	V	VI	VII
A	56	86	48	60	40	90	47
B	47	48	55	30	42	40	27
C	42	66	55	46	57	43	57
D	35	54	45	40	64	29	43
E	70	72	45	74	75	70	37
F	70	76	63	50	57	10	30
G	74	98	65	90	85	100	53

Donde las letras mayúsculas (A, B, ...) designan diferentes docentes, mientras que los números romanos indican los distintos cuerpos de la encuesta. Asimismo se han tomado valores redondeados a los fines de simplificar la presentación, pero en la práctica se toman decimales. En la Tabla 8 se muestra el resultado obtenido para un docente titular. Las referencias para interpretar las abreviaturas de esta tabla son: Valoración (valor), A: SI, B: NO, C: Medianamente, D: Según el tema, E: Malo, F: Regular, G: Bueno, H: Muy bueno, I: Excelente, J: No sabe/No contesta. Para la interpretación se agrega el número romano que nombra al cuerpo o variable de la encuesta se encuentra definido en el glosario.

Tabla 8. Grilla de Seguimiento para un docente en %

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
I	61	7	-	32	-	-	-	-	-	0
II	81	5	8	5	-	-	-	-	-	1
III	73	0	-	27	-	-	-	-	-	0
IV	81	3	-	14	-	-	-	-	-	2
V	50	23		-	5	5	41	41	9	2
VI	47	20	48	-	5	5	41	41	9	1
VII	35	29		34	-	-	-	-	-	2

Cabe señalar que las variables V y VI no deben cerrar con el cien por ciento como lo hacen las otras.

2.3 *Análisis de los resultados y conclusiones*

La Tabla 7 indica en cada celda los valores porcentuales para cada docente y cuerpo o variable de la encuesta. Se ha cuantificado la respuesta SI con el objetivo de tener una tendencia grupal de cada cuerpo. Con un ejemplo se puede describir una situación: la variable o cuerpo I posee un promedio porcentual de 56% para el docente A. El mismo se puede se valorar como bueno de acuerdo a lo especificado en la Tabla 3. Esto implica que el docente posee grado bueno de aptitud para el desarrollo de los contenidos de la asignatura. Si se agrupa a A, B, C, D el porcentaje es 45%.para el cuerpo I. Su valoración disminuye a regular. No obstante los docentes E, F y G alcanzan la calificación muy bueno, para la misma variable. Esto significa que poseen una mayor habilidad para transferir su saber y en consecuencia obtienen mayor grado de satisfacción del cliente [1] ya que cumplen con sus requerimientos en el grado muy bueno. Se puede agregar a este juicio de valor que el grupo en cuestión posee un muy buen grado de eficacia y efectividad [2] que son componentes de la calidad. Visto desde la gestión académica el primer grupo debería tener alta prioridad para tomar cursos de formación docente, no siendo necesario para el segundo grupo.

La Tabla 8 posee los mismos componentes que la anterior distribuidos en forma distinta pero para sólo un docente. El análisis de ella muestra una tendencia para la variable I de regular a bueno, es decir que no logra una transmisión adecuada de sus conocimientos. En la variable II, relación comunicacional, califica con muy bueno. En la variable III la tendencia es de regular a muy bueno. Esto significa que el grado de aptitud para desarrollar y evaluar los contenidos se encuentran definidos en la franja muy ancha que no permite descubrir con exactitud las posibles falencias en su práctica docente. La acción que corresponde es aplicar una herramienta específica que aporte datos concretos para descubrir la falencia y luego sugerir al docente acciones correctivas. No obstante si se observan las variables V y VI se concluye que los porcentajes obtenidos en los item A, G y H muestran una tendencia altamente favorable del desempeño docente, con lo cual posee un buen grado de eficacia y efectividad. Aún así, desde el punto de vista de la gestión académica este profesor debería tener alta prioridad para tomar cursos de formación docente.

Conclusión final: se ha analizado puntualmente algunos aspectos que brindan ideas de lo que está sucediendo con la práctica docente grupal e individual y que se utilizaría para tomar decisiones que afectan directamente al estudiante en primer lugar y a la institución que pretende acreditar sus carreras. Asimismo el docente es también beneficiario de esta modalidad de evaluación de su práctica, puesto que se perfecciona y aspira a jerarquías superiores en la carrera académica. El objetivo de este pequeño estudio, que como se dijo al principio, es parte de uno mayor, pretende abarcar la mayoría de las variables que brindan una visión más próxima a una integral del asunto. No obstante se considera un pequeñísimo avance en el descubrimiento del funcionamiento del proceso de enseñanza y aprendizaje del estudiante, que es la razón de ser de la universidad. Si ésta se toma como organización, debe cumplir con los requisitos del cliente que es la sociedad de quien se nutre y a quien sirve.

3. REFERENCIAS

[1] NORMA IRAM 30.000, Guía de Interpretación de la IRAM-ISO 9001 para la Educación. Guidelines on the interpretation of IRAM-ISO 9001 for education. IRAM (Ed) 1°, 2001.

[2] B.A:M Ortega, Aproximación a la Evaluación de la Docencia Universitaria, I. Unidad Académica. 1993.

[3] E. Escalante Gómez & A. Caro Martín & L. Barhona Carvajal, Análisis y Tratamiento de Datos en SPSS Universidad de Playa Ancha, Valparaíso, Chile, (Ed) Universidad de Playa Ancha de Ciencias de la Educación Valparaíso. 2002

[4] IRAM-ISO 9000 Normas para la Gestión de la Calidad y Aseguramiento de la Calidad. IRAM (Ed) 1997.

Utilización de plástico recuperado en la conformación de placas de aglomerado de madera.

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

RESUMEN: El crecimiento de la industria de los muebles de oficina ha determinado un aumento de la demanda de placas de aglomerado de madera. Esto ha provocado un aumento notable del impacto ambiental asociado a la producción de estas placas, relacionado con el consumo de madera, y la emisión de compuestos orgánicos volátiles (VOC's), provenientes de los adhesivos, determinando problemas de disponibilidad y costos, que impulsan a la búsqueda de materiales alternativos para su conformación. Esta problemática impulsó la realización del presente trabajo, que tiene el objetivo de encontrar alternativas a los problemas planteados. Se realizó una búsqueda de materiales disponibles como sustituto total o parcial de la madera virgen o de los adhesivos. Se han fabricado muestras de placas conformadas con los nuevos materiales y se ha realizado el ensayo de estas. Los resultados obtenidos hasta el momento han determinado la elección del polipropileno como sustituto parcial de la viruta de madera, teniendo en cuenta la disponibilidad del material y el comportamiento de las placas obtenidas. Se analizó la variación de la calidad de la placa en función de la relación plástico-madera, así como la influencia del tamaño de viruta sobre las características físicas y mecánicas de la placa.

1 INTRODUCCION

El mercado de las placas de aglomerado de madera ha registrado una tendencia creciente en cuanto a la capacidad de producción de las empresas fabricantes y el mercado sudamericano es uno de los más dinámicos de los últimos años Ref. [1]. Este crecimiento determina un problema de disponibilidad de materia prima, ya que el proceso clásico utiliza madera virgen en altas proporciones, lo que a su vez trae aparejado problemas de competitividad debido a su alto costo. Esto motiva que se este procurando encontrar soluciones sustituyendo total o parcialmente la madera virgen por materiales reciclados, que incluyen, generalmente, residuos de la construcción, material de embalajes, viejos muebles y otros materiales similares.

Dicha problemática se ve acompañada del problema ambiental derivado del desprendimiento de compuestos orgánicos volátiles (VOC's) de los solventes utilizados en los adhesivos requeridos para la conformación de las placas aglomeradas. Entre estros compuestos se encuentran el benceno, tolueno y formaldehído.

Se presenta así una situación que requiere la solución de dos problemas ambientales, uno relacionado con los recursos consumidos y otro con las emanaciones contaminantes, que poseen fuertes repercusiones sobre el plano económico. Esta situación ha determinado la realización de este proyecto de desarrollo, donde se busca una alternativa que permita sustituir el uso de madera virgen, ya sea total o parcialmente, y el uso de adhesivo para la obtención de las placas. En publicaciones previas Ref. [2] y Ref. [3], se presentaron los resultados obtenidos durante la

primera fase del proyecto, que tenía como objetivo precisamente la búsqueda de un material reciclado que reemplazase total o parcialmente a la madera virgen y que pudiera ser conformado en placas sin la necesidad de utilizar adhesivos de base solvente.
Entre los materiales considerados entonces se encontró la materia vegetal residual de los procesos agrícolas de la región (sarmientos, carozos de frutas, cáscaras de frutos secos como almendras, nueces y piñas); también fueron considerados plásticos recuperados como el PET, el polietileno y el polipropileno, entre otros. La existencia de mercados alternativos para algunos de estos materiales, que determinaban altos costos para su utilización, o los pobres resultados obtenidos durante los ensayos de conformación de placas, determinó que la elección recayera sobre el polietileno y polipropileno recuperados. Este material brindaba la posibilidad de actuar como adhesivo al producirse la fusión durante el proceso de conformación de las placas, determinando una unión de tipo física por inclusión de la viruta de madera en el seno del plástico fundido, y no por vinculación molecular. De este modo se eliminaba el problema de las emisiones de VOC´s.
En el presente trabajo se reportan los resultados obtenidos a partir de modificaciones en la metodología de trabajo al utilizar diferentes proporciones de madera y plástico en la conformación de las placas, trabajando con un mismo tipo de plástico y estudiando la influencia del tamaño de viruta de madera.

2 METODOLOGIA DE TRABAJO

La metodología de trabajo adoptada incluyó las siguientes etapas:

2.1 Preparación de los materiales
2.2 Fabricación de las placas
2.3 Realización de pruebas de comportamiento
2.4 Análisis de los resultados

2.1 *Preparación de los materiales*

De acuerdo a los resultados obtenidos en experiencias anteriores, los materiales plásticos utilizados, polietileno y polipropileno, se encuentran disponibles en dos modos: como pellets, que tienen la ventaja de presentar un bajo volumen específico pero un costo elevado, o como plástico triturado, que ocupa un volumen mucho mayor, lo que dificulta el llenado del molde, pero su costo es inferior. En cuanto al tamaño de la viruta de madera se observó que en los ensayos realizados utilizando viruta fina, se depositaba parte de ella en el fondo del molde (Fig. 1), por lo que era difícil lograr la homogeneización de la mezcla, problema que no se presentaba al trabajar con viruta gruesa.

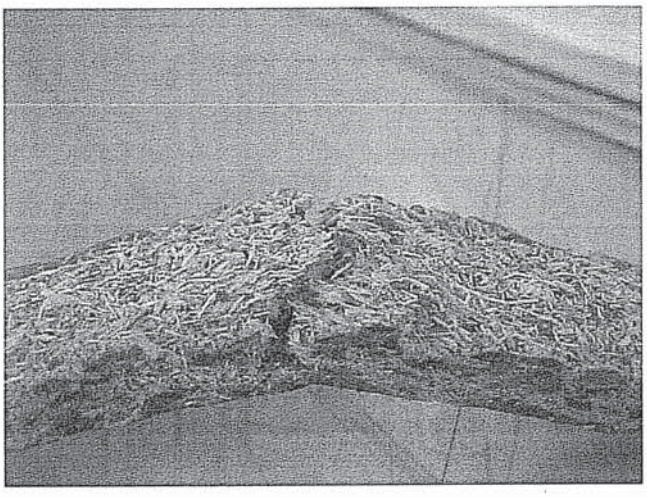


Figura 1. Sedimentación de viruta fina

A partir de estos resultados se decidió utilizar polipropileno triturado (film molido), y madera en forma de viruta gruesa para la presente experiencia, a fin de estudiar la influencia de la proporción de plástico-viruta utilizada en la composición de las placas sobre la resistencia a la flexión.

2.2 *Fabricación de las placas*

Los materiales se mezclan de modo de obtener una masa homogénea antes de ingresarla al molde. Este se reviste con papel aluminio como elemento antiadherente. En cuanto al procedimiento de llenado del molde, este se realiza en una etapa, lo que constituye un importante diferencia respecto al llenado por etapas realizado en la experiencia inicial. Incorporada la totalidad del material se procede al horneado hasta alcanzar la temperatura fijada, de aproximadamente 150 °C. La masa obtenida es trasladada en el molde a la prensa, donde se le aplica una fuerza a velocidad aproximadamente constante hasta alcanzar el valor de 6 toneladas. La placa obtenida se deja enfriar y luego es desmoldada. Las experiencias se llevaron a cabo a escala piloto en el laboratorio de Ing. Civil de la UTN-FRM, utilizando

una prensa de ensayos y un horno eléctrico. Se fabricaron seis placas, en las Tablas N° I y II se brindan detalles sobre la composición de las mismas, los parámetros de fabricación utilizados, y las dimensiones y características físicas principales de las placas resultantes. La placa 13 fue fabricada precalentando el molde durante una hora; posteriormente se colocó en el mismo la mezcla y permaneció en el horno durante 3 horas sin la tapa. El resto de las placas permanecieron en el horno durante 4 hs sin precalentamiento.

Tabla 1. Proporciones y dimensiones

PLACA	PROPORCION		DIMENSIONES MEDIAS: cm.		
	pp	vg	Largo	ancho	alto
13	70	30	14.5	13.2	1.25
14	70	30	14.94	13.92	0.83
15	40	60	14.92	13.96	0.7
16	60	40	14.92	13.91	0.69
17	20	80	14.02	13.96	1.01
18	80	20	14.83	13.83	0.6

Tabla 2. Parámetros

PLACA	Th °C	Tih hs	F tn	Tip seg.	Densidad Kg/dm3
13	150	3	6	40	0.579
14	140	4	6	40	0.852
15	148	4	6	30	0.625
16	150	4	6	30	0.659
17	146	4	6	30	0.434
18	148	4	6	30	0.755

Símbolos:
Th: temperatura media del horno
Tih: tiempo medio de horneado
F: fuerza aplicada
Tip: tiempo medio de prensado
PP: polipropileno
VG: viruta gruesa

2.3 *Realización de ensayos de flexión*

Para la determinación de la resistencia de las placas, se desarrollaron experiencias siguiendo los procedimientos tradicionales de ensayo de materiales Ref. [4], en el Laboratorio del Ingeniería Civil de la UTN- FRM. Se utilizó como dispositivo de ensayo una máquina universal de ensayo "Mohr & Federhaft", que permite realizar ensayos de compresión, tracción, flexión, corte y dureza. Se describen a continuación los ensayos correspondientes a la resistencia a la flexión, que se realizaron en dicha máquina.

Al cortar las probetas para realizar este ensayo, en algunos casos se desprendió material y se obtuvo bordes muy irregulares, debido a lo cual varias fueron desechadas y no fueron ensayadas (Fig. 2 y 3).



Figura 2. Placa defectuosa

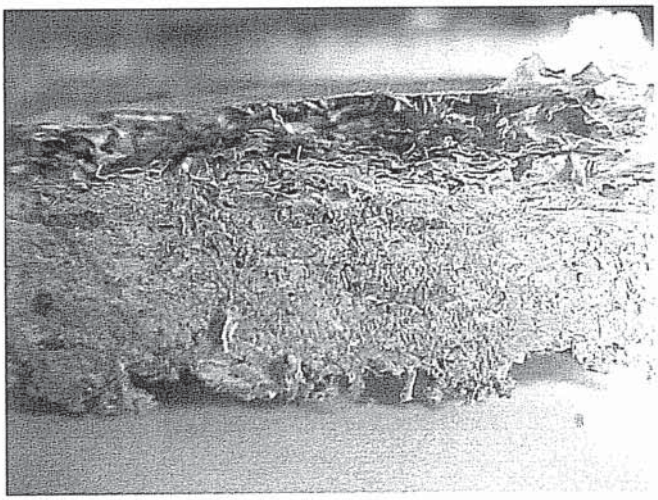


Figura 3. Placa defectuosa

Las dimensiones de las probetas y los resultados obtenidos del ensayo de flexión se resumen en las Tablas III y IV.

Tabla 3. Probetas y dimensiones

PROBETA	DIMENSIONES MEDIAS		
	LARGO	ANCHO	ALTO
13-2	12.87	2.27	1.17
13-3	13.26	2.21	1.22
13-4	13.26	2.3	1.24
13-5	13.26	2.16	1.29
14-1	14.93	1.06	0.79
14-2	14.91	1.39	0.79
14-3	14.92	1.17	0.79
14-4	14.83	1.2	0.83
14-5	14.84	1.06	0.81
14-6	14.81	0.79	0.8
14-7	14.82	1.12	0.86
14-8	14.82	1.17	0.8
14-9	14.74	1.34	0.78
16-6	14.8	1.13	0.68
16-7	14.8	1.24	0.67
18-1	14.73	0.97	0.57
18-2	14.7	0.95	0.51
18-3	14.73	0.75	0.54
18-4	14.83	1.81	0.65
18-5	14.81	0.99	0.62
18-6	14.74	1.01	0.57
18-7	14.82	0.82	0.59
18-8	14.81	0.84	0.6

Tabla 4. Cargas de trabajo

PROBETA	CARGA Kg.	TENSION $\sigma=3Pl/2bh^2$
13-2	15	72.408
13-3	18	82.082
13-4	26	110.279
13-5	18	75.115
14-1	13	294.785
14-2	9	155.620
14-3	8	164.339
14-4	8	145.155
14-5	8	172.538
14-6	10	296.677
14-7	8	144.858
14-8	8	160.256
14-9	8	147.185
16-6	4	114.833
16-7	4	107.797
18-1	No registrada	

2.4 Análisis de los resultados

La placa N° 13 presenta la cara superior con apariencia de quemado y con muchas irregularidades. Las probetas 13-2 y 13-3, pertenecientes a esta placa, fueron ensayadas sobre la cara superior de prensado, en tanto las probetas 13-4 y 13-5 sobre la cara inferior. De los resultados obtenidos sobre esta placa se encuentran valores de resistencia a la flexión más elevados comparándolo con el resto de las placas. Los factores diferentes que pueden influir sobre este comportamiento, además de la relación plástico-viruta, son un mayor espesor y el precalentado del molde.

La placa 14 fue la que mostró mejor apariencia externa e interna al cortar las probetas. Las probetas 14-1, 14-2, 14-3, 14-4 y 14-5 se ensayaron con la cara superior de prensado hacia arriba y las probetas 14-6, 14-7, 14-8 y 14-9 se ensayaron con la cara superior de prensado hacia abajo. Se observaron valores similares de resistencia a la flexión.

Se determinó que el inicio de las roturas internas de las probetas coincidió con el momento en que los extremos de estas, tocaban el plato superior de la máquina de ensayo, lo cual provocó que la medición de la carga fuera imprecisa.

Se advirtió al cortar la placa 16, que las probetas presentaban baja adhesión plástico-madera, las cuales se desarmaban al simple contacto. Sólo pudieron ser ensayadas la probeta 16-6 con la cara inferior hacia arriba y la 16-7 con la cara superior hacia arriba. Estás se rompieron bajo la acción de una fuerza inferior a la de escala mínima de la máquina.

La placa 18 mostró una excelente cohesión plástico-madera, externamente se observó un plastificado de la misma, aunque fue la que presentó el menor espesor. Hasta el momento se ensayó sólo la probeta 18-1, la cual se rompió bajo una fuerza inferior a la mínima mensurable por la sensibilidad de la máquina, por lo que no se ha podido registrar este valor, ni ensayar el resto de las probetas.

Los valores obtenidos en esta experiencia se muestran en el Figura I.

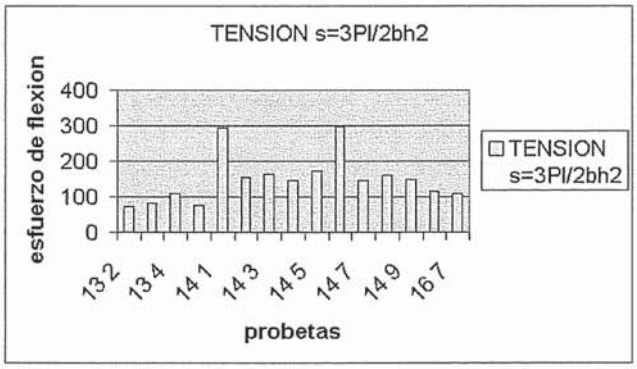


Fig. I: esfuerzo de flexión de placas 13, 14 y 16

En el Figura II se muestran los valores de resistencia a la flexión obtenidos de una placa de similares características de fabricación a las de las placas 13 y 14.

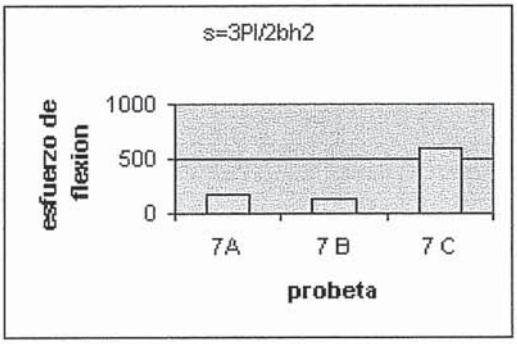


Figura II: esfuerzo de flexión de placa 7

3 CONCLUSIONES

Aunque todas las placas fueron fabricadas utilizando viruta de madera gruesa, se observó sedimentación de viruta en todos los casos (Figuras 3, 4, 5, 6 y 7). Esto obedece a una falta de homogeneidad en el tamaño de la llamada viruta gruesa.

Las irregularidades en los bordes de las placas han sido vinculadas al elemento antiadherente utilizado, el cual al colocar la tapa sobre el molde tiende a arrugarse e incrustarse en la masa de la mezcla produciendo las irregularidades antes mencionadas cuando se realiza el desmolde (Figuras 8 y 9).

Las placas 14, 16 y 18, fueron fabricadas manteniendo el tiempo de permanencia en el horno, la temperatura y sometiéndolas a la misma presión, siendo la relación plástico-madera la única variable. La determinación del espesor final que adquirirá la placa tras la fusión del plástico no puede ser determinado a priori, y el espesor obtenido en cada placa luego de ser sometidas al calentamiento y prensado, es diferente.

En base a la experiencia alcanzada, en las próximas experiencias se intentará conformar placas de espesor constante aunque con diferente proporción plástico-viruta, y se normalizarán y confrontarán los resultados de los ensayos de flexión. Estos resultados serán complementados con el ensayo de absorción de humedad.

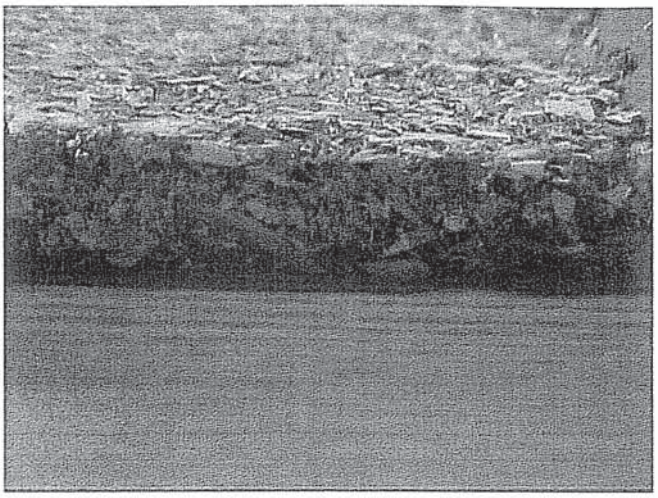


Figura 4. Placa con sedimentación

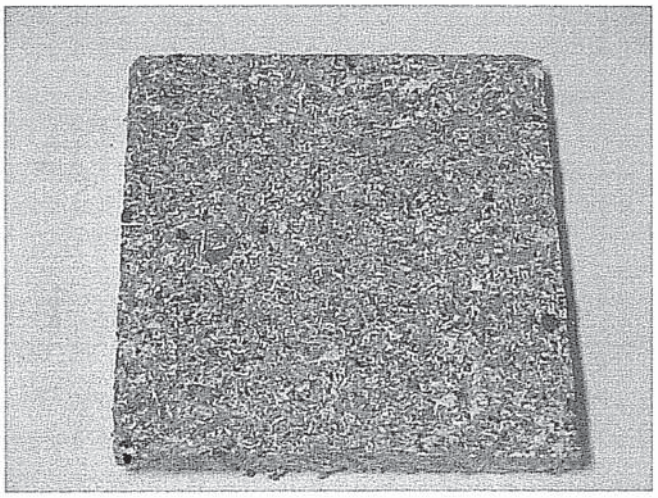


Figura 5. Placa con sedimentación



Figura 6. Placa con sedimentación.



Figura 7. Placa con sedimentación

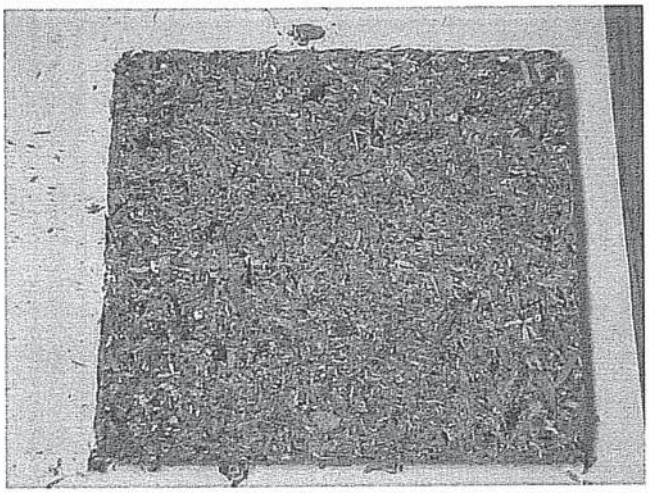


Figura 8. Placa con sedimentación



Figura 9. Incrustación del papel aluminio



Figura 10. Incrustación del papel aluminio

4 REFERENCIAS

[1] J Wadsworth, World wood-based panel industries. Panelboard Highlights. Metso Panelboard Customer Magazine 1, 2003.

[2]A. Rivarola, L. Rojo, M. Gardey Arena, .P. Arena. Uso de materiales recuperados para la conformación de placas de aglomerado utilizados en la industria del mueble. Revista Avances en Energías Renovables y Ambiente, Volumen 9. INENCO, Salta, 2005.

[3] A. Rivarola, L. Rojo, M. Gardey Arena, .P. Arena. Materiales alternativos para la fabricación de placas de aglomerado. Reciclado de residuos de construcción y demolición (RCD) y de residuos de procesos (RP) PROCQMA - Universidad Tecnológica Nacional, ISBN 950-42-0056-7, 2006.

[4] A. González Arias, Laboratorio de Ensayos Industriales, 1° edición, parte II, cap. 15 y 16. Ediciones Litenia, Buenos Aires, 1982.

Formulación de matrices de masas concentradas para análisis dinámico de estructuras de materiales compuestos

R. Zaradnik, S. Raichman & A. Mirasso
raulzar@hotmail.com , sraichman@uncu.edu.ar & aemirasso@uncu.edu.ar
Maestría en Ingeniería Estructural, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo

RESUMEN: Todo análisis dinámico de estructuras con modelos computacionales necesita la definición de la matriz de masas, la que puede determinarse en base a formulaciones variacionales para lograr la llamada matriz de masas consistentes o por medio de la construcción de las denominadas matrices de masas concentradas. La ventaja de las matrices de masas concentradas radica en la simplicidad de las operaciones matriciales donde las mismas intervienen, especialmente, en los métodos para determinar frecuencias propias del sistema o bien en la integración temporal de las ecuaciones de equilibrio dinámico. En este trabajo se presenta una propuesta para la determinación de las matrices de masas consistentes y concentradas para elementos finitos cuadráticos de ocho nodos empleados en el análisis dinámico de estructuras laminares de material compuesto. Se proponen funciones de forma elementales para la obtención de matrices de masa concentradas y se demuestran las propiedades de simetría y conservación de las mismas. Finalmente se aplica la formulación propuesta en problemas de oscilaciones libres, para casos estructurales de materiales homogèneos y de materiales compuestos, comparando los resultados con aquellos disponibles en la literatura.

1 INTRODUCCIÓN.

El empleo de materiales compuesto es cada vez más difundido en la práctica de la Ingeniería. Desde las estructuras de maderas laminadas hasta los álabes de turbinas eólicas de carbono epoxi, pueden requerir el análisis dinámico estructural, que suele realizarse utilizando el Método de los Elementos Finitos [1]. Para ello es necesario formular y evaluar las llamadas matrices de masas, que pueden ser consistentes o concentradas. En el primer caso las matrices elementales resultan con componentes no nulas; mientras que en el segundo son matrices diagonales. Para el análisis dinámico, tanto en el problema de oscilación libre como en el de integración temporal de las ecuaciones de movimiento, las matrices de masas concentradas son sumamente ventajosas desde el punto de vista de las exigencias computacionales.

Hinton y Owen [2] han desarrollado un elemento de cáscara de tipo degenerado a partir de un elemento de sólido tridimensional, y lo han probado para análisis estático lineal y no lineal, aunque no para análisis dinámico. En el análisis dinámico suele ser necesaria la diagonalización de las matrices de masas. Dado que las técnicas de diagonalización HRZ y Lobatto [3] no siempre conducen a matrices de masas definidas positivas, las formulaciones para matrices de masas concentradas requieren especial atención.

En este trabajo se presenta la propuesta de formulación de matrices de masas consistentes y concentradas, a partir del elemento de cáscara desarrollado por Hinton y Owen [2]. Para el caso de matrices de masas concentradas se proponen funciones de forma elementales y se prueban las

propiedades de simetría y conservación que se deben cumplir. Se muestran resultados al aplicar estas formulaciones en la solución de problemas de oscilaciones libres de estructuras de material homogèneo y de material compuesto, comparando con soluciones disponibles en la literatura.

2 MATRICES DE MASAS.

En el análisis dinámico de estructuras mediante el Método de Elementos Finitos, se obtienen las matrices de masas mediante [3]:

$$\left[M_{ij}\right] = \int_V \left[N_i\right]^T * \rho * \left[N_j\right] * dV \qquad (1)$$

Siendo las N_i y N_j las funciones de forma elementales adoptadas; ρ la densidad del material y V el volumen del elemento.

Cuando se interpolan las velocidades de la misma forma en que se interpolan los desplazamientos se trata de una formulación que conduce a matrices de masas Consistentes que en general son matrices con componentes no nulas. Por el contrario, cuando se eligen funciones de forma especiales es posible definir matrices de masas diagonales, llamadas matrices de masas concentradas.

En ambos casos, las matrices deben verificar las siguientes propiedades: simetría numérica; simetría física; conservación de la cantidad de movimiento y positividad [3].

2.1. Matrices de Masa Consistentes.

Se ha implementado la obtención de matrices consistentes con las mismas funcione con que se interpolan desplazamientos. Esto es según [2]:

$$\begin{Bmatrix} u \\ v \\ w \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} N_i & 0 & 0 & N_i\left(v_{1xi}\varsigma\frac{h}{2}\right) & -N_i\left(v_{2xi}\varsigma\frac{h}{2}\right) \\ 0 & N_i & 0 & N_i\left(v_{1yi}\varsigma\frac{h}{2}\right) & -N_i\left(v_{2yi}\varsigma\frac{h}{2}\right) \\ 0 & 0 & N_i & N_i\left(v_{1zi}\varsigma\frac{h}{2}\right) & -N_i\left(v_{2zi}\varsigma\frac{h}{2}\right) \end{bmatrix} * \begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \\ w_i \\ \beta_{1i} \\ \beta_{2i} \end{Bmatrix} \qquad (2)$$

Siendo N_i las funciones del elemento cuadrilátero de 8 nodos [2]. La obtención práctica de una matriz de masas consistente siempre concluye en el ensamblaje matricial a partir de las matrices de masas consistentes elementales, las cuales se calculan por integración numérica a partir de la ecuación (1), mediante una expresión del tipo:

$$\left[M_{ij}\right] = \sum_{k=1}^{N-capas}\left(\rho\frac{h}{2}\Delta\varsigma\right) * \sum_{i=1}^{N_Gaus}\left[\sum_{j=1}^{N_Gaus}\left(\chi_{ij} ** \left[N_i\right]^T * \left[N_j\right] * \left|J_B\right|\right)\right] \qquad (3)$$

donde:

N_i: función de forma del nodo "i"

N_j: función de forma del nodo "j"

ρ: densidad del material de la capa "k"

$h/2$: semiespesor de la placa, o distancia del plano medio a cualquier borde

$|J_B|$: determinante del Jacobiano de la transformación de coordenadas.

χ_{ij} : coeficiente de peso de la integración numérica.

2.2. Matrices de Masa Concentradas.

Para calcular una matriz de masa concentrada, deben determinarse las masas traslacionales y las inercias rotacionales asociadas a cada nodo, despreciando cualquier vinculación o interacción entre los diversos nodos de un mismo elemento.

Para la determinación de la masa traslacional se plantea:

$$m_i = \int_M dm = \int_V \rho * N_i * dV \qquad (4)$$

La masa concentrada del nodo "k" resulta de utilizar integración numérica en la ecuación (4),

$$m_k = \sum_{l=1}^{N-capas} \rho_l \frac{h}{2}\Delta\varsigma_l * |J| * \sum_{i=1}^{N_Gaus}\left[\sum_{j=1}^{N_Gaus} \chi_{ij} * N_k\big|_{ij}\right] \qquad (5)$$

donde:

χ_{ij} : es el coeficiente de peso para el punto de Gauss correspondiente a "ij", y

$N_k\big|_{ij}$: es el valor de la función de forma N_k evaluada en el punto de Gauss correspondiente a "ij".

Para el planteo de las inercias rotacionales, se recurre a la expresión general:

$$J_{Pi} = \int_M r^2 * dm \qquad (6)$$

Considerando que la distancia genérica está relacionada con el grado de libertad de rotación, se concluye en que las expresiones para las inercias rotacionales resultan:

$$J_{Pk}\big|_{\beta_1} = \sum_{l=1}^{N_capas} \Delta h_l * \rho_l * |J| * \left\{\sum_{i=1}^{N_Gaus}\left\{\sum_{j=1}^{N_Gaus}\left\{\chi_{ij} * \left[\left(\Delta\xi_{ij}\right)^2 + h_l^2\right] * N_k\big|_{ij}\right\}\right\}\right\} \qquad (7)$$

$$J_{Pk}\big|_{\beta_2} = \sum_{l=1}^{N_capas} \Delta h_l * \rho_l * |J| * \left\{\sum_{i=1}^{N_Gaus}\left\{\sum_{j=1}^{N_Gaus}\left\{\chi_{ij} * \left[\left(\Delta\eta_{ij}\right)^2 + h_l^2\right] * N_k\big|_{ij}\right\}\right\}\right\} \qquad (8)$$

La obtención de una matriz de masa concentrada utilizando las funciones de forma para el elemento cuadrilátero de ocho nodos [2] y que son usadas en la interpolación (2), conducen a una distribución de masas con términos negativos.

Para evitarlo, es posible emplear nuevas funciones de forma obtenidas a partir de las funciones de

forma para el elemento cuadrilátero multiplicadas por una función exponencial de adaptación. Se proponen funciones de forma diferentes para los nodos de esquina que para los nodos de mitad de lado. Considerando que, dentro del conjunto de las funciones de segundo grado originales para el elemento cuadrático de ocho nodos, existen ciertas funciones de forma con valores negativos, que son las propias de los nodos vértices, se propone su reemplazo por las funciones de forma de elementos de cuatro nodos, en tanto que para los nodos ubicados en los puntos medios de los lados del elemento finito se mantienen las funciones de segundo grado, al tiempo que todas las funciones se multiplican por la función exponencial de adaptación.

2.2.1. Función especial exponencial de adaptación:

Se propone una función de adaptación de forma exponencial, tal como:

$$F_{adap} = \Psi(\xi,\eta) = e^{-\alpha*\left(1-\xi^2\right)}{}_{*}e^{-\beta*\left(1-\eta^2\right)} \quad (9)$$

La suma de las funciones de forma elegidas debe ser unitaria en cualquier punto, para cumplir con el requisito de convergencia del Método de Elementos Finitos [1]. Resulta así que:

$$\alpha = \beta = \frac{\ln\left(3-\xi^2-\eta^2\right)}{2-\xi^2-\eta^2} \quad (10)$$

2.2.2. Función de forma para los nodos vértices:

Son las funciones de forma básicas propias de un elemento de cuatro nodos multiplicadas por la función exponencial de adaptación:

$$\bar{N}_i = \frac{1}{4}*\left(1+\xi*\xi_i\right)*\left(1+\eta*\eta_i\right)*\Psi(\xi,\eta) \quad (11)$$

La notación $\bar{N}_i$ indica que se trata de un función de forma adaptada.

2.2.3. Función de forma para los nodos laterales centrales.

Son las funciones de forma básicas propias de un elemento de ocho nodos, multiplicadas por la función exponencial de adaptación:

$$N_i = \left[\frac{\xi_i^2}{2}*\left(1+\xi*\xi_i\right)*\left(1-\eta^2\right)+\frac{\eta_i^2}{2}*\left(1+\eta*\eta_i\right)*\left(1-\xi^2\right)\right]*\Psi(\xi,\eta) \quad (12)$$

3 ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES DE LAS MATRICES DE MASAS CONCENTRADAS.

3.1. Verificación de las propiedades en las matrices de masas elementales concentradas

Al ser la matriz de masas concentradas una matriz diagonal, cumple automáticamente con la condición de simetría numérica.

Para verificar la simetría física es necesario analizar las funciones de forma, ya que es el único parámetro capaz de introducir asimetrías. Las funciones de forma para los nodos vértices (impares) son:

$$\bar{N}_i = \frac{1}{4}*\left(1+\xi*\xi_i\right)*\left(1+\eta*\eta_i\right)*\Psi(\xi,\eta) \quad (13)$$

En este caso pueden tomarse los nodos 1 y 3, cuyas funciones de forma son respectivamente:

$$\bar{N}_1 = \frac{1}{4}*(1-\xi)*(1-\eta)*\Psi(\xi,\eta) \quad (14)$$

$$\bar{N}_3 = \frac{1}{4}*(1+\xi)*(1-\eta)*\Psi(\xi,\eta) \quad (15)$$

Estas expresiones son diferentes porque están referidas a un mismo sistema de referencia. Para mostrar que ambas funciones son semejantes si se las independiza del sistema de coordenadas, basta inducir una rotación de 90°:

$$\begin{aligned} &\xi \rightarrow \eta \\ &\eta \rightarrow -\xi \\ &-\xi \rightarrow -\eta \\ &-\eta \rightarrow \xi \end{aligned} \quad (16)$$

expresiones que llevadas a la ecuación (14), la transforman en la ecuación (15) según:

$$\bar{N}_1 = \frac{1}{4}*(1-\xi)*(1-\eta)*\Psi(\xi,\eta) \rightarrow \quad (17)$$

$$\rightarrow \frac{1}{4}*(1-\eta)*(1+\xi)*\Psi(\xi,\eta) = \bar{N}_3$$

y esta conclusión es extensible a cualquier pareja de nodos vértices. Se habrá notado que la función de adaptación no ha cambiado, ya que: $\Psi(\xi,\eta)$, es una función cuadrática de las coordenadas, lo que significa que es simétrica respecto al origen de coordenadas, aspecto que asegura la simetría material y numérica.

Las funciones de forma para los nodos laterales centrales (pares) son:

$$N_i = \left[\frac{\xi_i^2}{2}*\left(1+\xi*\xi_i\right)*\left(1-\eta^2\right)+\frac{\eta_i^2}{2}*\left(1+\eta*\eta_i\right)*\left(1-\xi^2\right)\right]*\Psi(\xi,\eta) \quad (18)$$

Y ahora pueden tomarse los nodos 2 y 4 para quienes:

$$\bar{N}_2 = \left[\frac{1}{2} * (1-\eta)\right] * \Psi(\xi,\eta) \tag{19}$$

$$\bar{N}_4 = \left[\frac{1}{2} * (1+\xi)\right] * \Psi(\xi,\eta) \tag{20}$$

y resulta evidente que, al aplicar la rotación definida por la ecuación (16), se concluye que:

$$\bar{N}_2 = \left[\frac{1}{2} * (1-\eta)\right] * \Psi(\xi,\eta) \rightarrow \tag{23}$$

$$\rightarrow \left[\frac{1}{2} * (1+\xi)\right] * \Psi(\xi,\eta) = \bar{N}_4$$

es decir el nodo 2 se convierte en el 4.

En síntesis, si el elemento real es simétrico, las funciones de forma elegidas aseguran que la matriz de masas muestre esa simetría, cumpliéndose entonces la propiedad de simetría física.

La conservación de la cantidad de movimiento o materia, establece la condición:

$$\sum_{i=1}^{8} M_{ix} = \sum_{i=1}^{8} M_{iy} = \sum_{i=1}^{8} M_{iz} = M_{elemento} \tag{24}$$

La determinación de la masa traslacional se realiza mediante (4), y sumando las masas aportadas por cada nodo en una misma dirección, se puede escribir:

$$\sum_{i=1}^{8} m_i = \sum_{i=1}^{8} \int_V \rho * \bar{N}_i * dV =$$

$$= \int_V \sum_{i=1}^{8} \rho * \bar{N}_i * dV = \int_V \rho * \sum_{i=1}^{8} \bar{N}_i * dV = \tag{25}$$

$$= \rho * V = M_{total}$$

Debe notarse que $\sum_{i=1}^{8} \bar{N}_i = 1$, que es la condición básica para la elección de las funciones de forma.

Para el análisis de la positividad se deben estudiar los autovalores de la matriz de masa. Al ser ésta una matriz diagonal, el análisis de la positividad de las matrices de masa concentradas se reduce al cumplimiento de la positividad de cada uno de sus términos.

Nuevamente, el único componente de las expresiones individuales que pudiera introducir un signo negativo en la definición de las masas, es la función de forma asociada.

Para los nodos vértices:

$$\bar{N}_i = \frac{1}{4} * (1+\xi * \xi_i) * (1+\eta * \eta_i) * \Psi(\xi,\eta) \tag{26}$$

Siendo la función de adaptación $\Psi(\xi,\eta) > 0$ y tomando un vértice cualquiera, por ejemplo el 1, se puede escribir:

$$\bar{N}_1 = \frac{1}{4} * (1-\xi) * (1-\eta) * \Psi(\xi,\eta) \tag{27}$$

la que sólo es negativa cuando $(1-\xi) * (1-\eta) < 0$, es decir cuando $\xi > 1$ ó $\eta > 1$, valores que no pueden ser adoptados porque salen del ámbito de definición.

Si ahora analizamos el signo de las funciones de forma para nodos laterales centrales, se parte de:

$$N_i = \left[\frac{\xi_i^2}{2} * (1+\xi * \xi_i) * (1-\eta^2) + \frac{\eta_i^2}{2} * (1+\eta * \eta_i) * (1-\xi^2)\right] * \Psi(\xi,\eta) \tag{28}$$

que particularizada para un nodo, digamos el 2, se puede escribir como:

$$N_2 = \left[\frac{1}{2} * (1-\eta)\right] * \Psi(\xi,\eta) \tag{29}$$

la que sólo es negativa cuando $(1-\eta) < 0$, es decir cuando $\eta > 1$, valores que no pueden ser adoptados porque salen del ámbito de definición.

Es decir que la matriz de masa concentrada propuesta cumple con las propiedades de simetría numérica; simetría física; conservación de la cantidad de movimiento y positividad [3].

4 EJEMPLOS DE APLICACIÓN

Se busca comparar la respuesta obtenida en la determinación de frecuencias naturales utilizando las matrices de masa propuestas tanto para materiales homogeneos como para materiales laminados.

Para la matriz de rigidez y el mapeo geométrico se han empleado las funciones de forma del elemento cuadrilátero de 8 nodos [2], con que se interpolan los desplazamientos (2). Estas mismas se han utilizado para la obtención de matrices de masas consistentes, en tanto que para las matrices de masas concentradas se han usado las funciones dadas en (11) y (12).

4.1. Viga biempotrada

Se considera una viga biempotrada de longitud *l=2,0m*; ancho *b=0,5m* y espesor *t=0,10m*. El material homogéneo posee un módulo de deformación longitudinal *E=300 MPa* y una densidad ρ*=8750 kg/m*^{3}. Una solución analítica se tiene en [4] y las distintas frecuencias f_i se obtinen como:

$$f_i = \frac{k_i^2}{2*\pi} * \sqrt{\frac{EJ}{\rho * A}}$$

Siendo k_i las raíces de la ecuación trascendente $sen(k*l)*cosh(k*l)-1=0$; J es el momento de inercia, y A es el área de la sección transversal. En la Tabla 1 se comparan los períodos de la solución analítica y los obtenidos con la formulación propuesta. En las Figuras 1 y 2 se muestran los modos correspondientes.

Tabla 1. Resultados de períodos en segundos del ejemplo de viga biempotrada.

Modo	Solución Analítica [2]	Masa Consistente	Masa Concentrada
1	0.2101	0.2195	0.2177
2	0.076	0.0795	0.1193

Se observa que los períodos asociados con el primer modo de flexión tienen muy buena precisión respecto de la solución analítica tanto para masas consistentes como concentradas. En el segundo modo, la solución obtenida con masas concentradas es algo más flexible que la solución analítica.

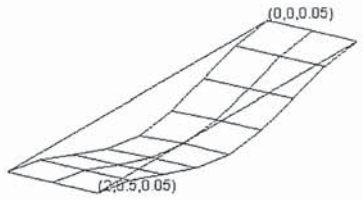


Figura 1. Modo 1: T=0.2195seg

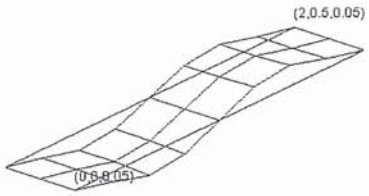


Figura 2. Modo 2: T=0.0795seg

4.2. Placa cuadrada.

En este ejemplo se considera una placa cuadrada de lado $L=0.5m$, espesor $h= 0.01m$, empotrada en uno de sus bordes y libre en los demás. El material es aluminio homogéneo con módulo de elasticidad $E=7.10E+9$ Pa, coeficiente de Poisson $\nu=0.3$, y densidad $\rho=2730\ kg/m^3$. Se ha analizado en forma completa por medio de dos modelos con el objeto de verificar el grado de aproximación en la determinación de las formas modales con pocos elementos. El Modelo 1 tiene un solo elemento y se compara con la solución teórica correspondiente a una viga empotrada libre en flexión con una masa concentrada en su extremo libre. Por el contrario, el Modelo 2 se trata de una discretización de 12 elementos y se compara con la solución analítica de una placa.

4.2.1. *Modelo 1. Concentración de masas y rigidez.*

Al considerar que toda la masa de la placa se encuentra concentrada en el extremo libre, y que la rigidez se determina como si fuera una viga, se tiene para el primer modo de vibración:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{3EJ}{mL^3}} = \sqrt{\frac{3*7.1*10^9*4.166*10^{-8}}{6.825*0.5^3}} = 32.254\frac{rad}{s}$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 0.195s$$

En la Tabla 2 se presentan los resultados numéricos obtenidos con un solo elemento, considerando masas consistentes y concentradas. Los resultados numéricos difieren de la solución analítica ya que parte de la masa está asociada a grados de libertad que están restringidos, mientras que la solución analítica se obtuvo considerando que toda la masa está en el extremo libre.

Tabla 2. Resultados de periodos en segundos de la placa cuadrada. Modelo 1

Modo	Solución Analítica [2]	Masa Consistente	Masa Concentrada
1	0.195	0.1158	0.1169

4.2.2. *Modelo 2. Considerando masas y rigidez distribuidas.*

La frecuencia de una placa empotrada en uno de sus bordes y libre en el resto está dada en [4] por:

$$f_{ij} = \frac{\lambda_{ij}^2}{2\pi * L^2} * \sqrt{\frac{E*h^3}{12*\rho*h*(1-\nu^2)}}$$

Resultando el primer período T_1=0.0922 seg para $(\lambda_{11})^2$=3.492.

En la Tabla 2 se comparan los períodos de las soluciones numéricas con matrices de masas consistentes y concentradas con las analíticas obtenidas. En las Figuras 3 y 4 se presentan los modos obtenidos. Se puede observar que la utilización de matrices de masas consistentes da resultados ligeramente más rígidos que los obtenidos con matrices de masas concentradas.

Tabla 3. Resultados de periodos en segundos de la placa cuadrada. Modelo 2

Modo	Solución Analítica [2]	Masas Consistentes	Masas Concentradas
1	0.0922	0.1025	0.0964
2		0.0404	0.0412

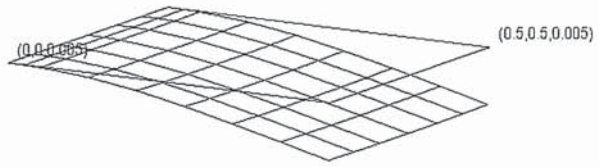


Figura 3 Modelo 2. Modo 1: T=0.1025seg



Figura 4 Modelo 2. Modo2: T=0.0404seg

4.3. Placa ortótropa de material compuesto empotrada en uno de sus lados.

Ahora se considera una placa ortótropa de grafito y epoxi que ha sido analizada en [5], cuyas propiedades se presentan en la tabla 4. En la Ref. [5] se resumen los resultados de las frecuencias naturales para los primeros nueve modos obtenidos por cinco investigadores, considerando o no el acoplamiento entre flexión y torsión.

Tabla 4. Propiedades del grafito epoxi para la placa de sección rectangular (Ref. [5]).

Propiedad	Valor
E_{11}	129.1 GPa
E_{22}	9.408 GPa
G_{23}	2.541 GPa
G_{13}	4.304 GPa
G_{12}	5.157 GPa
Angulo θ	15° (0.2618 rad)
Coef. De Poissón	0.30
Densidad	1551 kg/m^3

En las Tabla 5 se presentan los resultados obtenidos en el presente trabajo con un modelo de doce elementos. Además se indican los errores relativos de éstos respecto del valor promedio de las frecuencias de cada modo obtenidas por cinco investigadores, considerando o no el acoplamiento entre flexión y torsión [5].

Los errores relativos de los resultados obtenidos varían desde el -16.9% al +23.9%. Los mayores errores relativos se dan en los modos altos de torsión. En la Figuras 5 a 7 se grafican los tres primeros modos naturales de vibración.

Tabla 5. Frecuencias naturales en Hz para la placa de grafito epoxi.

	Masa Consistente		Masa Concentrada	
Modo	Frec (Hz)	Error	Frec (Hz)	Error
1	86.8	6.2%	92.2	12.8%
2	270.6	-16.9%	286.5	-12.0%
3	488.4	-3.8%	488.6	-3.8%
4	1400.7	-0.2%	1301.9	-7.2%
5	1452.7	-7.8%	1451.5	-7.9%
6	1862.2	-6.5%	1862.1	-6.5%
7	3259.0	18.0%	3421.8	23.9%
8	4342.6	-0.5%	4185.8	-4.1%
9	5027.1	4.1%	4711.0	-2.4%

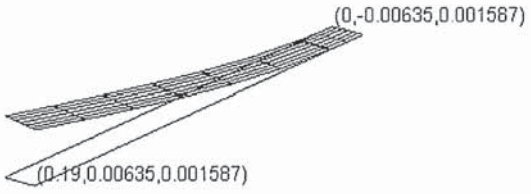


Figura 5. Modo 1: T=87Hz

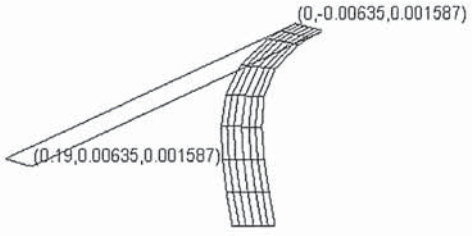


Figura 6. Modo 2: T=271 Hz

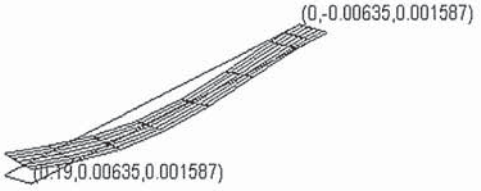


Figura 7. Modo 3: T=488 Hz

5 CONCLUSIONES

Se ha presentado la propuesta de formulación de matrices de masas consistentes y concentradas, a partir del elemento de cáscara desarrollado por Hinton y Owen [2]. Para el caso de matrices de masas concentradas se han propuesto funciones de forma elementales y se han probado las propiedades de simetría y conservación que se deben cumplir. Se han aplicado las matrices de masas consistentes y concentradas a casos de materiales homogéneos y se han comparado con soluciones analíticas disponibles en la literatura.

Se observa que los períodos asociados con el primer modo de flexión tienen muy buena precisión respecto de la solución analítica tanto para masas consistentes como concentradas. En el segundo modo, la solución obtenida con masas concentradas es algo más flexible que la solución analítica en uno de los ejemplos y más rígida en otro.

Existe una influencia notable en el modelado, ya que los modelos de pocos elementos con masas concentradas tienden a reportar valores equivalentes a la concentración de masas de los modelos dinámicos de pocos grados de libertad, mientras que los modelos más refinados, con mayor cantidad de elementos, tienden a reportar valores más aproximados a los teóricos para modelos de masas distribuidas.

Se han aplicado las matrices de masas consistentes y concentradas a un caso de materiales compuestos y se han comparado los resultados obtenidos a partir de la presente formulación con los de otros investigadores [5]. Existe una variedad amplia en los resultados de frecuencias naturales, en especial en los modos superiores, y se podría afirmar que esto se debe a las distintas formulaciones empleadas. Puede concluirse que la formulación de la matriz de masas concentradas propuesta es apropiada para el análisis dinámico estructural de materiales compuestos con el elemento finito utilizado. En lo posible se buscará en un futuro próximo validar estos resultados con datos experimentales.

.6 REFERENCIAS

[1] O.C. Zienkiewicz & R.L. Taylor, The Finite Element Method, McGraw Hill, 2000.

[2] E. Hinton & D. Owen, Finit Element Software for Plates and Shells, Pineridge Press Limited, 1984.

[3] C. Felippa, Introduction to Finite Element Methods, Department of Aerospace Engineering Sciences and Center for Aerospace Structures University of Colorado Boulder, Colorado, 2004.

[4] R. Blevins, Formulas for Natural Frecuency and Mode Shape, Van Nostrand Reinhold Company, 1979.

[5] S. Jung, V. Nagaraj & I. Chopra Refined Structural Model for Composite Rotor Blades, AIAA Journal, 2001, Vol 39, Nº 2, 2001.

Estado de avance en la transferencia de tecnologías solares a una comunidad en situación de riesgo social.

A. Albornoz, M. Gardey Merino, A. Herrerías, M. Stanziola, P. Arena.
aalbornoz@frm.utn.edu.ar, mcgardey23@hotmail.com, aherrerias@frm.utn.edu.ar, mmstanziola@yahoo.com.ar, aparena@frm.utn.edu.ar
Grupo CLIOPE, Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional

RESUMEN: Se presenta el estado de avance del proceso de transferencia de secadores solares a una comunidad en situación de riesgo social, ambiental y pobreza estructural. La experiencia, iniciada en octubre de 2004, continúa en ejecución. Las dificultades encontradas durante las diferentes etapas de su desarrollo propiciaron la necesidad de analizar en forma continua el estado de situación. El objetivo es comunicar la experiencia acumulada hasta el momento, presentar los resultados de los análisis realizados y establecer puntos de referencia útiles para otros proyectos de características similares. Para un primer análisis se utilizaron dos herramientas: un Análisis de 360° que, a través de entrevistas, permitió obtener los puntos de vista de todos los actores de la transferencia y un Análisis FODA que permitió identificar el estado del proyecto y replantear su ejecución para conseguir su viabilidad. Para un segundo análisis se utilizó una encuesta simple. Los resultados muestran que si bien las actividades de transferencia marchan con éxito relativo y la inserción del grupo universitario en la comunidad ha sido muy buena, es necesario ajustar constantemente algunos aspectos para alcanzar la apropiación de la tecnología y su aplicación por parte de la comunidad.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 *Antecedentes*

La falta de inserción de las tecnologías para aprovechar las energías renovables reside en gran parte en el desconocimiento de su potencial, pero también porque suponen un cambio cultural difícil de realizar.

En años recientes, los proyectos de transferencia de tecnologías para el aprovechamiento de la energía solar hacia comunidades de bajos recursos se ha incrementado notablemente, sobre todo en ámbito rural. Por citar sólo algunos ejemplos, las Ref. [1] y [2]. Menor cantidad de ejemplos existen hacia comunidades urbano marginales pero se rescatan las Ref. [3], [4] y [5]. En este sentido, la Facultad Regional Mendoza (UTN) viene implementando desde octubre de 2004 la transferencia de secadores solares a una comunidad urbana en riesgo social, ambiental y pobreza estructural.

En este artículo se presentan los avances y una reflexión sobre el estado de situación actual de este proceso de transferencia, con el fin de comunicar la experiencia acumulada hasta el momento, y los resultados de un contraste realizado entre los resultados esperados con los efectivamente obtenidos, estableciendo puntos de referencia útiles para otros proyectos de características similares.

El proyecto pretende avanzar desde el ámbito tecnológico para la solución de problemas sociales, asumiendo el compromiso de responsabilidad social universitaria.

1.2 *La comunidad objetivo*

La comunidad se ubica en el asentamiento denominado Campo Pappa, al oeste del Departamento de Godoy Cruz, en Mendoza (Argentina). En el lugar existen pozos que sirven de vaciaderos de residuos sólidos urbanos desde hace 40 años, por lo que la principal actividad económica de supervivencia de la población es el laboreo informal de la basura.



Foto 1. Vaciadero de R.S.U

Una caracterización de la población indica que el principal rasgo cultural de esta comunidad es la abulia. No planifican acciones a largo plazo, el presente es su preocupación constante. Como consecuencia, no se encuentran en condiciones de comenzar procesos de cambio temporalmente extensos porque se desenvuelven en un contexto de satisfacciones y necesidades urgentes. La asistencia social por parte de organismos oficiales y privados, aunque necesaria, termina por potenciar estas características y se establece un círculo vicioso difícil de romper.



Foto 2. Viviendas del Barrio Campo Pappa

Las actividades socio-cultural-educativas de la población se nuclean en el Centro Educativo Arco Iris, donde funcionan un jardín maternal, un comedor comunitario y diferentes talleres temáticos implementados por la OSC CoLoBa, que trabaja en el lugar desde hace aproximadamente 17 años. Entre tales talleres temáticos se encuentra el de Energías Alternativas, que es donde la Universidad realiza la transferencia de secadores solares.

1.3 *Proyectos de referencia*

Esta actividad de transferencia se enmarca en el ámbito de dos proyectos de mayor alcance, uno tendiente a mejorar las condiciones de laboreo y económicas de la comunidad objeto del presente trabajo, y otro tendiente a evaluar los beneficios ambientales y económicos asociados a las tecnologías para el aprovechamiento de las energías renovables. Ambos proyectos convergen precisamente en las actividades de transferencia de las tecnologías solares fabricadas en su mayor parte con materiales recuperados.

2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

2.1 *Objetivos*

Los objetivos del proyecto de transferencia son:

- Promover el uso de la energía solar mediante el desarrollo y experimentación de dispositivos eficientes, de bajo costo y fácil construcción, para contribuir a la sustentabilidad ambiental y a mejorar la calidad de vida de comunidades urbano marginales.
- Transferir conocimientos en un ámbito social con capacidad de réplica en la comunidad, que permitan el abordaje de nuevos emprendimientos, a partir de tecnologías que aprovechen las energías renovables abundantes en la región.
- Promover en el ámbito universitario la realización de proyectos de transferencia tecnológica con fines sociales.

2.2 *Metodología de trabajo en el proceso de transferencia*

La transferencia se lleva a cabo impartiendo talleres teórico-prácticos con acción participativa y consensuada. En el taller se brindan conceptos sobre energía, energía solar y temas afines, como así también los fenómenos físicos que intervienen en el proceso de secado. A continuación se realizan

talleres donde se transmiten conocimientos para la construcción de secadores solares.
Los integrantes del grupo objetivo pertenecen a un amplio rango de edades (niños, adolescentes y madres cabeza de familia); los adolescentes tienen, dentro del centro educativo, la función de capacitarse en diferentes actividades para luego transmitir esos conocimientos al resto de la comunidad, se autodenominan "Promotores Educativos Comunitarios" (PEC). Desde la universidad han participado de las actividades, además de estudiantes de la institución, estudiantes y profesionales provenientes de otros países a través de becas de intercambio que se han integrado al grupo de trabajo CLIOPE. Durante la ejecución del taller se han realizado varias experiencias de secado con los productos provenientes de la huerta orgánica que funciona en el Centro Educativo tales como tomate, ajo y romero.

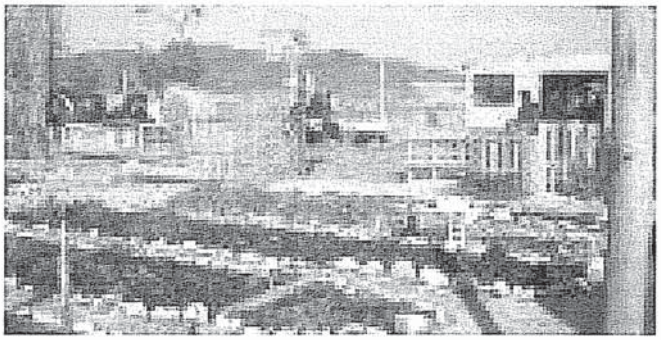


Foto 3. Taller de huerta.



Foto 4. Taller de Energías Alternativas

3 CRONOLOGIA DEL PROYECTO

3.1 *El primer año*

En el transcurso del primer año del proyecto de transferencia se construyeron dos modelos de secadores solares, fabricados a partir de cartón recuperado, y se impartieron conceptos físicos básicos sobre el funcionamiento de los mismos así como sobre reutilización de materiales.
Se logró una buena relación entre instituciones (UTN-CoLoBa) y entre distintas actividades formativas realizadas en el Centro, en particular entre el taller de Energías Alternativas con el de Huerta Orgánica. Se logró instalar acciones coordinadas características del trabajo en equipo, promoviendo el fortalecimiento de valores cívicos de las personas involucradas en el proyecto. De esta manera el grupo de trabajo de la UTN logró insertarse en la comunidad, consolidando una política de apertura al medio de la institución universitaria, uno de los objetivos institucionales del proyecto. Se comenzó a construir experiencia en el tema y a obtener datos que permitieran evaluar la marcha de un proceso de transferencia.
Una de las principales dificultades que marcaron esa etapa del proyecto fue la falta de financiamiento: con la compra de materiales, herramientas e insumos adecuados se podrían construir mejores secadores y, con dinero para capacitación, viáticos y honorarios se podría aumentar la calidad del taller y la dedicación de quienes ejecutan el proyecto. Este aspecto fue resuelto en gran parte a partir de la obtención de subsidios provenientes de distintos organismos.
Sin embargo, cerca del final del primer año del proyecto (agosto de 2005) surgieron ciertas dificultades en la marcha de la transferencia

3.2 *Segundo año*

Las dificultades encontradas se relacionaban con distintos aspectos. Por una parte se observó cierta desmotivación de los destinatarios de la transferencia (jóvenes PEC). Si bien era conocida de antemano esta característica de la población, como descripto en el punto 1.2, al momento de manifestarse hubo que reaccionar para replantear el esquema de trabajo a fin de recuperar la motivación. Por otra parte esto coincidió con la mayor dedicación que varios de los asistentes al taller debían brindar a sus obligaciones con su educación formal (época de exámenes globales del ciclo EGB3). También surgieron dificultades en la

relación con CoLoBa, por diferencias propias de las que se dan en los grupos de trabajo.
Como consecuencia, sin dejar de llevar adelante el proceso de transferencia, el dictado de talleres y de clases, se decidió realizar un seguimiento continuo del proceso de transferencia a través de diversos análisis, cuyos resultados permitieran reorientar la metodología de trabajo a fin de lograr incrementar la efectividad de las acciones realizadas.
Hasta el momento se han realizado dos análisis. El primero de ellos en septiembre de 2005, con el objeto de conocer con mayor profundidad las causas de los problemas detectados inicialmente y cuyas acciones correctivas derivadas se implementan en esta etapa. El segundo, en marzo de 2006, para evaluar otros aspectos del proceso no contemplados en el primero.

4 METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

Para el primer análisis y, con el objeto de poder conocer con mayor profundidad las causas de los problemas detectados, se utilizó una "evaluación de 360 grados". Esta es una herramienta de retroalimentación, multidireccional, utilizada en el campo de la gestión de recursos humanos para obtener información objetiva sobre los resultados de desempeño y los patrones de comportamiento de las personas de una organización.
Se implementó a través de entrevistas semidirigidas a los diferentes actores que intervienen en el proyecto, con preguntas orientadas a conocer la opinión sobre el comienzo, desarrollo y estado actual del mismo. El procedimiento utilizado fue formular las preguntas, administrarlas a cada uno de los actores y registrarlas. Las respuestas se transcribieron, analizaron y trabajaron a través de su inclusión en una matriz tipo FODA. Las variables medidas fueron: motivación de los asistentes y coordinadores del taller, internalización de la temática y de los beneficios del taller por parte de los asistentes, permanencia de los participantes, interés y necesidad por otros dispositivos de aprovechamiento de energías alternativas, aspectos positivos y negativos del taller. Se entrevistó a 21 personas entre asistentes, instructores, coordinadores, directivos e integrantes de la comunidad relacionados en alguna forma con el proyecto; muchos de los cuales con amplia trayectoria en la faz técnica, educativa y social.
El segundo análisis consistió en una encuesta simple que tuvo como objetivos: medir el grado de conocimiento logrado en el aspecto técnico; evaluar el proceso total de aprendizaje; determinar el grado de apropiación logrado de los secadores solares y; determinar el interés suscitado por el taller. En este caso la encuesta se administró a 8 personas en total, de diferentes edades y procedencia.

5 RESULTADOS OBTENIDOS

5.1 *Resultados del primer análisis*

El análisis arrojó la matriz FODA representada en la Tabla 1 y remarca los aspectos positivos y negativos del proyecto que permiten definir algunas acciones correctivas. Entre las acciones identificadas se encontró:

1) necesidad de hacer evidente en todo momento el objeto final buscado del proceso de transferencia: los productos secos y los artefactos que permiten su obtención, resultados tangibles que mantienen la motivación del grupo. lograr mayor continuidad en la permanencia de los instructores en la comunidad, de modo de establecer y mantener un vínculo fuerte con los asistentes al taller;
2) mejorar la comunicación con otras instituciones que trabajan en la comunidad para fortalecer las relaciones, sinergizar las actividades, compartir las experiencias;
3) aprovechar el interés mostrado por los participantes para que se concrete la apropiación de la tecnología, aún cuando el proyecto de transferencia haya finalizado y dejado de dictarse el taller.

Tabla 1. Matriz FODA

FORTALEZAS
Buena integración del grupo universitario con la comunidad.
Aceptación por la comunidad de la tecnología transferida.
Aceptable motivación de los participantes.
Replicabilidad del proyecto.
Superación de las complejidades propias de la transferencia.
Vínculo afectivo entre talleristas y participantes.
Perfil adecuado de los estudiantes involucrados.
OPORTUNIDADES
Permanencia del taller en la comunidad
Posibilidad de abrir nuevas líneas de trabajo en el ámbito de las energías renovables

Apropiación de la tecnología Posibilitar de realización de emprendimientos productivos
DEBILIDADES La falta de presupuestos adecuados impiden sumado a la necesidad de estudio por parte de los estudiantes determinan una discontinuidad en su actividad dentro del proyecto, afectando el proceso de enseñanza-aprendizaje y el vínculo logrado con la comunidad Inexperiencia en el campo de las transferencias a comunidades de este tipo Dificultades para la organización del taller Falta de financiamiento para las actividades de transferencia.
AMENAZAS Falta de costumbre de los miembros de la comunidad a la participación en procesos de larga duración. Necesidad de mostrar resultados tangibles continuamente para mantener la motivación. Asistencia a los talleres como contraprestración por becas recibidas, implica dificultad de medir la real motivación de los asistentes. Las relaciones interinstitucionales (Universidad-CoLoBa) afectan las actividades del taller. Dificultad para inducir nuevos hábitos en la población (alimentación y uso de energías alternativas).

A partir de estos resultados se plantean nuevos desafíos, que se abordarán con una perspectiva más amplia, que involucre la percepción de la población objetivo, destinataria primaria de la transferencia.

5.2 *Resultados de la implementación de las acciones correctivas*

Una revisión del estado actual del proceso de transferencia muestra los siguientes resultados:
Desde octubre de 2005 se cuenta con financiamiento del PNUMA para capacitación, herramientas, materiales, difusión, viáticos y honorarios destinados al proyecto. También se cuenta con el financiamiento de un Proyecto Federal para mejoramiento de infraestructura y materiales.
En consecuencia los asistentes al taller de Energías Alternativas han construido 5 nuevos secadores individuales. Con ellos han secado exitosamente distintos productos, incluyendo frutas, verduras y especias durante el verano.
Durante la celebración del Día Internacional del Ambiente, el 5 de junio de 2006, la comunidad realizó por primera vez un acto celebrando la protección ambiental, que tuvo gran repercusión dentro y fuera de la comunidad. La participación de autoridades del gobierno provincial (incluyendo al gobernador), municipal (incluyendo al intendente), y universitario (incluyendo al decano de la UTN-FRM) evidenciaron la repercusión que están alcanzando las actividades realizadas en el centro. Los integrantes de los talleres ofrecieron a la venta sus productos, y mostraron con gran orgullo las actividades que se allí realizan.
Actualmente se están construyendo 2 secaderos con materiales más durables, uno de tipo gabinete y otro tipo mixto con colector adosado, de mayor capacidad. Próximamente se iniciará la transferencia de otros dispositivos solares que se han demostrado útiles para la comunidad.
La cantidad de asistentes al taller de Energías Renovables ha sido muy variable, mostrando etapas de mayor y menor motivación. Muestra de ello es que en dos ocasiones los secaderos se deterioraron debido a las malas condiciones del tiempo, y los asistentes no mostraron iniciativa para su reparación, requiriendo la presencia de los coordinadores del taller para realizarla.
Las relaciones con otras instituciones se han visto fortalecidas (caso de CoLoBa) y aumentadas, ya que comenzó a trabajarse con el grupo de "Promoción de Mejoras Barriales (ProMeBa), auspiciado por el municipio de Godoy Cruz, que colaboran en la difusión de la tecnología propuesta participando de los talleres con el fin de replicarlos en otras comunidades.



Foto 5 Productos deshidratados.



Foto 6. Primer venta de producto



Foto 7 Taller de construcción de secador solar tipo gabinete de materiales duraderos.

5.3 *Resultados del segundo análisis*

Para analizar las respuestas se desagregaron según las variables edad y pertenencia a la comunidad, por lo que los resultados se refieren a tres subgrupos de entrevistados: tres mujeres adolescentes que pertenecen a la comunidad, tres adultos jóvenes, capacitadores (de ProMeBa), que no pertenecen a la comunidad y, dos mujeres adultas que también pertenecen a la comunidad.

En cuanto a los conocimientos asimilados en el aspecto técnico referidos a los secaderos, se encuentra que poseen un buen grado de conocimiento acerca del modo de uso de ellos, lo que constituye el aspecto más importante del proceso de transferencia. No ocurre lo mismo con el conocimiento sobre los principios que rigen el funcionamiento del secador, donde se encuentra una fuerte disparidad. Son mejores los resultados asociados a los aspectos constructivos del secador, siendo capaces de identificar las características de los materiales necesarios para cada una de sus partes. Las adolescentes han mostrado mayor grado de comprensión de los fenómenos involucrados, seguidos por los participantes de ProMeBa y luego por las mujeres adultas.

En general los tres grupos evalúan al proceso total de aprendizaje como positivo. Consideran adecuado el plan de capacitación, los responsables, materiales y métodos de enseñanza; sólo comentan que sería bueno contar con más información acerca de técnicas y materiales para la construcción y también mayores pruebas de secado.

Sobre la apropiación del uso de los secadores, un análisis cualitativo de las respuestas permite dilucidar que la apropiación sólo se observa de manera incipiente en el grupo de mujeres adultas de la comunidad. Tanto los adolescentes pertenecientes a la comunidad, como los adultos jóvenes capacitadores, están más enmarcados en el valor formativo que en la orientación al uso concreto.

Por último, en lo que refiere al interés que suscitó el taller, si bien en el principio los participantes variaban en el grado de interés, todos afirman que durante el cursado y hasta el final del mismo, el interés por los usos del secadero en particular y las posibles aplicaciones de la energía solar, aumentó considerablemente en el 100% de los encuestados. Por otro lado permitió que los asistentes visualizaran las problemáticas energéticas de su comunidad y reflexionaran acerca de posibles soluciones, a partir del uso de energías alternativas.

Las acciones correctivas que surgen de este segundo análisis, están aún en plena evaluación en el grupo de trabajo encargado del proyecto.

6 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES FINALES

Una revisión crítica de las publicaciones de otras instituciones o grupos que se dedican a la transferencia y difusión de tecnologías para aprovechar las energías renovables, ya sea en el ámbito rural o urbano-marginal, arroja que no se tiene un concepto único, claro, definido, de "transferencia tecnológica", Ref. [6].

Algunos piensan que con impartir conocimientos técnicos para fabricar y operar los dispositivos, en un par de días de taller, se ha efectuado una transferencia tecnológica. Otros sostienen que es necesario efectuar un seguimiento posterior para

determinar si la tecnología ha sido realmente "apropiada" por el destinatario.
Conviene tener presentes los conceptos vertidos en Ref. [7] sobre lo que significa transferencia: Establecer contenidos conductuales, actitudinales y procedimentales para internalizar el tema energético en toda la comunidad educativa y concientizar a la sociedad.
Pensamos que se debe alcanzar un equilibrio entre lo que ya es conocido de los procesos de transferencia, y es que la entrega en un lapso breve de tecnologías que resuelven problemas concretos pero que requieren de cambios en los hábitos, conduce en general a buenos resultados inmediatos pero a un fracaso en el corto y mediano plazo, con el abandono de la tecnología transferida, mientras que el avance más lento logrado con procesos que permiten la apropiación de la tecnología por parte de la población es menos atractiva en lo inmediato, pero permite auspiciar mejores resultados en el mediano y largo plazo.

7 REFERENCIAS

[1] A. Estevez, J. Cortegoso & S. Chorén, Transferencia de tecnología de energías renovables. Encuesta para evaluar hábitos alimentarios y energ´rticos de las familias, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 8, N° 2, 2004.

[2] C. Cadena, V.M. Javi, R. Caso, H. Suligoy & C. Fernandez, Transferencia de equipos que funcionan con energía solar en el departamento de Iruya, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 8, N° 2, 2004.

[3] E. Rosenfeld, G. San Juan, C. Discoli & G. Viegas, Transferencia de tecnología apropiada en servicios básicos para sectores de bajos recursos, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 8, N° 2, 2004.

[4] V. Passamai, V. Javi, M. Passamai, T. Passamai, J. González, A. Mascotto, M. Arias, S. Gündel, J. Alfaro, S. Valdez, F. Salas, M. Adamo, E. Moreira & C. Campos, Vinculaciones humanas e institucionales a través del uso de la energía solar: la comisaría del menor y las mini cocinas solares, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 8, N° 2, 2004.

[5] A. Cassinera, R. Abalone, A. Gastón & M.A. Lara, Experiencia de capacitación en el proceso de secado con utilización de energía solar, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 8, N° 2, 2004.

[6] V.M. Javi, R. Caso, C. Fernandez & M.T. Montero Larocca, Dos talleres sobre cocinas solares unifamiliares: contextos diferenciados para transferencias de disímiles alcances, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 9, 2005.

[7] http://www.conicet.gov.ar/becas/archivos_gral/2005/listado_areas_vacancia/energia.doc

Instrumento certificador de conexionado eléctrico para detectores de superficie del Observatorio Pierre Auger.

A. Lucero, C. Rumbo, B. García, A. Risi.

agustinlucero@auger.org.ar & bgarcia@frm.utn.edu.ar
U.T.N. Facultad Regional Mendoza y San Rafael – CONICET, Observatorio Pierre Auger de Malargüe.

RESUMEN: El Observatorio Pierre Auger utiliza detectores de superficie con agua hiperpura para detectar las partículas generadas en la atmósfera cuando una partícula de ultra alta energía la atraviesa. Estos detectores contienen un número importante de instrumentos de alta tecnología que requieren ser calibrados en forma precisa para su correcto funcionamiento. El certificador de conexionado es un instrumento capaz de medir todas las variables requeridas por el operario instalador o de mantenimiento de estos detectores, el cual permite una optimización del tiempo de la tarea.

1 EL OBSERVATORIO PIERRE AUGER.

1.1 Generalidades del observatorio.

El Observatorio Pierre Auger se encuentra en la ciudad de Malargüe, Mendoza, Argentina. Se dedica al estudio de las partículas de ultra alta energía, denominadas rayos cósmicos, que llegan a nuestro planeta en frecuencias muy bajas (uno cada siglo por kilómetro cuadrado). Por este motivo se necesitan muchos detectores en una gran superficie para obtener una estadística confiable en pocos años. En este caso se utilizarán 1600 detectores de superficie, separados a 1,5 Km. entre si cubriendo 3000 km^2, convirtiéndose así en el observatorio de rayos cósmicos mas grande del mundo.
El proyecto esta integrado por más de 250 científicos, representando a más de 30 instituciones de 15 países.
Una vez concluido el Observatorio de Pampa Amarilla en Malargüe se comenzará a construir uno similar en el hemisferio norte, por lo que cualquier tecnología utilizada en el primer observatorio, contribuirá a llevar a cabo a llevar a cabo el segundo en forma satisfactoria.

1.2 Los rayos cósmicos.

Cuando la partícula primaria o rayo cósmico penetra en la atmósfera ioniza el nitrógeno y éste emite un tenue destello ultravioleta que es captado por uno o varios de los 24 telescopios ubicados alrededor del arreglo de detectores de superficie, en cuatro edificios de 6 telescopios cada uno.

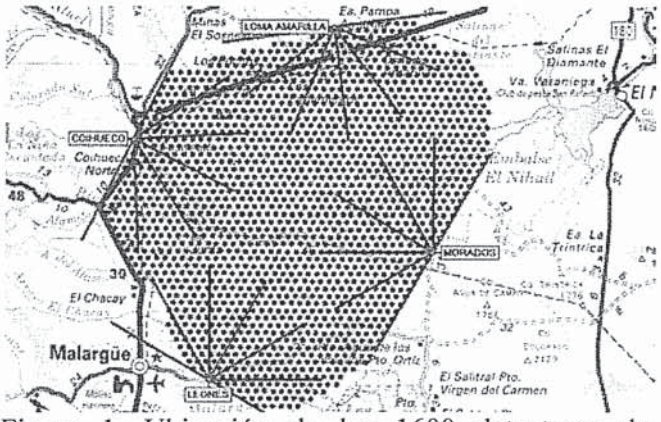


Figura 1. Ubicación de los 1600 detectores de superficie y los 4 edificios con telescopios.

A medida que la partícula avanza en la atmósfera va rompiendo núcleos del nitrógeno generando nuevas partículas secundarias, que a su vez van generando otras en una especie de reacción en cadena.

Estas partículas secundarias generadas en la atmósfera son subatómicas, por lo que son muy pequeñas, y adquieren gran parte de la elevada energía que les confirió la partícula primaria. Por estos motivos son capaces de atravesar la materia y esto las hace un objeto de difícil detección.

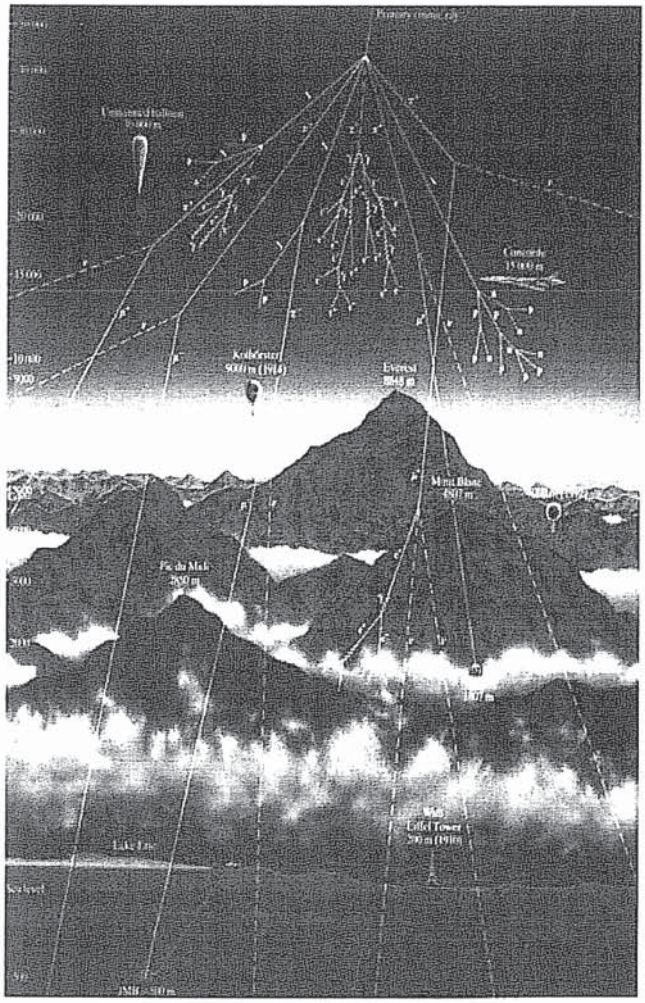


Figura 2. Cascada de partículas secundarias generadas en la atmósfera por el paso de la partícula primaria.

1.3 Los detectores de superficie.

El detector de superficie es un tanque sellado construido en plástico, de una sola pieza. Tiene 3 orificios equidistantes en la superficie para colocar los tubos fotomultiplicadores, encargados de recolectar los fotones generados en el interior y traducirlos en una corriente eléctrica para poder ser medidos.
En el interior del tanque se encuentra una bolsa denominada liner con 12 mil litros agua hiperpura. Las partículas atraviesan las paredes del tanque y al entrar en el agua emiten fotones en el ultravioleta por efecto de la denominada radiación Cherenkov.

El tanque cuenta además con un kit de electrónica encargado de controlar el equipamiento y realizar un primer filtrado de las partículas recibidas para su posterior análisis; un GPS y una antena para transmitir los datos en tiempo y forma.
Debido a que los 1600 detectores de superficies colocados en el arreglo se encuentran separados entre ellos a una distancia de 1,5 Kmts estos deben ser completamente autónomos. Para ello los detectores están provistos de un sistema de alimentación que consta de un panel solar, un par de baterías, un regulador de tensión y el cableado eléctrico que conecta estos elementos.
El regulador tiene la función de llevar los valores de tensión del panel solar (30v - 45v) a un valor menor (24v) que permite cargar las baterías durante el día y a su vez mantener energizada a la electrónica del detector. Las baterías son las que se encargan de alimentar la electrónica en la noche o cuando la luz solar recibida por el panel no sea suficiente para que este genere energía suficiente.
Para que el sistema de alimentación funcione correctamente es necesario asegurar la integridad de cada uno de sus componentes. Esta tarea se debe llevar a cabo antes de realizar la instalación de la electrónica, que es el ultimo elemento que se incorpora al detector antes de su puesta en marcha.

2 EL INSTRUMENTO.

2.1 Metodología de trabajo. Procedimiento actual.

El detector es llevado al campo con el cableado completo instalado, pero sin conectar. Una vez en su posición, otro equipo de trabajo lleva las baterías y los reguladores y realiza la conexión.
Para asegurarse que el sistema funciona correctamente, el o los operarios deben medir los parámetros en vacío (sin conexión), y después los valores en los cables una vez conectado el conjunto baterías – reguladores, antes de conectarlos al kit de electrónica del detector.
Lo mismo ocurre cuando se debe realizar un mantenimiento, ante el aviso de falla del detector. Se desconectan los cables del kit y se miden los valores en los cables, para luego realizar la desconexión del conjunto baterías – reguladores si fuera necesario.

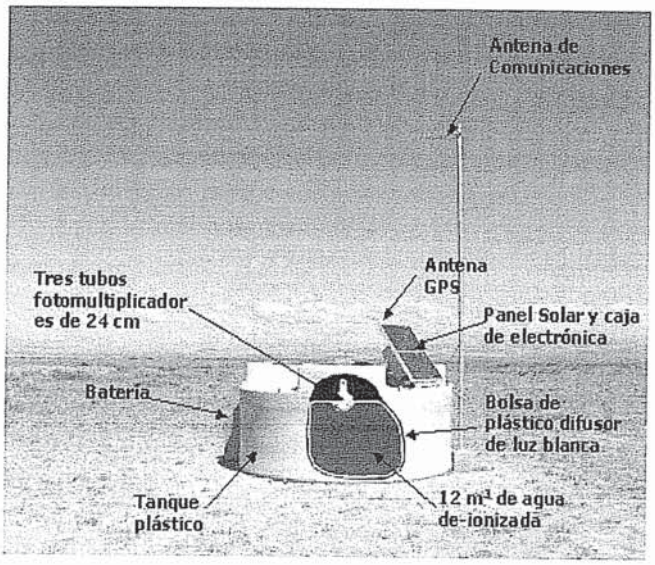


Figura 3. Detalle del detector de superficie.

Lo mismo ocurre cuando se debe realizar un mantenimiento, ante el aviso de falla del detector. Se desconectan los cables del kit y se miden los valores en los cables, para luego realizar la desconexión del conjunto baterías – reguladores si fuera necesario.
Esto supone un tiempo determinado empleado en el proceso de medición y detección de la falla, además del tiempo utilizado para acceder al detector, ya que algunos de ellos se encuentran en zonas de difícil acceso y a decenas de kilómetros del edificio central del observatorio; por lo que realizar la tarea en el menor tiempo posible y con el menor error posible, no es un detalle.
Actualmente esta tarea se realiza con un multimetro digital. Esto acarrea el inconveniente de tener que cambiar el parámetro a medir y el rango de medida cada vez que se mide, tomando nota de cada registro en un papel para ser analizado luego por el operario y determinar el estado de la conexión. Esta tarea consume mucho tiempo del operario y aumenta el riesgo de realizar una medida en un parámetro incorrecto del instrumento, lo que llevaría a la rotura del mismo.

2.2 Valores a medir y rangos permitidos.

Icc: corriente de cortocircuito del panel solar (0,1 - 3,5 Amperes). Valor tomado en los bornes del panel solar aislándolo del resto del circuito con el fin de probar su integridad.
Ips: corriente de carga del panel solar (0,1 – 3,5 Amperes). Es la corriente que circula cuando se están cargando las baterías. Esta corriente dependende de la carga de las baterías y de la tensión del panel solar.
Vps_v: tensión de vacío del panel solar (20 – 45 Voltios). Este parámetro se mide para comprobar si el panel solar funciona correctamente.
Vps: tensión del panel solar con carga acoplada (24 – 29 Voltios). Valor que se mide en los bornes del panel solar cuando se están cargando las baterías, es inferior a Vps_v.
Vtotal-bat: tensión de sensado total de baterías (24 – 29 Voltios). Este valor es la tensión medida en los bornes de las dos baterías conectadas en serie.
Vmedio-bat: tensión de sensado de punto medio (12 – 14,5 Voltios). Es la medición tomada entre la referencia de 0V y el punto medio de las baterías en serie.
Tbat1: temperatura de sensor par 3, en una de las baterías (260 – 320 µAmperes). Este valor de corriente es equivalente a la temperatura en °K
Tbat2: temperatura de sensor par 4, en una de las baterías (260 – 320 µAmperes). Este valor de corriente es equivalente a la temperatura en °K
Δbat-ps: caída de tensión en el regulador (0,3 – 10 Voltios, Vtotal-bat>28 Voltios). Este valor se mide entre los bornes de entrada y salida del regulador.
Fpwm: frecuencia de trabajo del regulador (200 – 500 Hz). Es La señal PWM (Modulación del Ancho de Pulso, por sus siglas en ingles) del regulador. Es una señal de onda cuadrada de frecuencia fija y de ancho de pulso variable dependiente de la tensión del panel solar.
Tanto Δbat-ps y Fpwm son parámetros que, encontrándose dentro de los rangos especificados, indican el correcto funcionamiento del regulador de tensión.

2.3 Desarrollo electrónico.

2.3.1 Descripción general.

Básicamente el instrumento es un multimetro digital, específicamente diseñado para esta tarea y esta compuesto por distintas partes bien diferenciadas: el microcontrolador, el visualizador, los comandos, las protecciones, los atenuadores, amplificadores y un conformador de pulsos. En la figura 4 se muestra un esquema del instrumento.

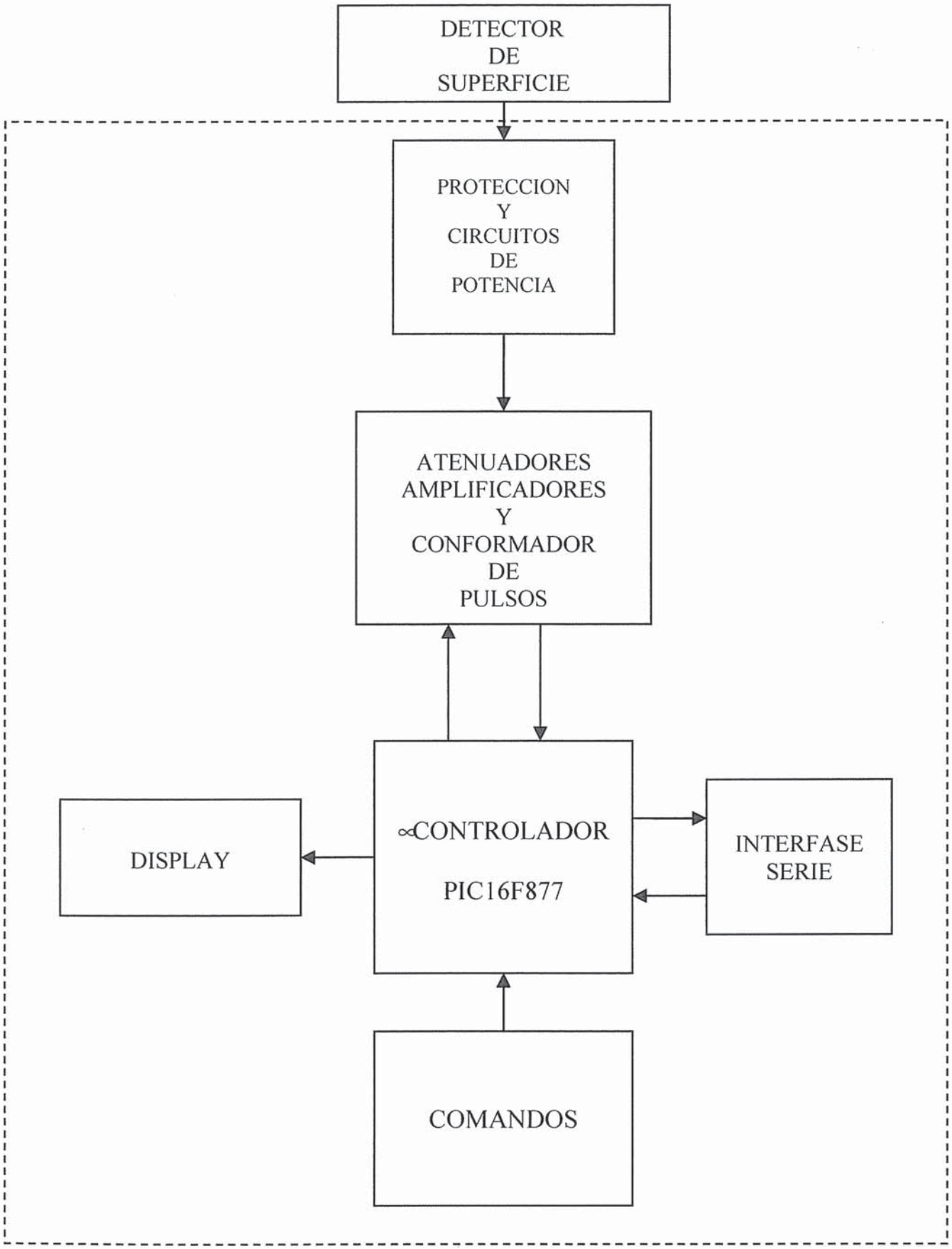


Figura 4. Esquema del instrumento

Todos los elementos constitutivos han sido distribuidos en 3 placas, la placa principal, la placa del microcontrolador y la placa auxiliar.
Enumeramos a continuación las partes constitutivas de cada placa y su función general, para después explicar la función de cada componente.
La placa principal contiene los elementos de protección que son relés electromagnéticos, diodos y fusibles conectados de forma estratégica para evitar que inversiones de voltaje debido a una mala instalación de algún elemento del detector produzcan algún daño al instrumento. Este era a priori, uno de los problemas más críticos a resolver.
En la placa del microcontrolador están ubicados los atenuadores o divisores de tensión, la referencia, el visualizador o display y el microcontrolador que controla la secuencia de las pruebas.
La placa auxiliar contiene el conformador de pulsos para el frecuencímetro, los amplificadores para la medición de corriente y temperatura; y los reguladores que alimentan las distintas partes del circuito. En la Figura 5 se ve el prototipo en el periodo de ensamblado En la misma figura se visualizan las partes del mismo.

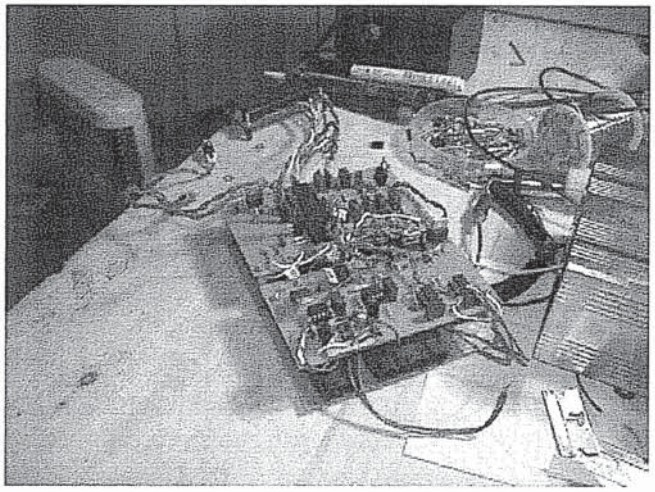


Figura 5. Prototipo del instrumento

2.3.2 Descripción de componentes del circuito.

El componente mas importante del instrumento es un microcontrolador PIC16F877, el cual se eligió debido a que posee, entre otras características, gran capacidad de memoria, ocho entradas analógicas con conversores Analógico/Digital de 10 bits. El microcontrolador fue programado en lenguaje ensamblador y es el que se encarga de realizar la mayor cantidad de tareas.
La principal de estas tareas es la toma de los datos de tensión, corriente y temperatura. Éstas se realizan en forma independiente utilizando los conversores A/D de las entradas analógicas donde un algoritmo toma el valor de la muestra y lo guarde en dos registros especiales (2bits+8bits) del microcontrolador.
Los valores de tensión del panel solar, tanto en vacío como en carga, el voltaje total de batería (Vtotal-bat) y el de punto medio de batería (Vmedio-bat) exceden el rango máximo de voltaje que puede admitir el microcontrolador en sus entradas analógicas. Por lo tanto se utilizan atenuadores calibrados para adaptar los valores que están entre 10 y 45 voltios a un rango de 0 a 5 voltios, rango en el cual trabaja el conversor. Luego mediante software se realizan los cálculos para corregir el factor de escala y mostrar en el display el valor correcto.
La tensión de vacío del panel solar (Vps_v) se mide en sus bornes sin conectar a la carga.
Para medir la corriente de cortocircuito del panel solar (Icc) se cortocircuitan los bornes del panel usando un relé, que es activado con una señal proveniente del microcontrolador. Una vez cortocircuitado el panel, el instrumento mide la caída de tensión en los bornes de una resistencia

Shunt de 0,1 ohm. Esta tensión tiene un valor entre 0,03 y 0,35 voltios, que luego se amplifica 10 veces para poder ser medida en el rango de mayor precisión del conversor (0,3 y 3,5 voltios), utilizando un amplificador diferenciador realizado con un operacional.
La corriente de carga (Ips) se mide de la misma forma que la Icc, solo que se desactiva el rele que cortocircuita el panel y se active otro rele que conecta el panel solar al regulador.
Esta misma configuración se tiene en cuenta para medir la tensión del panel solar con carga (Vps) y la frecuencia de trabajo del regulador (Fpwm).
Para la medición de frecuencia se toma la señal PWM a la entrada del regulador que se encuentra entre 30 y 45 voltios de amplitud. Se le elimina la componente de continua y se conforman los pulsos con un comparador, para lograr así valores aptos a la entrada del microcontrolador (0 a 5 Voltios). Allí se encuentra un frecuencímetro digital, realizado mediante software que cuenta los pulsos ya conformados durante un intervalo de tiempo (1 seg.),

determinando así la frecuencia de la señal PWM. Este trabaja en el rango de frecuencia del regulador.
La caída de voltaje en el regulador se determina a partir de los datos de Vps (tensión del panel con carga) y Vtotal-bat (tensión de censado de batería). Por lo tanto Δvbat-ps se calcula matemáticamente utilizando algoritmos de resta implementados en el microcontrolador.
Las temperaturas de las baterías se miden con unos sensores (AD592) que forman parte del conjunto baterías-regulador ya instalado en el detector. A los sensores se les configuran unos resistores sobre los que se mide un voltaje proporcional a la temperatura del sensor. Este voltaje es amplificado por 10 para poder medirlo con mayor precisión.
El instrumento esta dotado además de un display de cristal liquido de 2 líneas por 16 caracteres y dos teclas de control (cursor y enter) para poder elegir las diferentes opciones: realizar las pruebas o ver y eliminar los datos almacenados anteriormente en otros detectores.
Debido a que se necesita realizar una calibración tanto de la referencia utilizada como de la ganancia de los amplificadores, se colocaron presets multivueltas para realizar un ajuste mas fino del instrumento.
Se debe recordar que el ajuste de la referencia se debe realizar de forma periódica, porque de su exactitud dependerá el instrumento.

3 PROCEDIMIENTO DE MEDICION

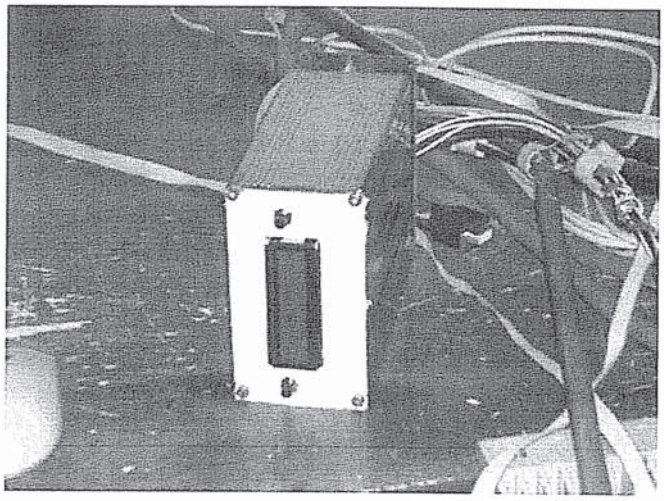
Para comenzar las pruebas se conecta el instrumento al detector. Esto se realiza a través de conectores de sensado, regulador y panel solar, en ese orden. Una vez que se realiza la conexión es el instrumento enciende automáticamente solo si el conexionado del detector se realizo en forma correcta, esto permite evitar que el instrumento se dañe por una mala instalación de detector. Los errores en la conexión se pueden detectar por el resultado erróneo de alguno de los valores medidos o por unos leds que indican en estado apagado cual conexión es errónea, y de esta forma se facilita la detección de la falla y ahorra tiempo al operario en su corrección.
Una vez que enciende el instrumento, este muestra en el display las opciones para comenzar la prueba del conexionado, que se seleccionaran a través de los controles. Seleccionando la opción de realizar la prueba se comienza a realizar la prueba solicitando previamente el numero de identificación del detector (ID). Este numero de ID es requerido para asociar las mediciones realizadas posteriormente al detector que esta en proceso de prueba.
Luego de realizar las pruebas, los datos obtenidos son procesados y visualizados en el display para que el operario verifique que los valores estén dentro de las especificaciones y decida luego si realiza nuevamente la prueba o almacena los datos en la memoria eeprom interna del microcontrolador, pudiendo mantener estos datos aun si el instrumento es desconectado.
Los datos almacenados en la memoria pueden ser descargados posteriormente en una PC a través de del puerto serie, utilizando un software diseñado específicamente para esta tarea, el cual utiliza los datos descargados para generar planillas de control además de ingresarlos a una base de datos .

4 PRIMEROS ENSAYOS

Los primeros ensayos fueron realizados sobre un detector destinado a realizar las pruebas de los kit electrónicos. Los primeros problemas que surgieron fueron la calibración del instrumento debido a la cantidad de preset multivueltas del cual dispone.
Esta consta en calibrar tanto las ganancias de los amplificadores operacionales como la de la referencia de tensión del conversor Analógico Digital. Los valores obtenidos fueron contrastados con un voltímetro digital de las mismas características que el utilizado en el procedimiento antiguo de medición, obteniendo en algunas mediciones un error muy inferior al máximo aceptado.
Una vez realizada la calibración el único inconveniente que surgió fue el de tener que colocarlo en un gabinete que soporte duros golpes y lo mantenga protegido de la humedad debido a que esta destinado a ser un instrumento de campo.
La figura 6 muestra el instrumento en la fase de prueba.

5 CONCLUSIONES Y MEJORAS FUTURAS

Las conclusiones que se obtuvieron de las pruebas realizadas son que el instrumento es óptimo para realizar la tarea ya que no se tiene que realizar anotaciones ni cambiar de instrumento, esto lleva a un gran ahorro de tiempo tanto en el campo cuando se realizan las mediciones como en la oficina en el momento de ingresar todos los valores tomados en una PC, para poder crear planillas e ingresar estos a



La figura 6. Prueba del instrumento

la base de datos. Además se le brinda una mayor seguridad para el operario.
Una de las mejoras futuras es la de poder lograr que el lugar de la falla la indique el instrumento en su display, y no con leds como lo realiza actualmente.

6 BIBLIOGRAFIA

[1] Microchip Tecnical Library

[2] Manual de operación del regulador SS-10L-24V.

[3] Hojas de datos del panel solar I-53.

[4] Aplicaciones con amplificadores operacionales.

[5] Microchip Tecnical Library.

[6] D. Charalampous, Manual of TPCB test with Lab view, Junio 2006

[7] Hoja de datos del AD592 Precision IC temperature transducer.

[8] Kwame Bowie, Micro TPCB Manual and specifications.

Calculo del coeficiente volumétrico, G, de pérdidas de calor en viviendas

G. R. López, L. R. Álvarez, J. F. Fernández & M. M. Ciravegna

cassarino_lopez@ciudad.com.ar;luisralvrez@speedy.com.ar;
fernandez.irese@frm.utn.edu.ar & ciravegna@infovia.com.ar
Instituto Regional de Estudio Sobre Energía – IRESE
Facultad Regional Mendoza – Universidad Tecnológica Nacional

RESUMEN. La ausencia de un código unificado que incorpore técnicas de uso eficiente de la energía en construcciones en la provincia de Mendoza, llevó a la aplicación de la Norma IRAM 11.604 en forma práctica. El objeto de este trabajo experimental fue la determinación del coeficiente volumétrico, G, de pérdidas de calor en régimen estacionario que permitió evaluar el ahorro de energía en calefacción y determinar los sumideros de energía como objetos a eliminar. La incorporación de técnicas de uso eficiente de la energía permitirá la construcción de viviendas más confortables y energéticamente eficientes.

1 INTRODUCCIÓN

El resultado del Balance Energético de la evolvente de la construcción edilicia ayudará a la obtención de importantes ahorros económicos y mejoramientos en la calidad de vida con viviendas más confortables y energéticamente eficientes al utilizar la Norma IRAM N° 11.604 en forma práctica.

Esta investigación compete a los campos de la Arquitectura e Ingeniería Civil y forma parte del proyecto J030 "Aspectos técnicos y recomendaciones de eficiencia energética para la elaboración de código de ahorro de energía en edificios y viviendas" de la Facultad Regional Mendoza presentado por IRESE, Instituto Regional de Estudio Sobre Energía, perteneciente a la Universidad Tecnológica Nacional. Su objetivo es el aporte de aspectos técnicos y recomendaciones útiles para la elaboración de un código unificado, dada la carencia de éste en la provincia de Mendoza.

En este trabajo, dado que no existe aplicación de las normas, se hace un experimento que consiste en la aplicación de técnicas del uso eficiente de la energía. La prueba se llevó a cabo en la residencia Universitaria de la FRM—UTN "Carlos Masoero", ubicada en Rodríguez 273 de la ciudad de Mendoza, compuesta de 3 torres con 3 pisos cada una. Tuvo como objeto evaluar el balance energético de la evolvente edilicia para determinar el ahorro de energía en calefacción y los sumideros de energía como objetos a eliminar.

2 METODOLOGIA Y EQUIPOS

El experimento se llevó a cabo con el empleo de la Norma IRAM N° 11.604, "Cálculo del coeficiente volumétrico, G, de pérdidas de calor", y las condiciones establecidas en dicha norma.

1. Se evaluó la vivienda, a los efectos de obtener el ahorro energético en función del parámetro G (coeficiente volumétrico de pérdida de calor). Se realizó una doble verificación: 1° de la vivienda unifamiliar calefaccionada, 2° del edificio calefaccionado en conjunto, del que forma parte la vivienda anterior.

   Este coeficiente tiene en cuenta las pérdidas de calor a través de los cerramientos que componen la envolvente (opacos, no opacos y en contacto con el terreno), más las pérdidas por renovación

de aire de los locales de la vivienda calefaccionada.

Para el cálculo del G de acuerdo con la norma se debe tener en cuenta los grados día [1]de la localidad en estudio respecto de una temperatura base de calefacción, que para este caso se toma en 18 °C, siendo la temperatura base de calefacción aquella que el sistema de calefacción es capaz de mantener en forma constante.

2 Se realizaron mediciones en los distintos cerramientos, tanto opacos como vidriados, utilizando los siguientes instrumentos:

a) Medidor de flujo de calor: Marca KEMTHERM, modelo HFM 101.
b) Termómetro de contacto: Marca TES 1320.
c) Termómetro de bulbo seco y bulbo húmedo.

Dichos instrumentos se usaron para medir los siguientes parámetros:

- Medición del flujo calórico neto en diferentes puntos considerando zonas en donde había incidencia solar y otras en donde no la había, determinándose un promedio de pérdida o ganancia de calor por cada cerramiento.
- Medición del flujo de calor a través de paredes internas
- Medición del flujo de calor a través de pisos
- Mediciones de temperaturas en paredes externas
- Mediciones de temperaturas en superficies vidriadas

3. Se calculó el valor del coeficiente G(cal). En este experimento el resultado excedió el coeficiente volumétrico de calor máximo admisible G(adm) fijado por la norma IRAM 11604.

Para calcular el valor de G (cal) se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$G\,(cal)=\frac{\Sigma KmSm+\Sigma KvSv+\Sigma\gamma KrSr+PerPp}{V}+0.35n \quad (1)$$

Donde:

G(cal): coeficiente volumétrico del edificio vivienda calefaccionado, en (watt por metro cúbico. kelvin)

Km: la transmitancia térmica de cada uno de los elementos que componen los cerramientos opacos que lindan con el exterior (muros, techos y pisos en contacto con el aire exterior.

Sm: área interior de los cerramientos opacos anteriores en m^2

Kv: transmitancia térmica de cada uno de los elementos que componen los cerramientos no opacos que lindan con el exterior (muros y techos) en watt por metro cuadrado kelvin.

Sv: área interior de los cerramientos no opacos anteriores en m^2

γ Kr: transmitancia térmica corregida de cada uno de los elementos que componen los cerramientos opacos y no opacos que lindan con locales no calefaccionados en watt por metro cuadrado kelvin.

Sr: área interior de los cerramientos opacos y no opacos anteriores en metro cuadrado.

Per: el perímetro del piso en contacto con el terreno en watt por metro.

Pp: pérdidas por el piso en contacto con el terreno en watt por metro.

V: volumen interior del edificio vivienda calefaccionado en metro cúbico.

0.3 : capacidad específica asumida del aire en watt hora por metro cúbico kelvin.

n: número de renovaciones de aire promedio por hora del edificio vivienda calefaccionado.

Km; Kv y Kr se calculan según la norma IRAM 11601. Si existen puentes térmicos se calcula con el método indicado [2]

$$\gamma=\frac{\Sigma K\,i\,Si}{\Sigma Ki\,Si+\Sigma Kr\,Sr} \quad (2)$$

Pudiendo evitar este cálculo adoptando:

γ: 0.5 para cerramientos que lindan con locales pertenecientes a edificios contiguos calefaccionados.

γ: 1 en cualquier otro caso

Método alternativo: se pueden realizar cálculos para obtener las pérdidas por el piso utilizando programas de computación.

4. Se fijó como valor máximo admisible de G para una vivienda calefaccionada, el que resulta del gráfico de la Norma IRAM 11604 para los grados días correspondientes a la localidad de emplazamiento del edificio proyectado, o a la más próxima, se realizaron correcciones por diferencias de latitud y altura sobre el nivel del mar. Para el edificio en estudio el volumen es de 428,92 m^3, el valor de grados-día elegido es de 1284, que corresponde a la localidad de Mendoza; pero según valores emitidos por el observatorio de dicha ciudad, correspondiéndole un valor de G_{adm} de 1,473 para 1300 grados días y V= 500 m^3.

Se presentan a continuación las planillas de cálculo utilizadas, de acuerdo con la Norma IRAM N° 11604

Tabla 1. Planilla de cálculo del coeficiente volumétrico, G

RESIDENCIA UNIVERSITARIA "CARLOS MASOERO"(1)			
TORRE 1 (2)			
SUPERFICIE CALEFACCIONADA (3) m^2	ALTURA (4) m	PLANTAS (5)	VOLUMEN (6) m^3
54,99	2,6	3	428,92

Cerramientos opacos exteriores (muros, techos, entrepisos sobre espacios abiertos)			
Elemento	(S) (7) Superficie neta de c/u de los cerramientos opacos (m^2)	(Km)(8)Transmitancia térmica ($W/m^2.K$)	S.Km (9) (W/K)
Norte	54,35	3,74	203,43
Oeste	40,01	2,32	92,69
Este	40,01	5,43	217,39
Sur	60,84	5,72	348,16
puertas este	5,45	3,15	17,14
puertas oeste	5,45	2,69	14,66
techo	54,99	1,72	94,45
Sumatoria			987,91

Cerramientos No Opacos Exteriores				
Elemento	(S) (10) Superficie neta de c/u de los cerramientos no opacos (m2)	(N) (11) número de veces que se usa c/ tipo de cerramiento	(Kv) (12) Transmitancia térmica (W/m2.K)	(S.Kv.N) (13) (W/K)
Norte	6,49	1	4,54	29,47
Oeste	9,54	1	6,24	59,55
Este	9,54	1	7,89	75,26
				0,00
Sumatoria				164,28

Tabla 2. Continuación Planilla de cálculo coeficiente volumétrico, G.

Piso en contacto con el terreno	Perímetro por metro lineal (18) (m)	Pp (19) W/m.K	Pérdida p (20) W/K
	29,7	1,38	40,986
Pérdidas Volumétricas por infiltración de aire (22)	n (21)		Pérdida n (22) (W/m3.K)
	2		0,70
Pérdidas por transmisión	1193,18		(23) (W/K)
Pérdidas volumétricas por transmisión (23)/(6)	2,78		(24) ($W/m^3.K$)
Pérdidas volumétricas globales G calculado (22+24)	3,48		(25) ($W/m^3.K$)
Pérdidas volumétricas globales G admisible	Para 1300 ° D y V= 500 m3: 1,473		(26) ($W/m^3.K$)

Referencias de las planillas de cálculo

(1) Datos de la localidad, proyecto y edificio, con zona bioambiental, de temperatura base de calefacción y números de grados días.

(2) Características de la envolvente considerada, de acuerdo con el apartado 3.5

(3) La superficie de la planta del edificio vivienda calefaccionada.

(4) La altura promedio de los locales calefaccionados (desde el piso hasta el cielorraso).

(5) El número de plantas del edificio vivienda calefaccionado.

(6) El volumen del edificio vivienda calefaccionado. Se calcula efectuando la sumatoria del producto de la superficie y la altura de cada espacio calefaccionado. Si las plantas son iguales, se obtiene directamente multiplicando los casilleros (3),(4) y (5).

(7) La superficie neta de cada uno de los elementos exteriores opacos.

(8) La transmitancia térmica de cada uno de los elementos exteriores opacos, de acuerdo con el apartado 6.2

(9) El producto de los casilleros (7) y (8) para cada fila.

(10) La superficie de cada uno de los cerramientos exteriores no opacos.

(11) El número de veces que se utiliza cada tipo de cerramiento exterior no opaco

(12) La transmitancia térmica de cada tipo de cerramiento exterior no opaco.

(13) El producto de los casilleros (10),(11) y (12) para cada fila.

(14) La superficie de cada uno de los cerramientos que separan locales no calefaccionados u otros edificios.

(15) El factor de corrección de la transmitancia térmica, de acuerdo con el apartado 6.3

(16) La transmitancia térmica de cada uno de los cerramientos que separan locales no calefaccionados u otros edificios , de acuerdo con el apartado 6.2

(17) El producto de los casilleros (14),(15) y (16) para cada fila.

(18) El perímetro del piso en contacto con el aire exterior, de acuerdo con el apartado 6.5.2 .

(19) Las pérdidas por el piso en contacto con el terreno, calculadas de acuerdo con el apartado 6.5

(20) La pérdida de calor total a través del piso, la que se obtiene multiplicando los casilleros (18) y (19).

(21) El número promedio de renovaciones de aire por hora de la vivienda calefaccionada, de acuerdo con lo indicado en el apartado 6.5 .

(22) La pérdida volumétrica de calor por infiltración de aire.

(23) La pérdida de calor por transmisión a través de la envolvente de la vivienda calefaccionada. Se obtiene sumando las columnas (9), (13), (17) y (20).

(24) La pérdida volumétrica de calor por transmisión. Se obtiene como el cociente de la pérdida de calor por transmisión (23) dividido el volumen encerrado por la envolvente de la vivienda calefaccionada (6).

(25) El coeficiente volumétrico G de pérdida de calor obtenido por cálculo, sumando las pérdidas volumétricas por infiltración (22) más las pérdidas volumétricas por transmisión.

(26) El coeficiente volumétrico G de pérdidas de calor máximo admisible para la vivienda calefaccionada en estudio, obtenido a través de la tabla

3 FOTOGRAFIAS DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS

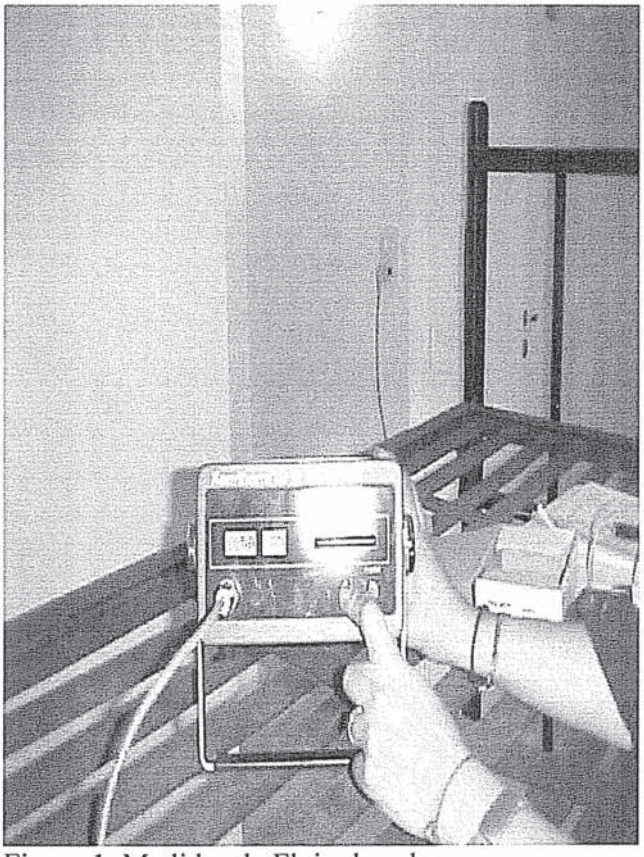


Figura 1. Medidor de Flujo de calor

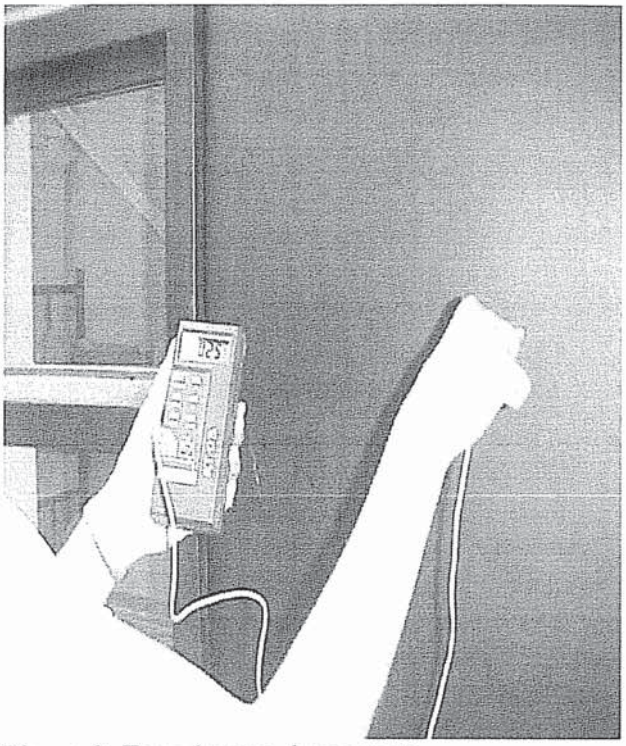


Figura 2. Termómetro de contacto

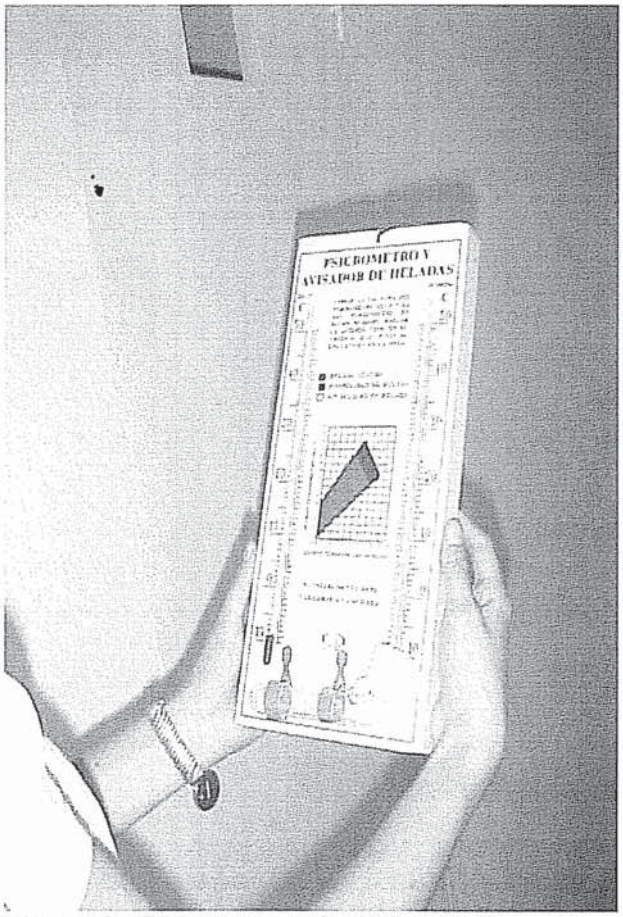


Figura 3. Termómetro de bulbo seco y bulbo húmedo

4 FOTOGRAFIAS DE LA TOMA DE DATOS

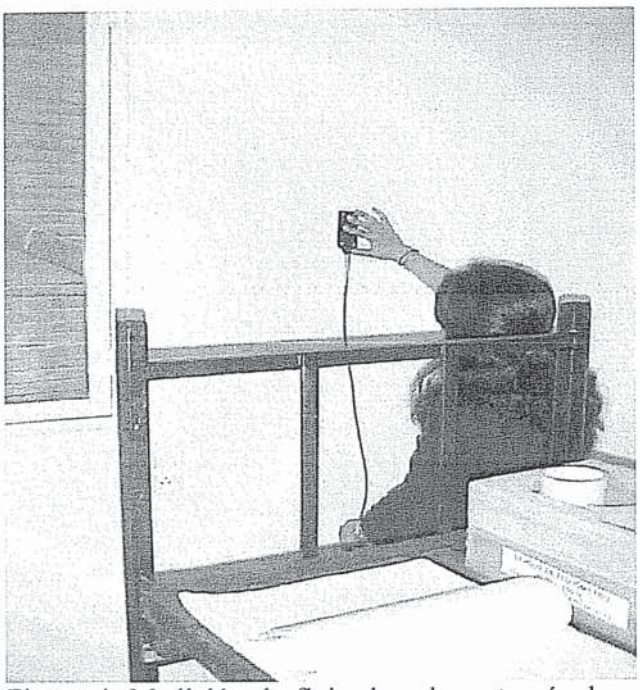


Figura 4. Medición de flujo de calor a través de paredes internas

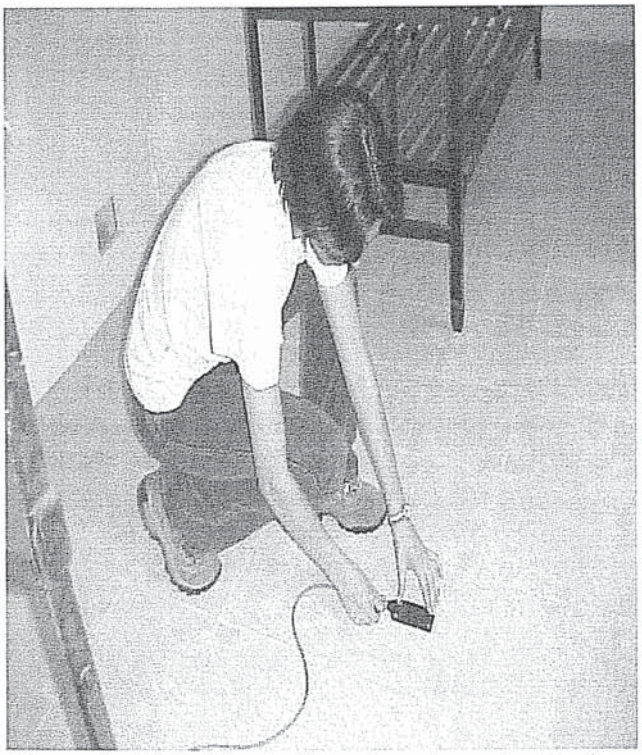


Figura 5. Medición de flujo de calor a través de pisos

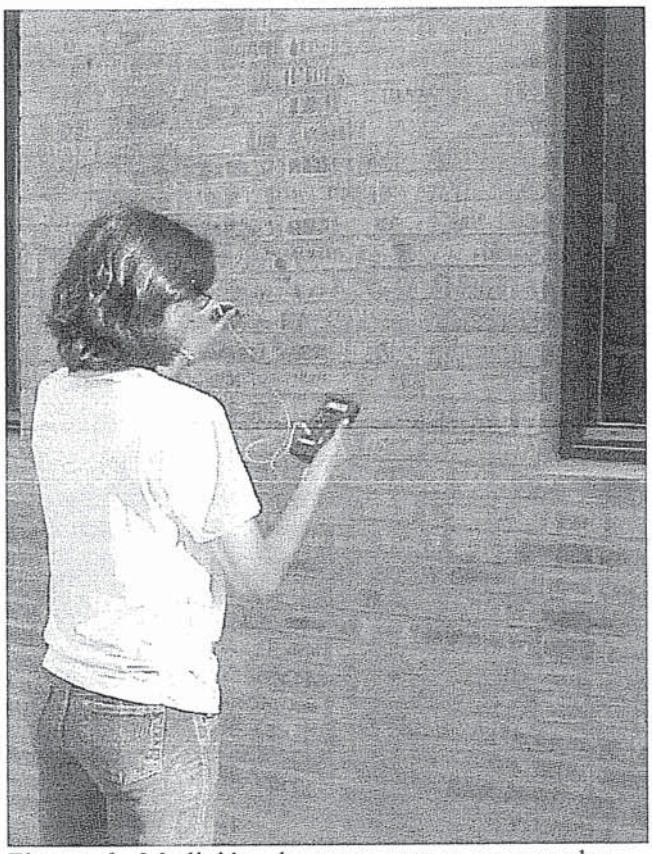


Figura 6. Medición de temperatura en paredes externas

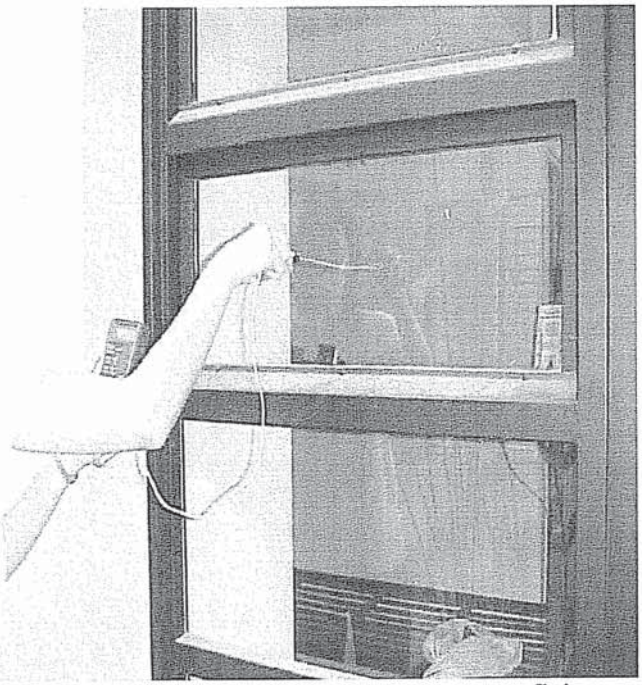


Figura 7. Medición de temperatura en superficies vidriadas

5 CONCLUSIONES DE LAS INVESTIGACIONES PRACTICADAS EN EL EDIFICIO DE LA RESIDENCIA UNIVERSITARIA DE LA FACULTAD REGIONAL MENDOZA UTN

El G calculado da un valor 2.36 veces mayor que el valor de G admisible (1.473 $W/m^3.K$) de acuerdo con lo que establece [3].
Este valor elevado puede deberse, entre otros, a los siguientes factores:

- El edificio no tiene ventilaciones cruzadas.
- El tipo de aventanamiento que presenta es reducido.
- Se han planteado aventanamientos hacia el oeste en un sector, siendo esta orientación la más desfavorable en Mendoza.
- No hay protección en ventanas para evitar el aporte de calor solar

6 RECOMENDACIONES

Dado que el G calculado es mayor que el G admisible, para satisfacerlo se puede aumentar la resistencia térmica de muros, techos o vidrios, así como actuar sobre la forma del edificio o implementando medidas correctivas, entre las que podemos mencionar:

- Selección de algún tipo de arbolado de hojas caducas, próximo al edificio.
- Protección del edificio contra el aporte solar colocando aleros en las ventanas.
- Cortinados de diversos tipos en las superficies vidriadas o superficies reflectoras de la luz solar.
- Colocar aislación térmica exterior en la loza del techo de cada torre.

7 REFERENCIAS

[1]Norma IRAM 11.603:1996, Acondicionamiento Térmico de Edificios. Clasificación Bioambinetal de la República Argentina

[2] Norma IRAM 11.605, Aislamiento Térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad en Edificios 1996 modificada 2002

[3] Norma IRAM 11.604:2001, Aislamiento Térmico de Edificios. Verificación de sus condiciones Higrotérmicas Segunda edición 2001-02-15.

8 BIBLIOGRAFIA

Norma IRAM 11.603:1996, Acondicionamiento Térmico de Edificios. Clasificación Bioambinetal de la República Argentina

Norma IRAM 11.604:2001, Aislamiento Térmico de Edificios. Verificación de sus condiciones Higrotérmicas Segunda edición 2001-02-15.

Norma IRAM 11.549, Aislamiento Térmico de edificios. Vocabulario, Tercera edición 2002.

Norma IRAM 11.605, Aislamiento Térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad en Edificios 1996 modificada 2002.

Norma IRAM 11.601, Acondicionamiento Térmico de Edificios. Métodos de calculo1996.

Norma IRAM 11.564, Acondicionamiento Térmico de Edificios. Determinación de las propiedades de Transmisión de Calor en Régimen Estacionario1997.

Norma IRAM 11.559, Acondicionamiento Térmico. Determinación de la Resistencia Térmica y Propiedades Conexas en Régimen estacionario.1991.

Consideraciones sobre el impacto del uso del suelo en estudios de Análisis de Ciclo de Vida conducentes a la definición de indicadores

B Civit & P Arena

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

RESUMEN: Los impactos de uso de suelo no han alcanzado el grado de desarrollo de otras categorías de impacto en las metodologías de evaluación de impactos de ciclo de vida, lo que condiciona la credibilidad de los resultados de algunos estudios.
En este trabajo se reportan consideraciones acerca de la metodología a seguir, y de las características deseables de los indicadores a adoptar para estudios de ACV de sistemas o productos cuya elaboración impacte tierras áridas, y se realiza un aporte para la resolución de la asignación de cargas ambientales al caso de la transformación del uso del suelo, siendo objeto de futuros desarrollos la definición de indicadores de categoría a utilizar.

1 INTRODUCCIÓN

La presión demográfica que se ha hecho substancial, sobre todo durante el último siglo, ha determinado una serie de consecuencias ambientales reclamando la atención de la sociedad. Problemas como el calentamiento global, el adelgazamiento de la capa de ozono, la gestión y disposición de residuos han acaparado largos años de esfuerzo de científicos y profesionales abocados al estudio de tales temas ambientales en el ámbito del Análisis de Ciclo de Vida (ACV).
El impacto asociado al uso del suelo ha comenzado a ser objeto de estudio en modo amplio en los últimos años. Mientras históricamente se prestó atención al suelo únicamente como proveedor de alimentos, fibras y energía, en la actualidad el uso del suelo se ha intensificado de tal modo que sus funciones como proveedor de recursos naturales (es decir, aquellos que son extraídos de la naturaleza para ser utilizados en procesos humanos), así como parte del ambiente natural (que da soporte a la vida, que participa de los ciclos del agua, carbón, nutrientes, y que actúa como filtro de sustancias tóxicas), se han hecho más evidentes.

En toda la extensión del planeta, las presiones sociales y económicas han determinado cambios en el uso del suelo a gran escala, con vastas áreas deforestadas en países en vías de desarrollo para dar lugar a nuevas urbanizaciones, expansión de la frontera agrícola, explotaciones mineras, etc. Por otra parte, en países desarrollados, se verifican a menudo situaciones inversas: el abandono de tierras agrícolas que encuentran usos más rentables, nuevas forestaciones para mejorar las condiciones ambientales a nivel local y global, etc.
Las actividades antrópicas, como la minería, la industria, la agricultura y el asentamiento humano intensivo están asociadas en mayor o menor medida a la transformación y ocupación del suelo. Ello conduce a la generación de impactos ambientales de relevancia, tanto sobre la biodiversidad como la calidad del suelo, referida a las funciones de soporte de vida. Por otra parte, se verifican otros impactos asociados al uso del suelo, participando en el impacto de calentamiento global, acidificación y eutrofización, ya que este interviene en mecanismos de absorción de CO2, en la amortiguación de deposiciones ácidas y modificando la tasa de nutrientes que llega a los lagos y ríos. Sin embargo, todos estos impactos estás adecuadamente

incluidos en las respectivas categorías de impacto dentro de las metodologías de Evaluación de Impactos de Ciclo de Vida (LCIA, su sigla en inglés), mientras que no existe consenso acerca de cómo cuantificar los dos primeros impactos citados asociados al uso de la tierra: pérdida de biodiversidad y calidad del suelo.

Motivan la falta de consenso el hecho de que varios aspectos relacionados con esta evaluación, tales como los niveles de referencia (estáticos o dinámicos), las funciones del suelo que requieren protección (no restringidas al interés humano), la incertidumbre acerca de la recuperación de las capacidades del suelo al finalizar la actividad en estudio, las unidades de medida, los indicadores a utilizar y su ubicación en las vías de impacto (midpoint o endpoint), la alocación de los impactos, la diferenciación entre el impacto debido a la transformación y la ocupación de la tierra, el período de tiempo sobre el cual se deben medir los impactos y la diferenciación por ecosistema entre otros, sean objeto de discusión.

Todo ello determina que el impacto asociado al uso del suelo no forme parte de la mayoría de los estudios de ciclo de vida, limitando así la validez de algunos estudios donde este impacto puede ser preponderante.

Resulta evidente que el impacto debido al uso del suelo dependerá del tipo de actividad (agricultura, minería, urbanización, industrialización, etc), del tipo de gestión (agricultura intensiva, agricultura orgánica), de las características del sitio donde se desarrolla (tierra fértil, árida o montañosa), de la ocupación previa de la tierra (tierra en estado natural que debe ser transformada, tierra que cambia de un tipo de actividad a otro, tierra que continúa con una actividad similar a la existente, etc), del tiempo que dura la actividad, y del área ocupada. Como consecuencia, es común distinguir entre impactos que se producen por la transformación[1] de las propiedades de la tierra (por ejemplo si un bosque virgen es talado para cultivar soja), y los que se deben a la ocupación[2] de la tierra sin transformación (si se cultiva soja en una tierra previamente destinada a ese uso).

Para cuantificar estos impactos es necesario comparar la calidad del suelo del caso en estudio con la calidad correspondiente a una referencia adecuada, que en general, es una referencia dinámica. Dado que puede existir un lapso de tiempo considerable entre el momento en que se usa la tierra (transforma y/o ocupa) y el momento en que se manifiestan plenamente los impactos producidos, el período de tiempo en el cual se deben medir los impactos no debe finalizar con la actividad estudiada, sino que debe continuar hasta que se alcance un nuevo estado estacionario en la calidad del suelo.

Debido a que el suelo provee de funciones de soporte para la vida, a través de su participación en el ciclo de nutrientes, el reciclado de materia orgánica, la regulación en la provisión y la calidad del agua, la participación en el ciclo del carbono y la provisión de la base para la producción primaria, resulta que los daños principales causados por el uso del suelo son: a la biodiversidad y a la calidad ecológica del suelo.

En lo que sigue se aborda la definición de los posibles modos en los que se puede considerar la diferenciación biogeográfica y los parámetros que pueden emplearse para distinguirlos, así como las características deseables de los indicadores a determinar, siendo objeto de futuros desarrollos la definición de indicadores de categoría a utilizar. Para ello se considerará uno de los fenómenos ambientales que es causado por el uso no sostenible del suelo: la desertificación.

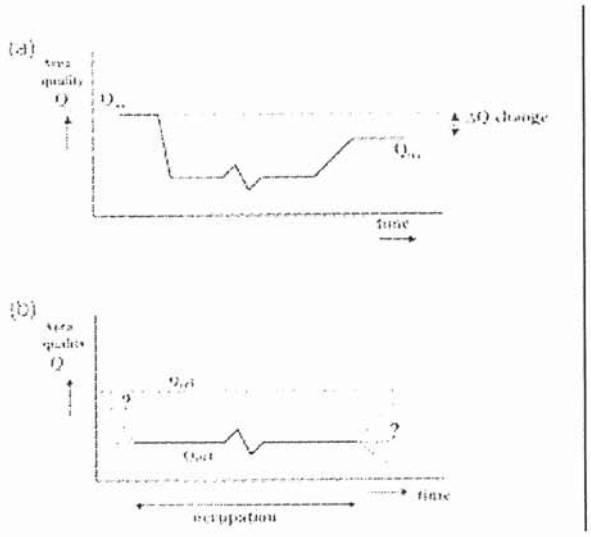


Figura 1. Dos aspectos sobre el uso del suelo: a) cambio neto en el uso del suelo y b) ocupación. [1]

[1] Implica el cambio de un área dada de acuerdo a los requerimientos de un determinado tipo de proceso de ocupación

[2] Se refiere al uso de un área con un fin humano controlado

2 DESERTIFICACIÓN

2.1 Definición de desertificación

En este trabajo nos referiremos a la desertificación entendida como *"la degradación de las tierras en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas resultante de diversos factores, tales como las variaciones climáticas y las actividades humanas"* [2]. Argentina es el país de América Latina con mayor extensión de tierras secas, subdividas en tierras áridas, semiáridas y subhúmedas secas, representando el 75 % del territorio argentino. La región centro oeste argentina presenta este tipo de tierra en toda su extensión y un riesgo frente a la desertificación que va de moderado a muy alto [3], [4]. Teniendo en cuenta estas características, es adecuado considerar la desertificación como un impacto relevante dentro de los efectos producidos sobre la biodiversidad y la calidad del suelo como consecuencia del uso no sustentable de los recursos naturales y económicos en el área considerada.

Desde 1974 existen en la región centro oeste argentina grupos que se dedican al estudio del fenómeno de desertificación desde el punto de vista físico ambiental y socio económico, especialmente a determinar el grado de desertificación que presentan las tierras secas del centro oeste argentino, y a establecer la sensibilidad de las mismas a sufrir desertificación, ya sea a causa de condiciones naturales como de presión antrópica. Numerosos programas de lucha contra la desertificación se han puesto en marcha con el objeto de estudiar las causas, efectos y problemas asociados a la misma. Es necesario comprender y medir los procesos de desertificación desde una perspectiva integradora, que permita analizar el estado de los recursos naturales y valorar el peso de las dimensiones socioeconómicas. La Convención para la Lucha contra la Desertificación de las Naciones Unidas (UNDC) recomienda el uso de indicadores y puntos de referencia, entendiendo como indicador de un fenómeno una descripción simplificada de la realidad [5].

Debido a que los usos no sustentables de las tierras secas conducen a la aparición del fenómeno de desertificación, en la metodología en desarrollo se propone incluir a la desertificación dentro de la categoría "uso del suelo", cuya intervención primaria es el "uso no sustentable de los recursos en las tierras secas", ocasionando diferentes impactos observables que afectan los ecosistemas y conducen a la degradación de las tierras áridas. Como consecuencia de tal degradación se puede verificar en las áreas afectadas pérdida de productividad biológica y económica, pérdida de calidad del suelo, pérdida de biodiversidad y/o daño sobre las funciones de soporte de vida. Los puntos finales (endpoints) sobre los cuales el fenómeno de desertificación impacta son los recursos, tanto bióticos como abióticos, y la calidad de los ecosistemas considerados. Asimismo puede presentar un fuerte impacto sobre la salud humana (Figura2).

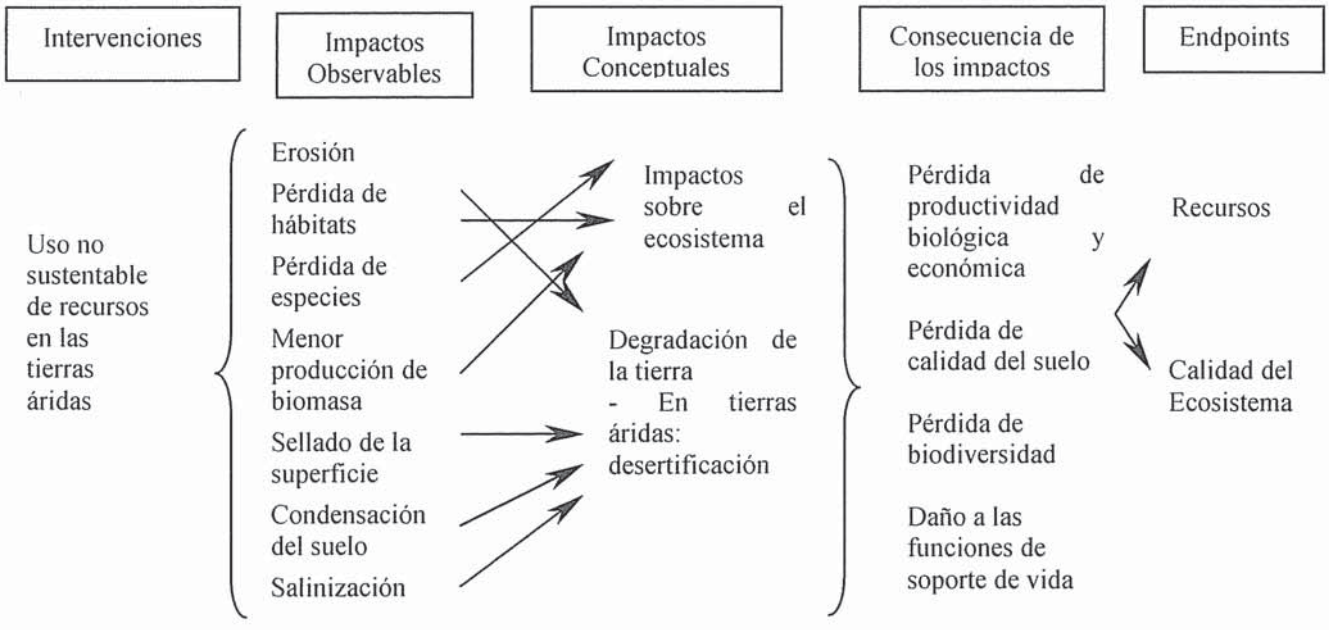


Figura2. Asignación de cargas ambientales. Adaptada de[9].

2.2 Causas antrópicas de desertificación

En el texto de la Convención para el Control y Lucha contra la Desertificación aparecen tres causas fundamentales que determinan el proceso de desertificación. Las mismas son: el sobrepastoreo, la deforestación y las prácticas agrícolas no sustentables. El efecto que se observa a partir de las dos primeras es la destrucción del estrato de vegetación protectora que cubre las regiones áridas y semiáridas provocando de este modo que tanto la erosión hídrica como la eólica ejerzan su acción sobre los estratos del suelo que presentan mayor fertilidad. Por otra parte, la agricultura no sustentable elimina nutrientes del suelo, salinizándolo, desecándolo, compactándolo o sellando su superficie, y así causa la acumulación de sustancias tóxicas comprometiendo su posterior uso en prácticas agrícolas subsiguientes[4].

3 ACERCA DE LA DEFINICIÓN DE INDICADORES

Dada la variedad de funciones del suelo y de daños que se pueden producir a partir de su uso, las diferentes realidades asociadas con ese uso (económicas, sociales, culturales, climáticas, orográficas, etc.) y la complejidad inherente al suelo, es difícil definir un conjunto de indicadores que condensen tal variedad de factores y que permitan cuantificar los daños asociados a una determinada función objetivo de un sistema o producto. Por otra parte, el número de indicadores deber ser pequeño debe ser pequeño para que puedan ser utilizados prácticamente, sin dejar de ser representativos. De acuerdo con Schomaker, los indicadores deben cumplir con los criterios de ser específicos, medibles, alcanzables, relevantes y limitados temporalmente (SMART es su sigla en inglés: Specific, Measurable, Achievable, Relevant and Time-bound) [6].

En el caso de los estudios de ACV, los indicadores asociados al impacto del uso del suelo deben tener en cuenta la distancia entre los valores actuales y los valores umbrales de degradación. En efecto, la misma intervención ambiental, asociada a la misma unidad funcional, puede producir impactos muy diferentes según la cercanía a los valores de umbral de degradación. Evidentemente, tal cercanía se debe a actividades del pasado, cuyo efecto puede haber sido inadvertido si los indicadores utilizados no fueron adecuados. Por ejemplo, de frente a las dificultades citadas para definir un conjunto de indicadores representativo, es frecuente utilizar los servicios que presenta el suelo como indicadores en lugar de utilizar sus parámetros intrínsecos. La productividad de las plantas, La productividad de las plantas es uno de estos indicadores, que puede ser fácilmente medida, y depende de muchos aspectos relacionados con la calidad del suelo, por lo que se utiliza a menudo. Sin embargo, esta no detecta los cambios acumulados que pueden ser relevantes una vez que las características del suelo se aproximen a los valores de umbral [7].

4 INDICADORES DE DESERTIFICACIÓN PROPUESTOS EN LA ARGENTINA A ESCALA NACIONAL Y LOCAL.

Existe consenso entre los países de América Latina y el Caribe en la definición de un conjunto de indicadores de desertificación que contempla tanto indicadores de estado, presión, respuesta e impacto. Así, se han definido 28 indicadores de estado, siendo algunos de ellos el índice de aridez, el índice de pobreza hídrica, las especies de flora y fauna en peligro de extinción; 13 indicadores de presión, entre los que podemos mencionar el porcentaje de suelo desnudo o albedo de superficie, el grado de erosión hídrica; 20 indicadores de respuesta como por ejemplo el número de instituciones vinculadas al estudio del agua y la existencia de normativa referida al suelo tanto a nivel nacional como provincial; y por último 6 indicadores de impacto, entre los que figuran tasa neta de migración y el porcentaje de población por debajo de la línea de pobreza. Sin embargo, no se ha llegado a un acuerdo fehaciente en cuanto a la metodología de medición de los mismos y en cuanto a las unidades en que se deben cuantificar para poder obtener un único valor que permita la comparación de dos situaciones diferentes. En este marco, la Argentina toma los indicadores propuestos que son aplicables a las condiciones regionales y locales y se propone una extensa lista de indicadores a escala nacional y local que incluye factores abióticos (clima, agua, suelo), factores bióticos (flora y fauna), factores socio-económicos (uso del suelo, población, pobreza) y factores institucionales (organizaciones sociales, políticas gubernamentales y no gubernamentales).

5 INDICADORES DE DESERTIFICACIÓN ADECUADOS PARA SU APLICACIÓN EN ACV.

Con la finalidad de adaptar los indicadores de desertificación a los estudios de ACV, se propone considerar como indicadores de presión únicamente los relacionados con causas antrópicas, mientras que los indicadores físico-biológicos se tendrán en cuenta como indicadores de fragilidad frente a la desertificación.

Teniendo en cuenta tanto los indicadores de desertificación desarrollados a nivel nacional y local como los indicadores para el uso del suelo propuestos en forma general para su aplicación en estudios de ACV que representen el daño causado sobre la biodiversidad y la calidad del suelo, tenemos un conjunto reducido de indicadores de desertificación que encuentren aplicabilidad en el marco del Análisis de Ciclo de Vida. Tales indicadores se resumen en la Tabla 1.

5.1 Indicadores resultantes

Tabla 1. Indicadores seleccionados

Indicador	Nivel	Marco Ordenador
Grado de erosión hídrica	Midpoint	Presión
Grado de erosión eólica	Midpoint	Presión
% de cobertura vegetal	Midpoint	Presión
% de cambios en la cobertura vegetal o variación de la misma	Midpoint	Presión
% de leña usada como combustible	Endpoint	Presión
Variación en porcentaje de la superficie destinada a distintos usos productivos	Midpoint	Presión

6 SOBRE LA ASIGNACIÓN DE CARGAS AMBIÉNTALES ASOCIADAS A LA TRANSFORMACIÓN DEL SUELO.

La asignación de cargas ambientales asociadas a la transformación de la tierra es un aspecto problemático, dado que al momento de realizar un estudio de ACV de un determinado producto o sistema es muchas veces difícil conocer cuántas unidades funcionales estarán asociadas a la transformación realizada [8]. Por ejemplo, ¿cuántos automóviles y camiones transitarán por una nueva ruta cuya construcción implicó una transformación del uso de la tierra, o cuál será la producción agrícolade un área que se recortó de un bosque natural, y qué proporción del daño causado será atribuible a cada Kg de cultivo?. Si bien ciertas actividades pueden tener una duración definida de antemano, como el caso de una explotación minera, por ejemplo, en muchos otros la duración de un proyecto particular no tienen una duración finita conocida.

Este trabajo se propone asociar el impacto de la transformación de la tierra con la cantidad de unidades funcionales que se estiman dentro de la vida útil técnica del proyecto (industria, mina, ruta). Luego de finalizado este período, el impacto asociado con la transformación puede considerarse como "amortizado" entre todas las unidades funcionales entre las que se repartió el daño. A partir de ese momento, únicamente se considerarán los daños asociados a la ocupación.

7 CONCLUSIONES

Los impactos de uso de suelo requieren especial atención debido a las dificultades encontradas para su inclusión en estudios de ACV. Su inclusión dentro de las metodologías de evaluación de impactos de ciclo de vida es necesaria, de modo de resolver uno de los puntos más críticos que ponen en tela de juicio la credibilidad de estudios de ACV de ciertos productos y sistemas donde estos impactos juegan un papel preponderante, mucho de los cuales están en el centro de la atención científica, tecnológica y social en la actualidad, como es el caso de los problemas energéticos con dos de los candidatos a jugar un rol relevante en los próximos años: la energía eólica y los biocombustibles, además de sectores que tradicionalmente han impactado el suelo como el de la construcción, la minería, la forestación, la industria y la agricultura. En la región centro oeste argentina, la desertificación es sin lugar a dudas el problema a resolver en cuanto a uso del suelo se refiere. Si bien mucho se ha hecho y se está haciendo para entender

y mitigar este fenómeno, no hay hasta el momento estudios orientados a la definición de indicadores aptos para ser asociados a productos y sistemas, tales como los requeridos en estudios de ACV.

Para aplicar estos indicadores, en la fase de inventario de ciclo de vida será necesario registrar información sobre el tipo de uso del suelo, su área y su intensidad medida en parámetros asociados a los indicadores que se adopten, así como de las condiciones físicas y climatológicas de la región.

En este trabajo se reportan consideraciones acerca de la metodología a seguir, y de las características deseables de los indicadores a adoptar para estudios de ACV de sistemas o productos cuya elaboración impacte tierras áridas, y se realiza un aporte para la resolución de la asignación de cargas ambientales al caso de la transformación del uso del suelo, siendo objeto de futuros desarrollos la definición de indicadores de categoría a utilizar.

8 REFERENCIAS

[1] E. Lindeijer, Review of land use impact methodologies, Journal of Cleaner Production, Vol 8, 273–281, 2000

[2] CCD/PNUMA, Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación en los países afectados por sequía grave o desertificación, en particular en África. Texto con anexos. Suiza, 71p., 1995

[3] M. Salomón & E. Abraham, Estudio de sensibilidad a la desertificación de las cuencas pedemontanas y precordilleranas de los ríos Tejo y Chacras de Coria, en E. Abraham, D. Tomasini & P. Maccagno (Ed.), Desertificación: Indicadores y puntos de referencia en América Latina y El Caribe, Zeta editores, pp 389, 2003.

[4] EM. Abraham, Lucha contra la Desertificación en las Tierras Secas de Argentina; el Caso de Mendoza, en El agua en Iberoamérica: De la escasez a la desertificación. CYTED XVII, Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, Aprovechamiento y Gestión de las Recursos Hídricos. Ed. A. Fernández Cirelli y E. Abraham, CYTED XVII y CETA, 27-44, 2002.

[5] E. Abraham, E. Montaña & L. Torres, Desertificación e indicadores: Posibilidades de medición integrada de fenómenos complejos, en prensa, 2006.

[6] M. Schomaker, Development of environmental indicators in UNEP, en Land Quality Indicators and their Use in Sustainable Agriculture and Rural Development. Proceedings of a Workshop organized by FAO, pp 35-56, Rome, 25-26 January, 1996.

[7] J. Romanyà, I Serrasoles & R.V. Vallejo, Defining a framework to measure soil quality, en Expert Workshop on Definition of Best Indicators for Biodiversity for Life Cycle Assessment (LCA), Guildford, Surrey University, June 2006.

[8] J. Guinée (Ed), M. Gorrée, R. Heijungs, G. Kleijn, A. de Köning, L. van Oers, A. Wegener Sleeswijk, S. Suth, HA. Udo de Haes, H. De Bruijn, R. Van Duin, MAJ. Huijbregts, E. Lindeijer, AAH. Roorda, BL. Van der Ven, 2001

[9] E. Lindeijer, Biodiversity and life support impacts of land use in LCA, Journal of Cleaner Production, Vol 8, 313-319, 2000.

Determinación del aislamiento acústico normalizado de un muro construido con bloques de hormigón rellenos con arena.

C.E. Boschi, S.G. Acosta, A.F. González, A. Esteves

cboschi@frm.utn.edu.ar; sacosta@graduados.utn.edu.ar; adofgon@lanet.com.ar
Laboratorio de Acústica y Sonido "Mario Guillermo Camín", CEREDETEC, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza.

RESUMEN: La construcción de muros con bloques de hormigón es una alternativa muy empleada debido a las múltiples ventajas que presenta. En una aplicación particular se requirió un alto aislamiento acústico entre recintos contiguos, para lo cual se procedió a rellenar los espacios huecos de los bloques de hormigón con arena. Debido a que no existen estudios de las propiedades acústicas de este conjunto constructivo, se procedió a la determinación de su aislamiento acústico normalizado utilizando métodos estándares y propios. Este informe comienza con una discusión de los factores básicos que controlan la transmisión del sonido a través de materiales. Posteriormente se describe la metodología seguida para realizar la determinación y finalmente se enuncian conclusiones.

1 INTRODUCCIÓN

Cuando se requiere una reducción significativa del ruido entre dos habitaciones, la pared o el piso que las separa debe transmitir sólo una pequeña fracción de la energía sonora incidente. La relación de la energía sonora incidente en el muro a la transmitida, expresada en decibeles se conoce como pérdida de transmisión (TL) [1]. Mientras menor es la energía transmitida, más altas son las pérdidas por transmisión. Para aplicaciones comunes, se puede requerir un rango de perdidas de transmisión de entre 30 a 70 dB. Tal reducción no puede conseguirse a menos que se eliminen todas las grietas y orificios que pueda haber en el muro de separación de las habitaciones, si el aire puede pasar de una habitación a la otra, también lo hará el sonido. En el presente estudio se asume la eliminación de los pasajes de aire. Para divisiones típicas, las perdidas por transmisión son mucho menores para sonidos de baja frecuencia que para sonidos de alta frecuencia. Para comparar convenientemente diferentes materiales constructivos, se determina el coeficiente acústico normalizado de los mismos. La construcción de muros con bloques de hormigón es una alternativa muy empleada debido a las múltiples ventajas que presenta. En una aplicación particular se requirió un alto aislamiento acústico entre recintos contiguos, para lo cual se procedió a rellenar los espacios huecos de los bloques de hormigón con arena. Debido a que no existen estudios de las propiedades acústicas de este conjunto constructivo, se procedió a la determinación de su aislamiento acústico normalizado utilizando métodos estándares y propios. A continuación se realiza una breve discusión de los factores básicos que controlan la transmisión del sonido a través de materiales a fin de aclarar la confusión que existe alrededor de estos conceptos.

2 CONSIDERACIONES PRELIMINARES

2.1 Conceptos básicos:

Desde el punto de vista de un receptor, el sonido es una sensación auditiva producida por ondas de presión generadas por el movimiento vibratorio de cuerpos, que se transmite por un medio elástico, normalmente el aire. A todo sonido no deseado se lo puede denominar como ruido. Por otra parte, los sonidos se pueden clasificar por su respuesta

subjetiva dependiendo de los niveles de presión sonora que producen. Si estos niveles son excesivos, a los sonidos, o ruidos se los califica de molestos.
Una de las maneras de medir los niveles sonoros y por lo tanto los de ruido es a través de la unidad conocida como decibel (dB). El decibel es una unidad logarítmica, utilizada en diferentes disciplinas de la ciencia, que relaciona dos parámetros y en consecuencia es adimensional. En todos los casos se usa para comparar una cantidad con otra llamada de referencia. El decibel, planteado en principio como "magnitud de relación'' de parámetros, puede utilizarse como "magnitud de medida" cuando a uno de los parámetros de referencia se le asigna un valor constante. En acústica, las relaciones que se encuentran con más frecuencia son variaciones de nivel de presión. La referencia que se utiliza es de 20 μPa. En consecuencia, los niveles de presión sonora expresados en decibeles se identifican como dB-SPL (Sound Pressure Level). A su vez a los decibeles se los afecta de diferentes curvas de ponderación según la aplicación. Los más comúnmente utilizados son: los decibeles A (dBA) y los decibeles C (dBC). Los decibeles C básicamente miden el sonido en cuanto a fenómeno físico. Los decibeles A, en cambio, miden la forma en que se lo percibe, así como su peligrosidad potencial para el oído.
Normalmente, un mismo ruido medido con la escala C resulta mayor que si se lo mide en la escala A, dado que en ésta casi no se tienen en cuenta los sonidos graves, la razón es que el oído es menos sensible a ellos, y además son menos peligrosos.
La escala en decibeles es logarítmica. A modo de ejemplos para entender esta escala es importante destacar que los susurros en una biblioteca suman 40 dB, una conversación o el motor de un ventilador llegan a 60 dB, un camión 80 dB; una discoteca 110 dB y un martillo neumático 120 dB. Esto significa que los 80 dB que genera un camión no duplican los 40 dB que reinan en una biblioteca, sino que como la escala es logarítmica, los centuplican.

2.1.1 Absorción acústica

La absorción acústica, consiste en aprovechar las propiedades de algunos materiales, sistemas o montajes de forma tal que transformen parte de la energía sonora que se genera en un determinado lugar, en otra forma no acústica de energía, generalmente térmica en forma de calor, cuyos valores son prácticamente despreciables.
Si bien éstas técnicas se desarrollaron originalmente para controlar la calidad acústica de salas destinadas a la buena reproducción de la palabra hablada o la música, tienen una intervención muy interesante en lo que a control de ruido se refiere. También se las aplica como complemento de los sistemas aislantes aumentando su eficiencia.
Para entender este fenómeno veamos el siguiente ejemplo: si a una esponja le echamos agua, parte la absorbe y parte la deja pasar debido a su porosidad. Lo mismo sucede con una onda sonora frente a una esponja, parte es absorbida y parte pasa. (ver Fig. 1). Cuanto más grande sea la esponja mayor cantidad de agua o de sonido va a absorber.

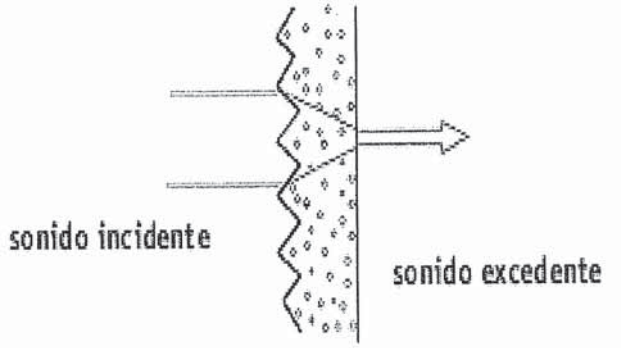


Figura 1. Esquema de incidencia de una onda acústica sobre un cuerpo de baja densidad.

Son materiales absorbentes, aquellos cuya composición celular de celdas abiertas intercomunicadas, permiten el paso de un flujo de aire, por lo tanto son acústicamente permeables.
La densidad, la porosidad y el grado de permeabilidad se regulan dentro de ciertos parámetros para obtener un factor de absorción elevado, de modo que no cualquier espuma es apta sino que las que se utilizan están desarrolladas específicamente para fines acústicos.
Siendo un material permeable aquel que disipa el sonido al ser atravesada su estructura celular, cuanto mayor recorrido deba éste transitar, mayor será también el porcentaje transformado en calor. Como regla práctica general hay que tener en cuenta que los mayores espesores abarcan un rango de frecuencias más amplio (desde los sonidos agudos hasta los graves) y los espesores menores actúan más eficientemente hacia los agudos, cayendo su rendimiento en los graves.
Los materiales fonoabsorbentes son particularmente útiles para controlar el tiempo de reverberación de los recintos.
Si bien esto puede no ser lo más importante en ambientes industriales, constituye uno de los objetivos esenciales de la acústica de salas.

2.1.2 Aislamiento acústico

La aislación sonora, es la técnica característica en la práctica del control del ruido. Consiste básicamente en dividir mediante barreras físicas, preferentemente con cierres totales, el sector que contiene a la o las fuentes sonoras del que se desea proteger, de tal manera que constituyan recintos estancos. Intuitivamente se puede concluir que las características que debe reunir un aislante acústico no solo no coinciden con las de los fonoabsorbentes, sino que son incompatibles.
En efecto, los materiales porosos al permitir el paso del aire permiten también el paso del sonido y en consecuencia no pueden tener propiedades aislantes. En general, puede decirse que un material o combinación de materiales tienen buen comportamiento acústico, cuando son pesados e impermeables al paso del aire. Es positivo que sean poco rígidos y deben conformar cierres herméticos.
Siguiendo con el ejemplo del agua, si interponemos en cambio una membrana impermeable el agua no pasa. Cuanto más pesada sea la membrana impermeable mayor resistencia tendrá al paso del agua. Lo mismo sucede con el ruido frente a una membrana impermeable y pesada, no pasa. (ver Fig. 2)



Figura 2. Esquema de incidencia de una onda acústica sobre un cuerpo de elevada densidad.

2.1.3 La ley de la masas

La primera variable normalmente considerada en la predicción de la transmisión de sonidos a través de un panel es su masa por unidad de area. Un incremento de las perdidas de transmisión es esperable con un aumento de la masa. Esto es porque mientras más pesado es el panel, menos vibra en respuesta a ondas de sonido y por lo tanto menos energía sonora se radía al otro lado. La ley de las masas predice que las perdidas de transmisión se incrementan en aproximadamente 6 dB cada vez que se duplica la masa superficial o la frecuencia. Un incremento en la masa se puede conseguir ya sea incrementando el grosor de los materiales o seleccionando materiales más densos. En principio todos los problemas de transmisión del ruido podrían ser resueltos incrementando la masa de las particiones, sin embargo consideraciones prácticas limitan la utilidad de esta opción.

3 OBJETIVO

El presente estudio se encuentra motivado en la necesidad de determinar el aislamiento acústico normalizado de un muro de bloques de hormigón rellenos con arena, siguiendo el procedimiento establecido por la Norma IRAM 4063:2002. "Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción" y métodos propios.

4 JUSTIFICACIÓN

El Código de Edificación de la Ciudad de Mendoza, (Art. II.4.3.b) establece que el coeficiente de aislación, entre dos unidades locativas diferentes, asegure una aislación acústica de 41 decibeles.
La bibliografía especializada consultada nacional [2] e internacionalmente [3] hace referencia a distintos tipos de materiales de construcción pero en ningún caso a la construcción realizada con este material así preparado.

El laboratorio de Acústica y Sonido de la UTN - FRM, cuenta con un laboratorio, construido específicamente para realizar este tipo de ensayos. El mismo cumple con lo especificado por la Norma IRAM 4063 y consta de dos recintos, uno emisor con superficie de 4,40m x 4,40m y uno receptor de 4,40m x 4,00m, y están aislados uno del otro tanto desde el punto de vista estructural como acústico, lo que le permite realizar este tipo de ensayos. (Ver Fig. 3)

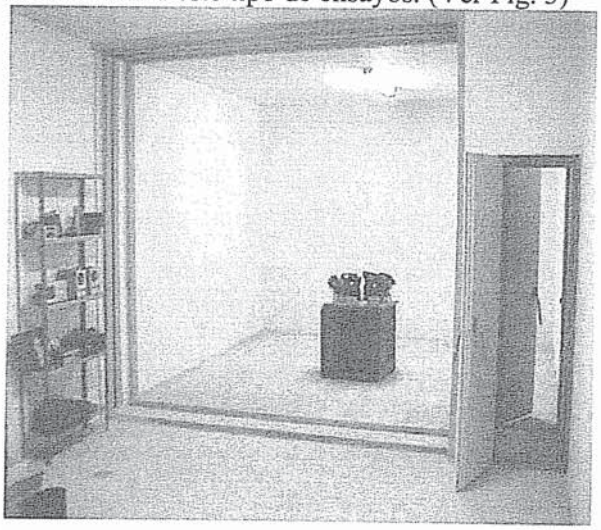


Figura 3: Vista interior del laboratorio de ensayos acústicos.

5 METODOLOGÍA

5.1 Descripción de la muestra

La muestra consta de un muro de bloques de hormigón, rellenos con arena y adheridos con mortero de cemento y arena. Las dimensiones de los bloques se pueden observar en la siguiente figura y están dadas en centímetros.

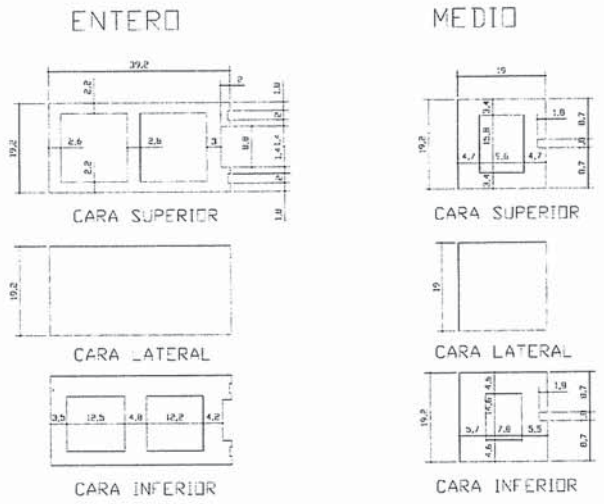


Figura 4. Dimensiones de los bloques empleados.

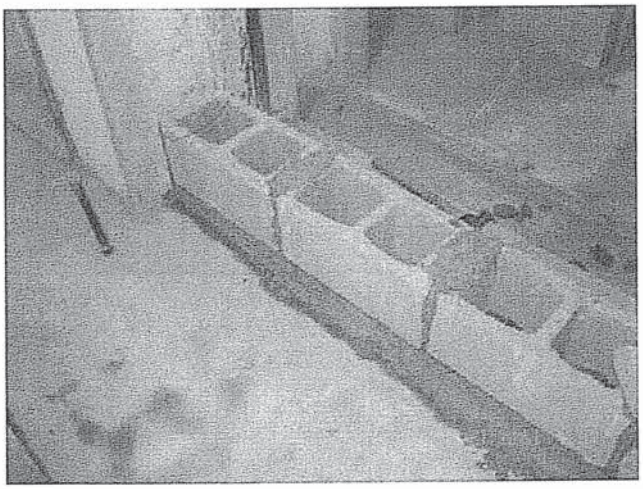


Figura 5. Vista del proceso de construcción de la muestra a ensayar: colocación de la hilada inicial sobre mortero de asiento.

El peso de los bloques vacíos fue de 15,880 kg el entero y de 10,420 kg el medio bloque. Los huecos de los bloques se rellenaron con arena común, compactada en forma manual mediante la punta de la cuchara de albañil a medida que se fueron colocando las sucesivas hiladas, tal situación se puede observar en la figura 6.

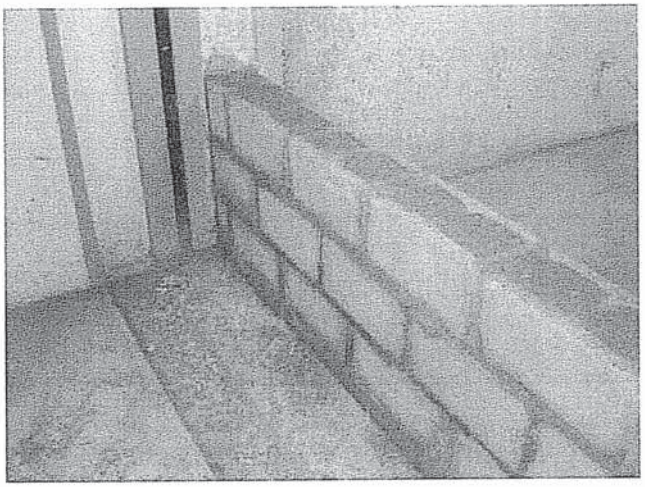


Figura 6. Vista del proceso de construcción de la muestra a ensayar: los bloques se rellenan con arena a medida que se van colocando las hiladas.

El mortero de asiento se coloco cubriendo toda la cara horizontal de la hilada anterior y en un espesor aproximado de 2 cm. A las juntas, tanto verticales como horizontales, en la cara hacia el recinto emisor, se les aplico a un bolseado con pasta cementicia (cemento y agua), procurando cubrir las oquedades que pudieron quedar durante la colocación de los bloques. (Ver Figura 7)

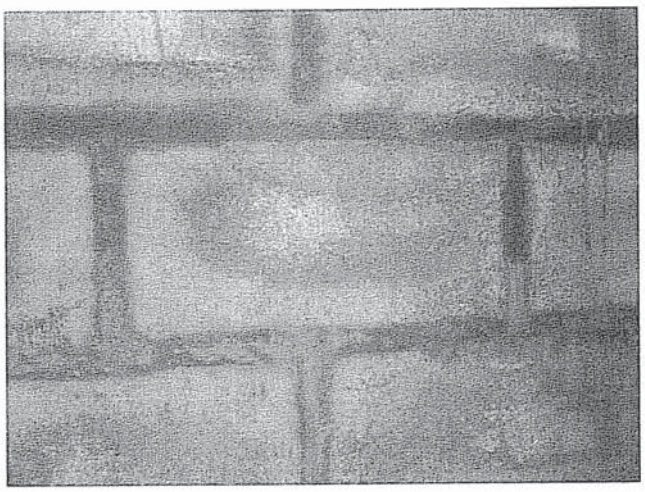


Figura 7. Vista del proceso de construcción de la muestra a ensayar: a las juntas de los bloques, tanto verticales como horizontales, en la cara hacia el recinto emisor, se les aplico a un bolseado con pasta cementicia.

Las dimensiones totales del muro ensayado fueron de 3,04 m de alto por 3,35 m de largo, cubriendo un área de 10,18m2 que corresponde al 76% de la pared lateral común a ambos recintos. (Ver Fig. 8)

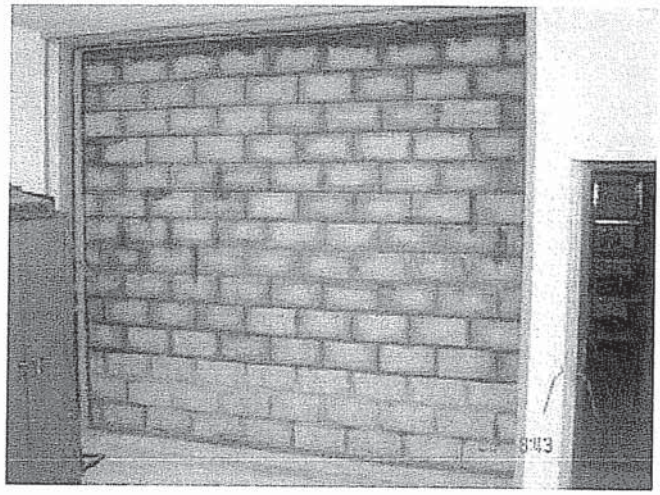


Figura 8: Vista del muro de ensayo

5.3 Ensayo acústico

5.3.1 Medición en laboratorio del aislamiento acústico al ruido aéreo de los elementos de la construcción (IRAM 4063 Parte 3).[4].

El método de medición se encuentra descrito en la Norma IRAM de referencia, pero básicamente consiste en generar un nivel sonoro adecuado a un lado del muro que se está ensayando y medir cuanto es el nivel sonoro del otro lado. El sonido en el recinto emisor fue estacionario y tuvo un espectro continuo en las frecuencias consideradas (125 – 250 – 500 – 1000 – 2000 Hz.).
La nivel de presión sonora se adoptó en aproximadamente 100 dB, verificando que en todo el rango de frecuencias, el nivel de presión acústica en el recinto receptor sobrepasara en 10dB el nivel de ruido de fondo.
La medición del nivel de presión sonora en ambos recintos, se obtuvo del promedio en el espacio y el tiempo. Se tomaron 30 mediciones y para cada medición se adoptaron 6 posiciones fijas en cada recinto y para cada tipo de frecuencia.

6 RESULTADO DE LOS ENSAYOS

Los resultados de las mediciones acústicas a las distintas frecuencias consideradas, se presentan en Tabla 6.

El resultado de aislación acústica del muro construido con bloques de hormigón rellenos con arena, se presenta en Fig. 9.

Tabla 6: Resultado de mediciones a distintas frecuencias en las distintas posiciones.

VALOR MEDIO PARA BANDAS DE OCTAVA; [dB]					
MEDICION (N = 6)	FRECUENCIAS; [Hz]				
	125	250	500	1000	2000
1	45,37	47,51	56,46	55,23	60,25
2	41,31	55,56	55,02	59,32	61,27
3	46,38	54,12	53,56	59,82	60,63
4	45,01	50,57	56,04	58,97	58,92
5	43,62	52,04	57,99	59,18	55,11
6	46,16	57,26	52,37	54,88	59,06
7	43,92	54,85	53,53	59,87	65,63
8	43,86	55,87	57,84	56,60	54,08
9	40,97	39,94	53,95	59,03	57,89
10	46,31	49,47	56,35	57,06	57,12
11	45,10	48,16	55,38	56,62	58,06
12	45,41	43,90	54,03	54,27	60,22
13	41,11	43,92	51,23	62,48	61,22
14	42,68	53,96	55,43	60,59	61,85
15	43,46	49,36	56,99	52,45	49,14
6	46,56	47,66	53,99	60,98	56,44
17	42,83	45,36	57,08	65,39	61,41
18	43,29	51,31	52,07	60,86	50,31
19	42,45	52,48	61,19	60,08	63,48
20	42,54	42,90	59,69	60,46	63,79
21	44,12	52,09	54,42	63,24	65,79
22	44,73	53,02	54,64	59,79	56,84
23	41,23	55,35	52,51	61,11	63,88
24	42,57	48,91	52,16	57,99	60,11
25	42,63	49,91	56,07	59,57	59,63
26	48,31	43,15	60,39	63,03	60,85
27	43,35	50,98	53,46	60,24	51,11
28	46,24	54,00	55,93	60,50	56,60
29	41,40	54,84	53,30	62,20	53,93
30	45,23	51,69	54,16	59,84	60,94
Media	**43,93**	**50,34**	**55,24**	**59,4**	**58,85**
Desv. Est.	**1,91**	**4,47**	**2,48**	**2,82**	**4,22**

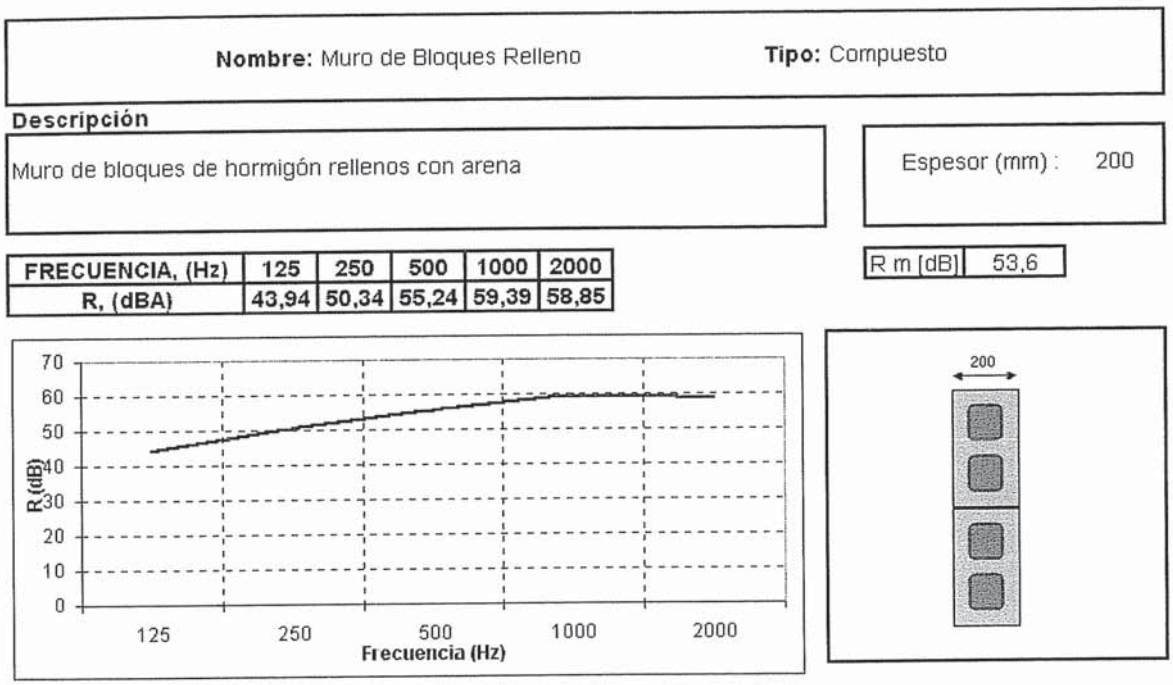


Figura 9: Ficha y gráfico resumen con el aislamiento acústico normalizado del muro de bloques rellenos con arena.

7. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo con el análisis realizado se puede establecer lo siguiente:

- El valor obtenido de resistencia acústica de un muro de bloques de hormigón rellenos con arena, hace apto este tipo de muro, al cumplir con las exigencias del "Código de Edificación de la Provincia de Mendoza"[5], en cuanto al aislamiento acústico de 41dB requerido entre unidades locativas diferentes (II.4.3.b).

- El valor obtenido de resistencia acústica de un muro de bloques de hormigón rellenos con arena, hace apto este tipo de muro, al cumplir con las exigencias de la Disposición N° 18 para el Plan Federal de Infraestructura y Vivienda, el cual recomienda que en viviendas apareadas o en tiras, los muros divisorios entre unidades tengan en toda su estructura una resistencia acústica mínima de 48 dB.

8. INSTRUMENTAL UTILIZADO

- Medidor de Nivel Sonoro portátil "Extech Instruments" Modelo 407762 - N° de Serie 990104198. Este instrumento está diseñado de acuerdo a la norma IEC651 tipo 2, ANSI S1.4 Tipo2, para mediciones de campo, con las siguientes características:

  - Rangos desde 30 dB a 130 dB a frecuencias entre 20 Hz y 8 Khz.
  - Display LCD de cuatro dígitos con una resolución de 0,1 dB.
  - Con dos filtros de ponderación de niveles de presión sonora, A y C.

- Interfase RS232 para descargar datos a una P.C.
- Capacidad de almacenamiento no - volátil de hasta 4048 muestras.

- Medidor de Nivel Sonoro "Lutron" Modelo SL-4011 - N° de Serie L086149. Este instrumento está diseñado de acuerdo a la norma IEC651 tipo 2, ANSI S1.4 Tipo2, para mediciones de campo, con las siguientes características:
  - Rangos desde 30 dB a 130 dB a frecuencias entre 20 Hz y 8 Khz.
  - Display LCD de cuatro dígitos con una resolución de 0,1 dB.
  - Con dos filtros de ponderación de niveles de presión sonora, A y C.



Figura 10. Medidores de nivel sonoro empleados.

- Calibrador Acústico "Extech Instruments" para Medidor de Nivel Sonoro Modelo 407769 - N° de Serie 010513264. Este instrumento está diseñado de acuerdo a la norma IEC942 tipo 2, ANSI S1.40 - 1984, con las siguientes características:
  - Rangos de calibración para 94 dB y 114 dB con un tono de 1 Khz.
- Generador de señales de Audio Frecuencia "Topware". N° de serie 668318.
- Osciloscopio Digital Tektronic - 60 MHz. N° de Serie B127706.
- Amplificador de potencia de Audio 250 W.
- Gabinetes acústicos

9 AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración del Arq. Daniel Gelardi por la provisión de los materiales ensayados.

Se agradece la colaboración siguiente personal:
Sr. Gabriel Muñoz Vargas y Srta. Silvina Lucero por la tarea de recolección de datos.

10 REFERENCIAS

[1] M. Recuero López, Ingeniería Acústica, Editorial Paraninfo, 1995.
[2] Norma IRAM 4044: 1985. "Aislamiento acústico mínimo de tabiques y muros".
[3] M. Recuero López, Acústica Arquitectónica Aplicada, Editorial Paraninfo, 1999.
[4] Norma IRAM 4063: 2002. "Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción".
[5] Código de construcciones sismo resistentes para la provincia de Mendoza, julio de 1994.

Caracterización de residuos de la construcción. Aplicación de los índices de generación a la gestión ambiental

I.T. Mercante
mercantei@yahoo.com
Maestría en Ingeniería Ambiental, 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 gestión de los mismos es realmente desconocida y desordenada en la mayoría de los países, entre ellos, Argentina. La problemática fundamental de estos residuos es su gran peso y volumen, en consecuencia las dificultades en cada etapa de la gestión. En cualquier estrategia de gestión de residuos sólidos es fundamental conocer qué y cuánto se genera, pues la planificación se abordará de acuerdo a estos datos. La cantidad y composición del flujo de residuos son variables, fundamentalmente, según el tipo de obra y actividad. Se exponen los resultados de la caracterización física de residuos de construcción para una obra de tipo residencial, y se propone una metodología de elaboración de un Plan de Gestión Interna de residuos a partir de los índices obtenidos.

1 INTRODUCCION

La actividad de la construcción y de la demolición genera residuos sólidos, que se denominan RCD, "Residuos de la Construcción y Demolición".
En general, es reconocido que estos residuos presentan bajo riesgo a la salud humana y al ambiente, en relación a los residuos sólidos municipales. La problemática fundamental de gestión y disposición de los mismos se refiere a su gran volumen, y por lo tanto, a los costos de transporte y al espacio necesario disponible que ello implica. No obstante, se debe considerar una fracción de residuos peligrosos en su composición que habrá que gestionar adecuadamente a fin de prevenir daños ambientales.
Los RCD representan una fracción importante del total de residuos sólidos generados en una ciudad. Ref. [1].
Este trabajo tratará sobre la fracción de los RCD correspondiente a la actividad de la construcción, incluyendo obra nueva, ampliación y reparación de construcciones existentes.
Desde el punto de vista empresarial, si se quiere incluir a la construcción como actividad sustentable, habrá que considerar prácticas de producción limpia en las obras aplicadas a la selección de materiales, las tecnologías limpias y las soluciones constructivas adecuadas. Hay razones ambientales para ello, pero también económicas, de seguridad laboral e imagen institucional.
En Argentina no existe legislación específica sobre la clasificación, gestión y vertido de los RCD, incluyendo en esta categoría a los RESCON.
Algunas reparticiones nacionales, tal como la Dirección Nacional de Vialidad ha redactado Manuales de Gestión Ambiental específicos para obras viales, donde ha incluido capítulos referidos a la gestión de residuos RCD.
La fracción de residuos peligrosos que pueden encontrarse en los residuos RCD, deben encuadrarse en la Ley Nacional N° 24051 sobre Residuos Peligrosos.

2 CLASIFICACION DE LOS RESCON

Se define Residuos de Construcción, RESCON, al material residual que se produce en procesos de construcción, renovación o ampliación de estructuras. Los componentes típicos incluyen hormigón, asfalto, madera, metales, yeso, cerámicos o baldosas, tejas, ladrillos y vidrios.

1. Según el origen y la fuente de generación de los RESCON se clasifican en: Materiales de limpieza de terrenos, Materiales de excavación, Residuos de obras, y Residuos resultantes de construcción nueva, de ampliación o reparación (obra menor).

Del análisis de esta última clasificación se observa que un amplio segmento de la actividad económica está involucrada en su generación: desde constructores de viviendas individuales a desarrollos comerciales generales, empresas de construcción en general, especialistas en excavación, entre otras.

2. Según su naturaleza, se clasifican en: Residuos inertes, no peligrosos o no especiales y peligrosos. Los primeros son los que no presentan ningún riesgo de polución del agua, del suelo y el aire, aquellos que no experimentan transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas y son plenamente compatibles con el medio ambiente; los segundos, son los que pueden ser almacenados o tratados en las mismas condiciones que los residuos domésticos; y finalmente los residuos especiales o peligrosos, son los que tienen características que los hacen potencialmente peligrosos, tales como sustancias inflamables, tóxicas, corrosivas, irritantes, cancerígenas.

3 POSIBILIDADES DE GESTIÓN. JERARQUIZACIÓN DE ACCIONES

Las alternativas de acción para una eficaz gestión ambiental de los RESCON en general son diversas, y es necesario establecerlas y definir una jerarquía de prioridades, que ordene de modo decreciente el interés de las acciones posibles. Ver Fig. 1.

- Reducir, es una acción de prevención, que trae aparejadas como ventajas la disminución de los gastos de gestión y el ahorro en materia prima. Además el consumo de energía por transporte se reduce, los costos por disposición final son menores (cuando se paga una tasa de vertido), se generan menos impactos ambientales ocasionados por el transporte y la gestión en general.
  Esta premisa comienza por la incorporación de esta exigencia desde el proyecto mismo. Todos los que intervienen en el proyecto deben buscar soluciones ingeniosas de manera de reducir la cantidad de materiales, y en consecuencia los residuos.

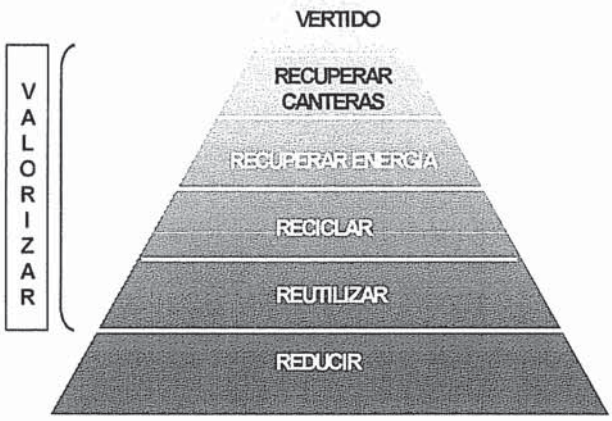


Figura 1. Jerarquización de acciones para la gestión de los RESCON

- Reutilizar, es una actividad que involucra la reaplicación de un material de modo que mantiene su forma e identidad original. Los elementos constructivos que pueden ser regenerados o reutilizados directamente, tienen un valor económico más alto que considerados como simples residuos.
- Reciclar, es la operación que incorpora a los residuos en un proceso en el que el material residual requerirá ser tratado, y luego sometido a un proceso de elaboración junto con otros insumos. La naturaleza de los materiales que componen los residuos determina cuáles son reciclables y su utilidad potencial.
- Recuperar energía de los residuos. Implica valorizarlos energéticamente. El objetivo es eliminar su toxicidad y a la vez aprovechar su poder calorífico.
- Recuperar materia de los residuos. Se refiere a la restauración de áreas, ya sea restituyendo un espacio degradado a su estado original o integrándolo paisajística y ambientalmente.
  Las áreas degradadas por explotación de canteras son prioritarias para disponer la fracción inerte de los RESCON. Dicha fracción representa la mayor parte del volumen generado, entre un 70 % y 80%.
- Disponer en vertedero controlado: finalmente, y después de agotar las alternativas descriptas, los residuos sobrantes deben ir a vertedero controlado,

según su naturaleza, en depósitos de inertes, de residuos no especiales y de residuos peligrosos. Esta última, es la clasificación adoptada por la CEE (Comunidad Económica Europea) y a la que se adhiere en este trabajo. Si el residuo es inerte, se debe disponer en un vertedero controlado de inertes; si es "no especial", se puede disponer en vertederos de residuos domiciliarios; y si es especial, ha de ser depositado en vertederos específicos para residuos peligrosos, y en algunos casos sometidos a tratamiento.

Evidentemente que para que sea factible cumplir con la jerarquización de actuaciones mencionada deben darse ciertas condiciones técnicas, económicas y legales que las apoyen.

4 CARACTERIZACION DE RESCON

La cuestión es conocer cuánto residuo se produce, de qué tipo, y si existe un uso secundario o no. Para afrontar este desafío es que se debe conocer dos características importantes del flujo de RESCON: composición y cantidad. Ambas son elementos esenciales pues ejercen un impacto directo sobre la valoración y elección de las diferentes técnicas de tratamiento y evacuación.

El conocimiento de la composición permite identificar los impactos potenciales al ambiente asociados a su disposición final. Además, para la disposición en vertedero la composición tiene un impacto directo sobre la densidad conseguida in situ, que a su vez determinará la capacidad del vertedero y la vida útil del mismo.

Los datos sobre caracterización se pueden utilizar también para determinar los compuestos químicos potenciales que, probablemente, serán emitidos en forma de lixiviados, cuando las aguas de lluvia se filtren en el vertedero.

Por lo dicho, se puede concluir que el propósito fundamental de un estudio de caracterización de residuos es proporcionar una información útil que permita al gestor de los mismos valorar las alternativas viables para la reutilización, el reciclaje y la disposición final.

La composición y cantidad de los RESCON varía principalmente de acuerdo a los siguientes parámetros: el tipo de estructura: residencial, industrial, comercial, vial, puentes, diques, canales de riego; el tamaño de la estructura: edificios en altura respecto de un casa en planta baja; la ubicación geográfica: rural o urbana, entre naciones, entre provincias, debido a factores tales como economía y población, o factores políticos y sociales; el tipo de actividad generadora: construcción o renovación; y el tipo de construcción: tradicional de fábrica o prefabricada.

4.1 *Cantidad*

La cantidad de RESCON varía de una comunidad a otra debido a la demografía histórica y al crecimiento y desarrollo actual de cada una.

Existe incertidumbre y diferencias en los datos aportados por distintos países por causa de las distintas regulaciones al momento de definir los RESCON. En EE.UU, Ref. [2] distintos Estados definen sus RESCON incluyendo o excluyendo algunos componentes tales como tierras de relleno limpias o alfombrados. Por lo tanto a la hora de comparar resultados esto deberá tenerse en cuenta.

Las metodologías para estimar el peso y volumen de estos residuos incluyen el análisis de las tendencias de la población, permisos de construcción, tipos de proyectos de construcción, tendencias en el pasado, presentes y futuras. Ref. [3]. Estos análisis se complementan, verifican y nutren de resultados de muestreos puntuales. Ref. [4].

Las unidades básicas para las cantidades de RESCON son: ton/m^2, m^3/m^2, tn/día, tn/percápita/año, ton/año, ton/trabajo (en el caso de renovaciones). Cada una tendrá una aplicación diferente según el objetivo de la caracterización.

Las unidades más frecuentemente utilizadas son ton/m^2, al referirse a la generación de residuos en relación a los metros cuadrados construidos; y ton/día, para las cantidades de residuos entregadas a una instalación de tratamiento o disposición final.

En nuestro país, salvo casos puntuales, no se han estimado datos de generación a a la fecha, siendo esto una condición indispensable para la planificación de su gestión.

4.2 *Composición*

La composición de los RESCON refleja en sus componentes mayoritarios 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.

La CEE ha abordado el tema de la composición según una política de gestión orientada al reciclaje de los residuos, es decir, los relaciona a la

separación selectiva, la recogida selectiva y también su característica de peligrosidad.
En este sentido los RESCON, como parte de los RCD, han sido agrupados en las categorías siguientes:

(i) peligrosos y potencialmente peligrosos
(ii) no inertes que justifican una separación y recogida selectiva
(iii) inertes que justifican una separación y recogida selectiva.

Un simple listado de componentes típicos se presenta a continuación:

- Asfaltos: restos de membranas aislantes, pavimentos, pinturas asfálticas.
- Ladrillos: restos de ladrillos rotos, descartes, losetas cerámicas
- Hormigón simple (sin acero)
- Teja cerámica
- Vidrios: espejos, ventanas, vidrios decorativos.
- Tierra limpia, polvo, suelo.
- Porcelanas, incluyendo artefactos de baño.
- Metales ferrosos: despuntes de hierro, cañería de hierro para electricidad
- Metales no ferrosos: perfiles de bronce, cables de cobre, tubos galvanizados; aluminio, acero.
- Maderas: restos de encofrados, restos de pisos entablonados, machimbres, restos de vigas; marcos, puertas.
- Plásticos: cañerías, envoltorios, guardacantos, envases, laminas de polietileno, pisos de vinílico.
- Techados: aislantes, tejas cerámicas.
- Revestimientos: cerámicos, calcáreos.
- Papel: cartón corrugado, envoltorios.
- Restos de hormigón, mezclas de cemento y cal, morteros.
- Residuos especiales: excedentes de pinturas y envases, adhesivos, aceites residuales, grasas, lubricantes, líquido de frenos, residuos puntuales, tles como baterías y tubos fluorescentes, constituyentes inseparables de la madera tratada, y formaldehído de las alfombras.

La composición obtenida de diferentes centros de investigación en Estados Unidos, Ref. [5], para distintas construcciones muestran una alta variabilidad en los porcentajes correspondientes a los distintos tipos de residuos, y ello es esperable por la gran variedad que existen de prácticas y tipos de construcción.
La recolección de datos fue hecha además, bajo diferentes condiciones y nivel de detalle.

5 CARACTERIZACION DE RESIDUOS GENERADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE UN CONJUNTO RESIDENCIAL

Se realizó el seguimiento de la construcción de una obra de edificación residencial compuesta por ocho viviendas unifamiliares. La superficie de cada una fue de 64,8 m². La duración del proyecto se extendió por un plazo de 7 meses.
Las mediciones de peso y volumen de todos los residuos generados se efectuó durante la etapa de construcción de obra gruesa de las viviendas, pues los acabados no estaban contemplados en el proyecto de construcción de las mismas.
Los residuos fueron recogidos en forma selectiva y se clasificaron en nueve categorías de RESCON, definidas de la siguiente manera:

1. Madera: restos de encofrados, restos de machimbre.
2. Hormigón: escombros sobrantes del hormigón de fundaciones y de demolición por errores de obra o cambios en el proyecto.
3. Yeso: restos de pasta de yeso utilizada para la ejecución del cielorraso en el sector de techo de losa.
4. Metales: trozos de hierro de las armaduras de vigas y columnas, trozos de alambre, clavos.
5. Papel y cartón: bolsas de cemento y cal, tubos de soporte de la membrana asfáltica, cajas de cartón corrugado.
6. Plásticos: embalaje de ladrillos, botellas PET, bolsas varias.
7. Ladrillos: ladrillos rotos, descarte por mala calidad, demolición por errores de obra.
8. Mezclas: todo tipo de restos de morteros de asiento de ladrillos y revoque, incluye material de barrido de las áreas de trabajo.
9. Losetas: restos de los elementos livianos de cerámica utilizados como relleno en las losas de viguetas prefabricadas.

Cabe aclarar el suelo procedente de la excavación se utilizó como relleno de fondo de lotes. Por otra parte al iniciar el seguimiento ya se había realizado el movimiento de suelo para dar los niveles de terreno en la obra.
La Tabla 1 y la Figura 2 indican los resultados obtenidos expresados en peso (kg.), la Tabla 2 y la Figura 3, en volumen (m^3).
Las determinaciones efectuadas permiten obtener distintos Índices de generación de residuos referidos a la superficie construida, de utilidad tanto para el poseedor de los residuos, como para la administración encargada de controlar su gestión. La

Tabla 3 indica la utilidad de estos índices en cada caso.

Tabla 1: Índices de generación Ic, por categoría de RESCON en peso

Clasificación	Categoría	Cantidad (kg)	Ic
Inertes	Ladrillos	10628	20,50
	Mezclas	18445	35,58
	Escombro Hº	1035	2,00
	Losetas	389	0,75
Total inertes		30496	58,83
Reactivos o no especiales	Hierro	95	0,18
	Plásticos	69	0,13
	Papel	220	0,42
	Madera	680	1,31
	Yeso	1765	3,40
Total no especiales		2828	5,46
TOTAL GENERADO			64,28

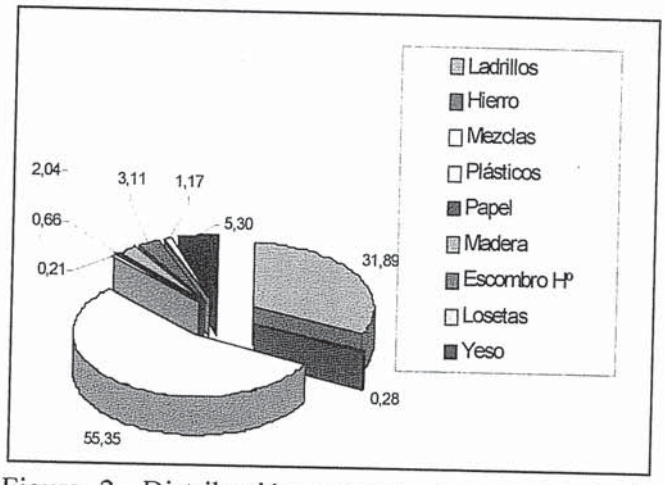


Figura 2: Distribución porcentual en peso de la fracción de RESCON generadas

De la misma forma pueden calcularse Índices de generación agrupando los residuos por etapa de obra. Ver Tabla 3.

Tabla 3. Índices de generación por Etapas Ive

Etapa	Vol (m^3)	Ive (m^3)
Fundaciones	0,71	0,001
Cierres	46,84	0,090
Techo losa c/aisl.	0,75	0,003
Techo madera	0,53	0,002
Contrapiso	3,6	0,007
Cielorraso yeso	2,77	0,010

Tabla 2: Índices de generación Iv, por categoría de RESCON en volumen

Clasificación	Categoría	Cantidad (m^3)	Iv
Inertes	Ladrillos	13,53	0,026
	Mezclas	18,64	0,036
	Escombro Hº	1,13	0,002
	Losetas	0,75	0,001
Total inertes		34	0,066
Reactivos o no especiales	Hierro	0,59	0,001
	Plásticos	1,50	0,003
	Papel	10,65	0,021
	Madera	7,73	0,015
	Yeso	2,77	0,005
Total no especiales		23	0,045
TOTAL GENERADO			0,111

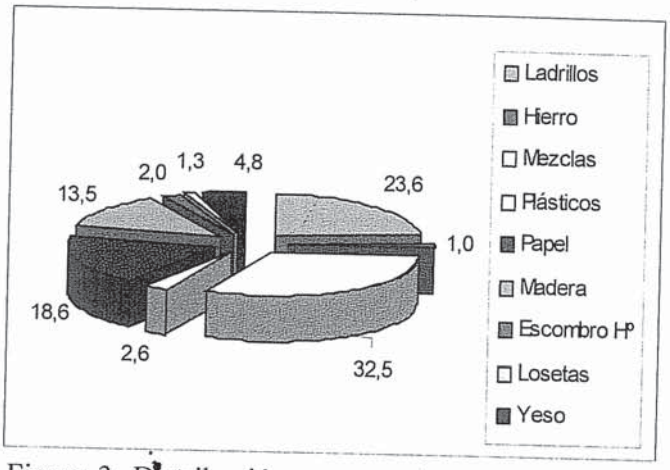


Figura 3: Distribución porcentual en volumen de la fracción de RESCON generadas

6 OBSERVACIONES AL MANEJO ACTUAL DE LOS RESCON

La gestión de los RCD es el manejo y control de los mismos en las distintas etapas por las cuales debiera pasar el flujo de los residuos: generación, recogida, transporte, tratamiento y disposición final.

En general, el sector de la construcción no realiza la segregación de residuos, ni gestiona los residuos peligrosos como tales. Este hecho aumenta los riesgos de contaminación, Ref. [6], al medio ambiente, pues prácticamente el 100% de los RESCON generados se destina a eliminación por vertido incontrolado.

Al día de hoy, ninguna de las empresas constructoras que trabajan en Mendoza están inscriptas en el registro de generadores de residuos peligrosos La recogida en obra es en general caótica, presentándose amontonamientos de residuos en distintos o en un mismo lugar de la obra, o también en su perímetro o vías de circulación peatonal vecinas. Esta forma de actuar ocasiona problemas de tipo ambiental, y además dificulta la productividad de la obra y aumenta el riesgo de accidentes.
La recogida antes del transporte se realiza generalmente en forma manual, mediante paleo o lanzamiento directo de los residuos al contenedor. En el caso de edificaciones de varios pisos, se realiza el descenso de los residuos con la misma grúa que se dedica al movimiento de insumos, o se colocan mangas metálicas o plásticas para lanzar por ellas los residuos.

Tabla 4: Aplicaciones de los Índices Ic e Iv

	Aplicación p/ empresa	Aplicación p/ administración
Índice Ic	Costo de vertido (1)	Fianza (2)
Índice Iv	Necesidad de contenedores (3)	Capacidad de vertedero (5)
	Costo de transporte (4)	

(1) Los depósitos controlados cobran una tasa por vertido de RCD expresada en $/tn.
(2) La fianza para asegurar la correcta gestión de los RCD se determina según la cantidad de residuos generada.
(3) La cantidad y tipo de contenedores se determina en función del volumen.
(4) El costo de transporte depende de los volúmenes a retirar de la obra.
(5) La capacidad de los vertederos se estima mediante las previsiones de generación.

Es común que, si hay espacio, se acumulen los residuos de toda la obra y luego se contrata una máquina cargadora para recoger los residuos en camiones directamente, obviando el contenedor.
Los contenedores que se utilizan para el almacenamiento temporal de los residuos son de forma trapezoidal y metálicos, con capacidades de 3 m^3 y 6 m^3 especialmente diseñados para su carga y descarga mecánica sobre vehículos de transporte también especiales. Estos contenedores se ubican frecuentemente en la vía pública, lo que invita a los ciudadanos a depositar residuos de todo tipo: domiciliarios, peligrosos, voluminosos.
En cuanto a la disposición final, los RESCON se han abandonado durante años, en nuestra provincia y otras del país, de manera indiscriminada, en vertederos sin control o en zonas de fácil acceso próximas a núcleos poblacionales, tales como las márgenes de las rutas y caminos, los pozos abandonados de explotaciones de áridos y los bordes de los ríos.

7 APLICACIÓN DE LOS INDICES DE GENERACIÓN AL PLAN DE GESTION INTERNA

Un Plan de este tipo tiene como objetivo principal racionalizar y optimizar la gestión de los ResCon para minimizar la producción y mejorar la valorización.
Como objetivos generales se plantean: incidir en la cultura del personal de la obra respecto a la gestión de los residuos, y predecir y minimizar el posible impacto ambiental de los residuos de la obra.
Como objetivos particulares: reducir los residuos en la obra, evaluar los residuos de cada etapa de la obra, establecer el escenario de la gestión externa, y determinar la cantidad de elementos (contenedores, maquinaria), operaciones y costes que genera la gestión interna y externa.
Para las empresas constructoras resulta necesario desarrollar un método con el que prever, durante la fase de planificación de la obra de construcción, las actividades y los costos económicos en cada etapa del proceso que origina la gestión de residuos.
En efecto se debe conocer: la cantidad de los RESCON que se producirán, sus posibilidades de valorización y el modo de realizar una gestión eficiente.

7.1 *Etapas del Plan de Gestión Interna*

1° Etapa: Establecer la cantidad y naturaleza de los residuos que se generarán en cada etapa o tarea de obra de construcción a fin de organizar y optimizar el manejo de los sobrantes que se generarán.
Hay que prever el tipo y volumen de materiales residuales que se producirán en la obra para organizar adecuadamente los contenedores.
En obras de construcción se utilizan índices de generación Iv [m^3/m^2], referidos a etapas de obra:

estructuras, cerramientos, acabados; o bien referidos a generación total.
Lo ideal es trabajar con datos propios, mientras no se cuente con ellos pueden realizarse los cálculos con datos obtenidos por otras empresas o Institutos de Investigación.
También es necesario determinar los diferentes residuos peligrosos generados, ya que se requiere siempre su recogida y tratamiento por separado.
2° Etapa: Definir un escenario externo de gestión: Informarse acerca de los gestores de residuos que se encuentran en el entorno. Es necesario conocer características de vertederos, distancia desde la obra al punto de disposición; costos de vertido, recicladores, alquiler de contenedores.
3° Etapa: Cruzar ambas fuentes de información: de este modo se podrá determinar los elementos de gestión interna necesarios (contenedores, depósitos), operaciones y costes que generará la gestión interna de los residuos.
Por lo general, serán necesarios como mínimo los siguientes elementos de almacenamiento:

- una zona específica para materiales reutilizables
- un contenedor para residuos pétreos
- un contenedor para materiales potencialmente peligrosos
- un contenedor para residuos de yeso

La clasificación en distintos contenedores para residuos no especiales se realizará en función de las posibilidades de reciclaje y si existe demanda de los mismos.
También desde el punto de vista de economía en el transporte puede ser ventajosa la selección de residuos de diferente naturaleza.
La disposición y cantidad de contenedores dependerá del volumen producido en obra y las zonas de almacenamiento pueden ser más de una. Serán aplicables en esta fase del plan los índices Iv.
La recogida en obra se encuentra en gran parte condicionada por la relación "superficie ocupada por la obra/ superficie del terreno", dependiendo de esta relación el espacio disponible para el almacenamiento de los residuos y por lo tanto la frecuencia de recolección. Cuanto mayor sea el factor de ocupación, más eficaz debe ser el manejo de los residuos hacia los puntos de retiro de los materiales.
4° Etapa: Calcular los costos finales de gestión de RESCON: los costos finales de gestión se podrán determinar a partir de los costos individuales del alquiler de contenedores, transporte de los residuos, costos de vertido (si los hay). Este costo se debe determinar por etapas y en su conjunto. El costo de vertido se calcula a partir de los Índices Ic [kg/m²] puesto que el depósito controlado cobrará una tasa por vertido de residuos expresada en $/tn (pesos por tonelada).
La gestión de los residuos tiene un costo económico que resulta de sumar los costos de separación selectiva y recogida en obra, más los costos de gestión por valorización, más los derivados de la disposición final (transporte y vertido).
La construcción es una industria muy preocupada por la reducción de los costos de producción. Es por eso que solamente empezará a preocuparse seriamente por solucionar el problema de los RESCON que genera cuando se conozca en forma fehaciente los costos de no minimizar los residuos o de gestionarlos de una forma irracional. Los valores de dichos costos se obtendrán luego de elaborar y aplicar el Plan de Gestión Interna.

8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 *Caracterización de RESCON*

Es aceptado que en cualquier estrategia de gestión de residuos es fundamental conocer qué y cuánto se genera, pues la planificación se abordará de acuerdo a estos datos. Por lo tanto, se necesita tanto para el manejo intraedificacional, como para la gestión externa, datos de cantidad y composición de residuos.
La experiencia llevada a cabo en la caracterización de los residuos de construcción de un conjunto residencial ha permitido obtener unos datos de composición y cantidad que son aplicables a viviendas de construcción de las del tipo bajo estudio.
La utilidad de los Índices de generación obtenidos fue indicada en la Tabla 4, y se explica su aplicación en el Plan de Gestión Interno en las obras.
Con este tipo de datos se debe generar un inventario, a completar con los resultados obtenidos a partir de otros tipos de obras, industriales, institucionales, y se debe verificar y actualizar la base permanentemente.

8.2 *Marco legal*

Se necesita urgentemente un marco normativo que regule los RCD, desde la definición y clasificación misma de estos residuos hasta las condiciones de disposición final.

8.3 *Gestión Interna*

Es determinante que las construcciones se desarrollan bajo criterios consumistas, sin prestar atención alguna a problemas medioambientales. En general, los residuos todavía no forman parte de la cultura de la obra y es difícil que los operarios, las empresas subcontratistas y los propios responsables de la empresa constructora lleven a cabo tareas medioambientales si no se establecen ciertos incentivos económicos o imposiciones legislativas importantes.

Sin embargo, las empresas tienen sobradas razones, que tal vez aún no conocen, para gestionar adecuadamente los RESCON:

a. Costos: si bien actualmente el costo de vertido es escaso o nulo esta situación no se mantendrá por mucho tiempo, y nuevas condiciones de diseño y operación para los vertederos controlados harán que se encarezca la disposición final.
b. Eficiencia: si el material es malgastado en el sitio de trabajo, se paga dos veces por él, una para comprar el nuevo material y otra vez por el costo de disposición.
c. Productividad: la velocidad de trabajo se ve afectada por los residuos que entorpecen el movimiento propio de las personas.
d. Calidad de obra: la presencia de materiales residuales impide la inspección visual de tareas ya realizadas, con la consecuencia de detectarse en etapas posteriores con mayor costo de reparación.
e. Responsabilidad: se debe resguardar la responsabilidad por un daño ocasionado por la disposición no autorizada de residuos peligrosos.
f. Seguridad y prevención de riesgos: el ordenamiento de los residuos dentro de la obra reducirá los accidentes por su causa.
g. Marketing: un buen manejo y control de los RESCON dará crédito a la empresa por ser una corporación aceptada por la comunidad y mostrar que se construye de forma de proteger el medio ambiente.

Es necesario introducir criterios de minimización desde la fase de proyecto en quienes planifican y ejecutan las obras. Un instrumento importante para el logro de este objetivo es la realización de programas de formación de personal especializado: técnicos y operarios.

Las operaciones de clasificación, propuestas en el Plan de Gestión de RESCON en obras de Construcción, pueden duplicar las tareas habituales destinadas a limpieza de obra y disposición de residuos en contenedores, máxime si no hay hábito de hacerlo. Sin embargo, es fundamental promover y comenzar a exigir la separación selectiva de la fracción peligrosa como condición mínima. La implementación de otros sistemas de separación con objetivos de valorización dependerá de las condiciones locales de mercado y del avance económico y cultural que se vaya desarrollando al respecto.

9 REFERENCIAS

[1]. H. F. Lund, Manual McGraw Hill de Reciclaje. Mc Graw Hill. España. 1996. Pág. 20.4

[2] U.S. EPA. Characterization of Building- Related construction and demolition debris in the United States. Report N° EPA 530-R-98-010.1998. http://www.epa.gov Pág. 1-4

[3] Lund, Herbert F. Manual McGraw Hill de Reciclaje. España. Mc Graw Hill. 1996. Pág. 6.32-6.38

[4] U.S. EPA. Characterization of Building- Related construction and demolition debris in the United States. Report. N° EPA 530-R-98-010.1998. http://www.epa.gov Pág. 1-2

[5] U.S. EPA. Characterization of Building- Related construction and demolition debris in the United States.Report. N° EPA 530-R-98-010.1998. http://www.epa.gov Pág. 2.15- 2.18

[6] T. G. Townsend, J. Yong-Chul, B. Weber. Continued Research into the Characteristics of Leachate from Construction and Demolition Waste Landfills. Department of Environmental Engineering Sciences. University of Florida. 2000.

La Morfología de los Espacios Públicos: Aspectos relevantes para el Confort Climático Urbano

F. R. Bochaca

fbochaca@nysnet.com.ar
Universidad de Mendoza / Becario de CONICET

S.E. Puliafito

epuliafito@frm.utn.edu.ar
Universidad Tecnológica Nacional / CONICET

Resumen: El crecimiento de las ciudades en sentido horizontal, refleja principalmente cambios en la cobertura del suelo donde prima la sustitución de áreas verdes por superficies impermeabilizadas con bajo albedo, lo que origina una disminución en los porcentajes de humedad ambiente (disponibilidad de vapor de agua) e incrementos en la temperatura, produciendo un impacto significativo sobre el confort climático urbano. Proceso que, también caracteriza a los espacios públicos tales como parques y plazas.
Los puntos que desarrollaremos a continuación en este artículo se enfocan en particular a los procesos de planificación de los espacios públicos y en especial aquellos vegetados, desde una óptica que toma el diseño de estas áreas no solo como sectores de integración social, sino también como elemento regulador del clima urbano.

1 INTRODUCCIÓN:

Numerosos autores dan cuenta de la importancia de los espacios públicos y los definen como en el caso de Borja (1998) [1], como una concepción socio-cultural, al expresarse como un lugar de relación y de identificación, de contacto entre los individuos, de animación urbana y de expresión comunitaria. A su vez lo relacionan con otros aspectos: "El espacio público, además de sus componentes físicos, se constituye como tal por sus dimensiones sociales, culturales y políticas. En este sentido, el espacio público es un ámbito constituido por relaciones sociales, lugar de identificación y encuentro, de manifestación colectiva, a veces de expresión comunitaria. [...]".
Considerando que los espacios públicos son entonces lugares donde los ciudadanos interactúan entre sí, estamos haciendo referencia tanto a un espacio físico como social.

Estas formas de socialización suponen pues a estos espacios como escenarios de variados usos sociales, caracterizados físicamente, según Borja (2002) [2], por su accesibilidad aspecto que les confiere un lugar central en los procesos de interacción. Las intervenciones urbanas que producen espacios públicos, pueden crear centralidades donde no las había, facilitar más movilidades[1], favorecer la

[1] El término de movilidad es un concepto vinculado a las personas o mercancías que desean desplazarse o que se desplazan; se utiliza indistintamente para expresar la facilidad de desplazamiento Mientras que la accesibilidad es un concepto vinculado a los lugares, a la posibilidad de obtención del bien, del servicio o del contacto buscado desde un determinado espacio; este término es utilizado para indicar la facilidad de acceso a un determinado lugar. La accesibilidad, por consiguiente, se valora o bien en relación al costo o dificultad de desplazamiento que requiere la satisfacción de las necesidades, o bien en

accesibilidad, la visualización y la aceptación ciudadana de sectores olvidados y cuanto más variados sean funcionalmente, mayores posibilidades de interacciones sociales producirán.

En este aspecto Borja, Muxi (2003) [3] reafirman que *"El desafío real es establecer una dialéctica positiva entre centralidades y movilidades haciendo del espacio público el hilo conductor que nos introduzca por lugares productores de sentido."*

Es por ello que la centralidad de los espacios públicos se vincula fuertemente a la posibilidad de su apropiación a través de los elementos simbólicos, que son la expresión de las relaciones culturales y sociales que proporcionan sentido a las identidades locales. Estos elementos, tal como señalan Borja, Muxi, (2003) son concebidos y definidos principalmente, como construidos.

Si bien, el ambiente urbano es esencialmente un ambiente edificado donde lo arquitectónico es lo predominante, no podemos considerarlo el único aspecto constitutivo. En este sentido la preponderancia de los aspectos estéticos encuentra su explicación en la consideración de los espacios públicos como elementos construidos y, deja entrever una desatención del micro clima que estos sectores poseen y, por consiguiente, de los procesos de socialización que estos espacios facilitan. Los espacios públicos cuyos diseños responden preponderantemente a la finalidad de la representación simbólica a través de elementos construidos, que posibilita la apropiación de estos espacios y favorece los procesos de socialización, se caracterizan por el uso preferencial de materiales con escasa capacidad de evaporación y bajo albedo, que definimos como superficies impermabilizadas, en detrimento de los vegetados.

Consideramos que, en el uso y apropiación de los espacios públicos no solo influyen dimensiones **socio-culturales y físicas**; estas también se encuentran determinadas por condicionantes **climáticas**, producto del espacio que los acoge y que pueden contribuir a un hábitat más confortable. Es en la relación de estas tres dimensiones (sociales, físicas y climáticas) que interesa comprender el habitar en el espacio público, entendiendo la dimensión climática como respuesta a necesidades urbanas.

Desde esta perspectiva, estamos haciendo referencia a la existencia de parámetros ambientales que van más allá de lo social y que se vinculan a variables climáticas como temperatura, humedad, radiación y viento.

Esta consideración de lo climático como eslabón fundamental en el confort ciudadano, es lo que definimos como ***dimensión climática***, pocas veces incluida de manera racional en la conformación de espacios públicos y sobre todo en áreas verdes. Para ampliar este concepto, tomamos como referencia a Golany (1996) [4] quien sostiene que: *"el alma del diseño urbano es proveer una atmósfera confortable y protegida para la vida en la ciudad, entonces las consideraciones climáticas se convierten en parte central del diseño urbano ambiental. Teniendo en cuenta al clima no solo como aspecto de confort y percepción. Los efectos climáticos urbanos afectan la salud, la vida social y la productividad de sus habitantes [...]."*

Sostenemos entonces, que la aparición en el tejido urbano de espacios públicos verdes, no solo produce un impacto significativo en el funcionamiento y ordenamiento de la ciudad, sino que influye en el confort climático urbano. Además, según sean las características, de las áreas vegetadas, éstas extenderán su influencia hacia su entorno, interviniendo de manera positiva sobre las variaciones de temperatura y humedad (efectos de isla seca e isla de calor) que el crecimiento de la ciudad paulatinamente va acentuando. (Bochaca., Puliafito, 2005) [5].

La consideración en el Diseño de Áreas Verdes Urbanas de variables morfológicas como tamaño, forma, porcentaje y disposición de superficies verdes e impermeabilizadas, más, variables relativas a la fisiología del vegetal, tales como la evapotranspiración y el balance de energía, contribuyen a regular las variaciones de humedad y temperatura de su entorno urbano mejorando así su confort climático, especialmente notables en ciudades intermedias con climas desérticos como es el caso de la ciudad de Mendoza.

Al circunscribirnos a la ciudad de Mendoza, es preciso señalar que ella no escapa al crecimiento urbano que mencionáramos con anterioridad, la acelerada expansión de la ciudad en sentido horizontal hacia sectores de su periferia, ha ocasionado una deficiencia en el tendido de infraestructura básica, como ser, agua, servicios cloacales, transporte, energía como equipamiento social, reflejándose en una crisis de espacios públicos, en especial de aquellos vegetados, tanto en calidad, cantidad como distribución a lo largo del tejido urbano (Tacchini, S.de Morán, Sayavedra, et. al. 1994: 79-105) [6].

---

relación al costo o dificultad de que los suministros o clientes alcancen el lugar en cuestión. Sanz Alfonso, 1997.

Más aún, en los últimos años el desarrollo de áreas verdes en la ciudad de Mendoza ha tenido como elemento predominante en su diseño la incorporación de superficies impermeabilizadas por sobre aquellas vegetadas.

Por otra parte a medida que la ciudad va avanzando y extendiéndose sobre lotes baldíos en el área central o sobre lotes periféricos a ella, solamente se considera para el desarrollo edilicio el factor de ocupación de suelo y del terreno, donde no se especifica claramente si los sectores destinados a espacios sin construir deben estar impermeabilizados o deben destinarse a espacios verdes. Asimismo, la incorporación de áreas verdes en urbanizaciones de tipo barrial, responde exclusivamente a una relación de superficies detallada por un porcentaje del espacio a lotear de acuerdo a la ley de loteos 4341. Esta ley, al igual que las reglamentaciones municipales de uso del suelo, es muy general y no define entre áreas de equipamiento, impermeabilizadas o verdes.

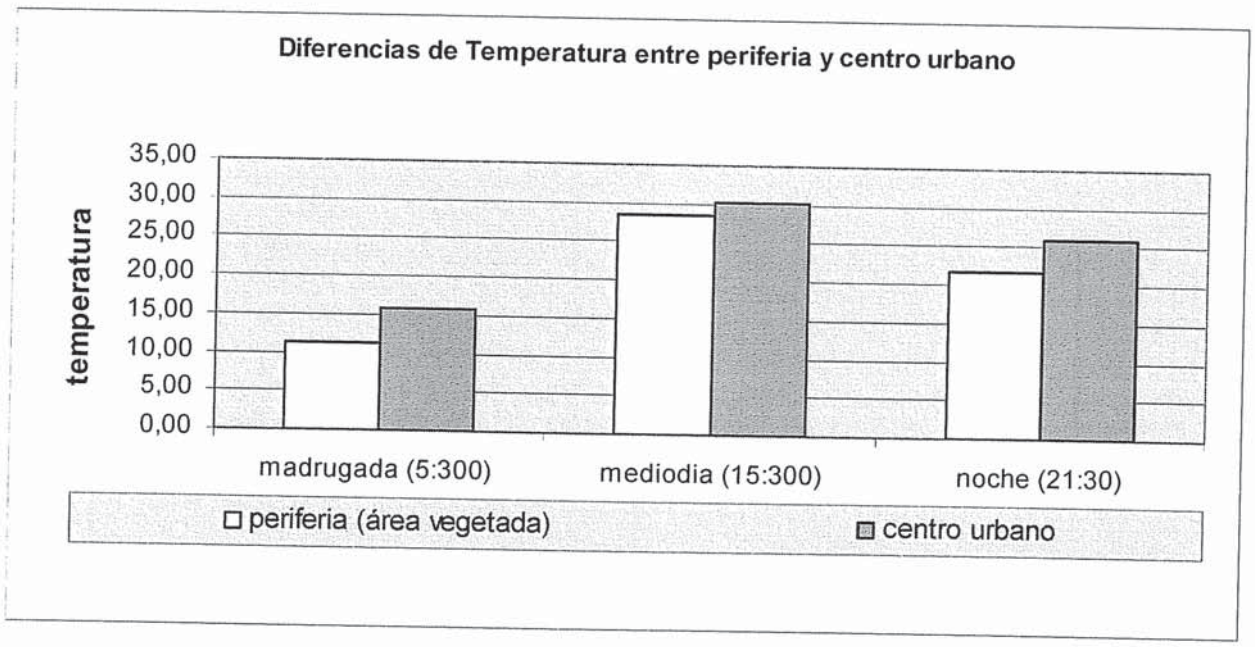
Este vacío en las reglamentaciones constructivas origina que, en muchos casos, estos sectores se impermeabilicen con el consiguiente agravante de ser superficies con un alto grado de absorción de radiación solar y, por ende, elementos dentro de la ciudad que favorecen el incremento de la temperatura y la disminución de la humedad. En este sentido la incorporación de estos sectores en la trama urbana, conviene ser estimada, no solo como los espacios residuales que la ciudad va dejando sin una función específica y sobre los cuales es factible intervenir, sino que deben ser apreciados como los elementos que posibilitan ordenar el tejido urbano, sea cual fuese la escala del proyecto, permitiendo organizar el territorio para soportar diversos usos (Borja 2002, 2003).

2. MEDICIONES EN LA CIUDAD DE MENDOZA

Las mediciones efectuadas en este estudio, con respecto a la influencia de los espacios verdes en la regulación del confort climático en la ciudad de Mendoza, señalan que, el incremento de la temperatura se produce en zonas donde la utilización de materiales con poca capacidad de evaporación y bajo albedo favorecen la formación de la Isla de Calor Urbana (ICU), representada como un domo de temperatura, con variaciones mayores que en su periferia, tal como se observa en la figura 1 y 2. A su ves los datos obtenidos se comprueban con estudios efectuados en la ciudad de Mendoza relacionados con la temática (Correa, Goudueau, De Rosa, Lesino, 2004: 2-4; [7] Polimeni, 2000: 107-114 y 187) [8]

2.1. Variaciones de temperatura y humedad

El incremento de temperatura, que se produce a nivel de la superficie del material y del aire circundante, se debe, en primer término, a la gran capacidad de absorción de calor de sectores impermeabilizados y a la disminución de áreas con capacidad de evaporación (Kjelgrenk, Thayne 1998: 35-41) [9] y, en segundo, lugar a la utilización de materiales con bajo albedo como baldosas calcáreas, piedras, cemento y asfalto para la consolidación del



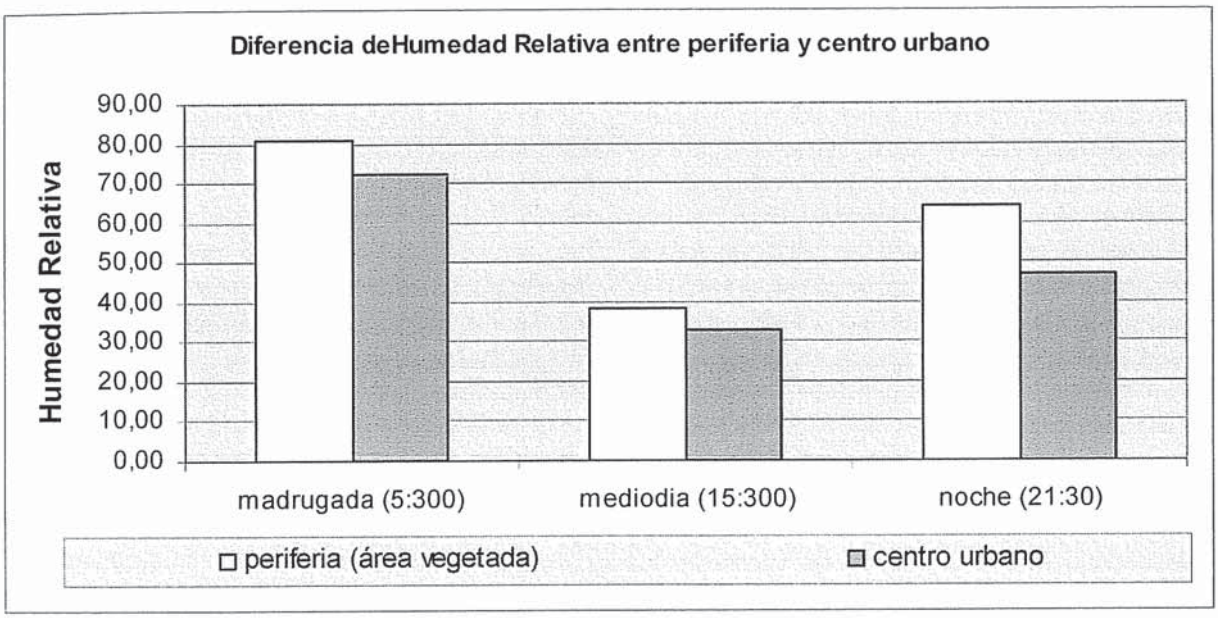


Figura 1 y 2 : Diferencia de temperaturas y Humedad relativa entre periferia y centro urbano 2004-2005.

tejido urbano, este último material, es una de las superficies más oscuras, que se pueden encontrar en la ciudad, su albedo en una superficie nueva puede llegar a 0.05, lo que significa que absorbe alrededor del 95% de luz del sol (Pomerantz, Akbari, Chang, Levinson , Pon , 2003: 2-24) [10].

A medida que nos introducimos en el núcleo urbano, los espacios vegetados comienzan a ser más exiguos y sus medidas responden a superficies regladas por el tejido ortogonal de la ciudad de Mendoza. Este es un patrón característico de ciudades coloniales españolas. Si analizamos las variaciones de temperatura y humedad de los espacios verdes dentro del tejido urbano de la ciudad de Mendoza, se observa una disminución de la humedad y un incremento en la temperatura. Ese aumento de temperatura se mantiene a lo largo de todo el día, e incluso durante la noche y la madrugada. Es decir, los espacios considerados como "áreas vegetadas" dentro del tejido urbano se comportan en su mayoría como superficies horizontales impermeabilizadas.

Si bien las variaciones de temperatura son ínfimas, prácticamente de 0,2 °C, nos dan una pauta de cómo se comportan esas áreas en el ambiente urbano. En la mayoría de los casos este patrón de temperatura y humedad esta relacionado a aspectos de diseño de espacios públicos que erróneamente privilegian la incorporación de superficies impermeabilizadas. Si observamos las variaciones diarias de humedad relativa en esos sectores, podemos ver como no logran consolidarse como áreas de influencia hacia su entorno más próximo, manteniendo los porcentajes de humedad correspondientes a superficies impermeabilizadas que oscilan en un 32% +-2% de humedad relativa. (Bochaca., Puliafito, 2005).

Otro de los aspectos que se tuvieron en consideración en los recorridos fue la recolección de la temperatura de los diferentes materiales, a través de un termómetro infrarrojo.

De acuerdo a las mediciones realizadas en los recorridos y, considerando que un día normal de verano en la ciudad de Mendoza alcanza temperaturas en promedio de 30°C, se observó que superficies impermeabilizadas como el asfalto registran una temperatura superior al doble de la temperatura del ambiente oscilando en 61°C ± 2°C, esta diferencia se incrementa aún más hacia el mediodía; mientras que, las superficies vegetadas, no superan la temperatura ambiente. Esta amplia diferencia medida principalmente en asfalto, cemento y pastos, manifiestan claramente, por un lado el comportamiento térmico de los suelos impermeabilizados frente a los vegetados, y por otra parte la importante influencia del asfalto y el cemento en la regulación del clima urbano.

Estas superficies vegetadas tal como se observa en la figura 3, poseen una variación térmica durante el día de 15,2°C ± 2°C a las 6:00 hs., de 31,1°C ± 2°C a las 15:30 hs. y durante la noche de 21,1°C ± 2°C a las 21:30 hs. La temperatura del asfalto en esos mismos periodos de tiempo es siempre superior a la

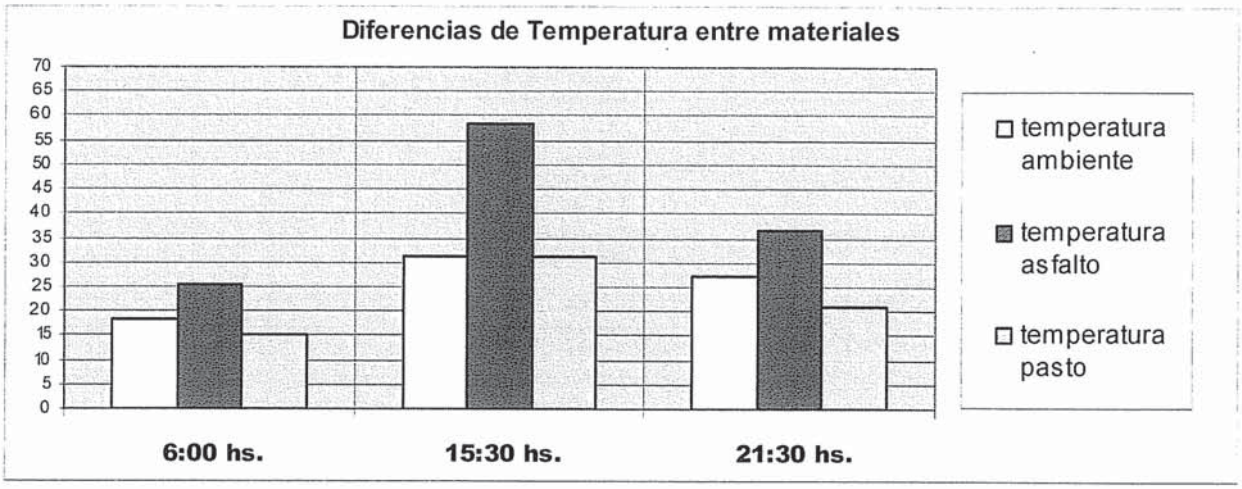


Figura 3: Diferencia de temperaturas entre superficies impermeabilizadas y vegetadas año 2004-2005.

ambiental, cuyo valor medido fue de 25,5°C; 58,6°C y 36,7°C respectivamente.

Por último se analizó el efecto que produce el arbolado urbano a nivel peatonal, con respecto a la sombra proyectada y como influye en la disminución de radiación que las diferentes superficies impermeabilizadas absorben. Si analizamos el área central de la ciudad, con una altura promedio de edificación de 20 metros y una forestación próxima a los 15 metros, podemos observar como la temperatura debajo del dosel de los árboles a nivel peatonal es relativamente más baja, que, en el sector contiguo al área central, que posee una densidad edilicia y una altura de edificación menor, cercana a los siete metros y una forestación que no supera los seis metros.

En ambos casos la vegetación arroja sombra prácticamente sobre la cara vertical de las construcciones, no sucede lo mismo con las superficies horizontales como calles y veredas, en donde por cuestiones de circulación del transporte público la vegetación en el sector periférico al área central ha sido podada permitiendo el paso de la radiación solar durante todo el día. Si bien las variaciones de temperatura no superan en promedio un 1°C, evidencian la importancia de la incorporación de elementos vegetados particularmente en calles y avenidas, para disminuir la radiación absorbida por las superficies horizontales tal como menciona (Rosenfeld, Akbari, Bretz, 1995) [11] y (Shashua-Bara, Hoffman 2003) [12].

Este aspecto resulta muy significativo si consideramos que la diferencia de temperatura descripta se manifiesta a menos de un kilómetro de distancia entre un punto y otro del recorrido en línea recta y que como mencionáramos anteriormente calles, avenidas y veredas ocupan prácticamente más del 25 % de las superficies horizontales sin considerar espacios públicos o grandes áreas de estacionamiento vehicular, como se muestra en la figura 4.

Prácticamente, el 90% de las calles en la ciudad de Mendoza se encuentran cubiertas con forestación, como mencionáramos anteriormente la incorporación de vegetación urbana ha permitido obtener un ambiente más propicio para la vida. Ahora bien las modificaciones en los sistemas de riego (incremento de superficies impermeabilizadas en acequias) sumado a la falta de mantenimiento y cuidado, permiten evidenciar también cómo el deterioro progresivo de la vegetación urbana incide en variaciones de temperatura.

3. CONCLUSIONES

Podemos inferir entonces, que el uso de materiales con un alto grado de impermeabilización tal como áreas de circulación o de permanencia en espacios urbanos, deben ser cuidadosamente distribuidos tanto en espacios públicos como vías de circulación, a fin de no disminuir las áreas de aporte de humedad.

Como hemos podido observar, los diferentes espacios verdes insertos en la trama urbana de la ciudad de Mendoza a modo de plazas, que poseen en promedio más del 50% de su superficie impermeabilizada, no logran consolidar el efecto de

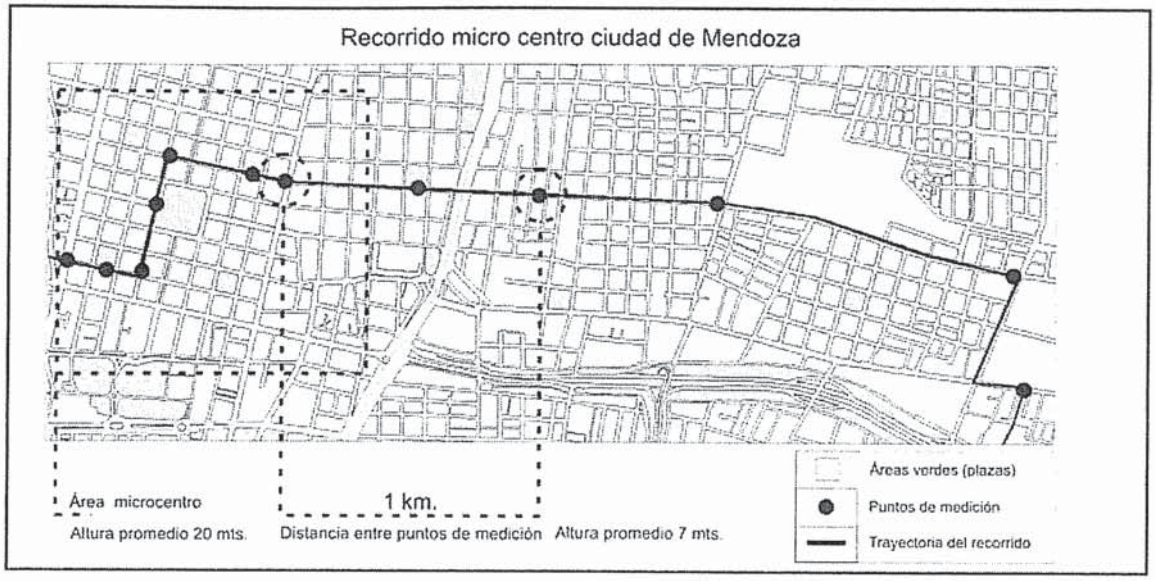


Figura 4: Diferencia de temperaturas en micro centro ciudad de Mendoza año 2004-2005.

isla fría, comportándose mayoritariamente como superficies impermeabilizadas.

Existen determinados factores que deben ser estudiados y analizados al momento de incorporar vegetación urbana. Debe tomarse en cuenta la altura, el porte específico, la forma, la densidad foliar, como se manifiesta en el análisis de las calles y del arbolado urbano donde la proyección de la sombra cumple el principal papel en la regulación de la temperatura no así de la humedad que no presenta prácticamente variaciones entre los sectores medidos.

Este estudio forma parte de un análisis más amplio sobre el diseño de áreas verdes. Actualmente se está llevando a cabo nuevos análisis y mediciones de vapor de agua en diferentes áreas vegetadas a fin de poder modelar y cuantificar la influencia y los beneficios que las áreas vegetadas originan en entornos urbanos con climas desérticos.

Si se considera la población mundial que habita en ciudades de zonas áridas, se comprende la necesidad de profundizar en el estudio de los complejos procesos climáticos urbanos a fin de mitigar y disminuir sus efectos. En un contexto regional, este estudio pretende contribuir a mejorar los procesos de transformación y crecimiento de ciudades intermedias como es el caso de la ciudad de Mendoza.

4. REFERENCIAS

[1] Borja, J. (1998), Revista del CLAD Reforma y Democracia. No. 12, Oct., Caracas.

[2] Borja J., 2002, "Ciudadanía y Globalización", documento Nº 29, Centro de Documentación de Políticas Sociales, Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, Buenos Aires.

[3] Borja J., Zaida Muxi, 2003, "Espacio Público Ciudad y Ciudadanía", editorial Electa, Barcelona España.

[4] Golany Gideon S., (1996) Urban Design Morphology and Thermal Performance, Atmospheric Environment Vol. 30, Copyrighht Elsevier Science Ltd., pp. 45-65.

[5] Bochaca Fabián R., Puliafito Enrique S., 2005, "El Efecto de Isla Seca en Ciudades Intermedias El caso de Ciudad de Mendoza", Urbanización y Cambio Global Ambiental en América Latina", IAI, México D.F.

[6] Tacchini Jorge, S. de Morán Alicia, Sayavedra Silvia et. al., 1994, Mendoza en el 2000, Inca Editorial, Mendoza.

[7] Correa Erica N, Goudueau Nicolás, De Rosa Carlos, Lesino Graciela, 2004, Etudio de la estructura de la isla de calor urbana de la ciudad de

Mendoza a partir de mediciones móviles en el área metropolitana, Revista AVERMA Avances en Energías Renovables y Medio AmbienteVol. 8, N° 2, Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184.

[8] Polimeni Claudia M. 2000, Condiciones climáticas y microclimáticas del Gran Mendoza. Identificación y génesis de la isla de calor urbana. Análisis termofisiológico, Tesis, UNCu. Fac. de Fil. y Letras, editorial: UNCu. Fac. de Fil. y Letras, Mendoza.

[9] Kjelgren Roger, Thayne Montague, 1998, "Urban Tree Transpiration over Turf and Asphalt Surfaces", Atmospheric Environment vol. 32, Elsevier Science Ltd., pp. 35-41.

[10]Pomerantz M., Akbari H., Chang S.-C., R. Levinson and B. Pon, 2003, "Examples of cooler reflective streets for urban heat-island mitigation: Portland cement concrete and chip seals" Lawrence Berkeley National Laboratory. Paper LBNL -49283. http://repositories.cdlib.org/lbnl/LBNL-49283

[11] Rosenfeld Arthur, Akbari Hashem, Bretz Sarah: (1995), et al., Mitigation of urban heat islands: materials, utility programs, updates, Energy and Buildings, N° 22, Elsevier Science Ltd., pp. 255-265.

[12] Shashua-Bara Limor, Hoffman Milo E., (2003): "Geometry and orientation aspects in passive cooling of canyon streets with trees", Energy and Buildings 35, Elsevier Science Ltd., pp. 61–68.

Optimización de la tecnología de obtención de bioetanol integrado al aprovechamiento del helianthus tuberosus

F.R. Tarántola, A.A. Roggiero & S.V. Dimarco
ftatanto@fcai.uncu.edu.ar & aroggier@fcai.uncu.edu.ar & sandravdimarco@yahoo.com.ar
Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria, Universidad Nacional de Cuyo

RESUMEN: El bioetanol es un alcohol obtenido a partir de materias primas de origen agrícola previa hidrólisis o transformación en azúcares fermentables del almidón contenido en ellas. Su producción, constituye una alternativa muy interesante para la utilización del suelo, evitando fenómenos de erosión y desertificación en aquellas tierras agrícolas abandonadas y contribuye, a la generación eficaz de empleo en las áreas rurales. Se desarrolló un sistema a escala piloto que luego permitirá el escalamiento tecnológico para ser implementado como una línea de proceso de productos con alto valor agregado. La producción de Topinambur tiene registros sobre 60 Ton/ha. Esto permite, junto a menores costos de producción, tener una mayor rentabilidad que el cultivo de papas. Esta alternativa tendría ventajas económicas y sociales que apuntarían a la reconversión agrícola en nuestra región. Se fomentó la introducción del Topinambur con respaldo de estudios de fertilización en base a sistemas agroquímicos y orgánicos, para su posterior implementación en los sistemas de rotación agrícola tradicionales. La utilización del bioetanol como aditivo de las naftas presenta también importantes ventajas medioambientales al disminuir, en la combustión de los motores de los automóviles, las emisiones de NOx, monóxido de carbono CO y, sobre todo, dióxido de carbono CO_2.

1 INTRODUCCIÓN

La producción de etanol siempre ha tenido como objetivo el consumo humano y la obtención de bebidas alcohólicas concentradas mediante destilación. Su uso como materia prima química se inicia a principios de la microbiología industrial, pero su obtención se lleva a cabo mediante la hidratación catalítica del etileno. No es hasta hace pocos años cuando la atención ha vuelto de nuevo a la producción por fermentación del etanol para fines químicos y como combustible. Entre los países en los que se están llevando a cabo estudios intensivos sobre la producción de etanol a partir de carbohidratos como la sacarosa y el almidón, se debe destacar Brasil dado que tiene el clima y terreno adecuados para la producción a gran escala de azúcar de caña. Sin embargo, la eficiencia del rendimiento de energía (relación de demanda de energía y energía producida) varía según el material de partida.

El proceso químico de producción de bioetanol se basa simplemente en una fermentación, que es un cambio químico en las sustancias de naturaleza orgánica llevado a cabo por la acción de enzimas. Lo que ocurre en una fermentación es que las sustancias orgánicas complejas se transforman en otras simples. La mayoría de las levaduras que se cultivan son del género Saccharomyces. Concretamente la especie Saccharomyces cerevisiae es una de las más utilizadas ya que participa en muchas fermentaciones.

El bioetanol se utiliza en vehículos como sustitutivo de la gasolina, bien como único combustible o en mezclas que, por razones de miscibilidad entre

ambos productos, no deben sobrepasar el 5-10% en volumen de etanol en climas fríos y templados, pudiendo llegar a un 20% en zonas más cálidas. El empleo del etanol como único combustible debe realizarse en motores específicamente diseñados para el biocombustible. Sin embargo, el uso de mezclas no requiere cambios significativos en los vehículos, si bien, en estos casos el alcohol debe ser deshidratado a fin de eliminar los efectos indeseables sobre la mezcla producidos por el agua.
Por tanto el bioetanol es una apuesta fuerte para el futuro de los combustibles. Sin embargo debe considerarse claramente un tema económico, científico, medio ambiental y social.

2 OBJETIVOS

1. Estudiar la obtención de etanol por fermentación alcohólica de los oligofructanos hidrolizados obtenidos a partir de Helianthus tuberosus.
2. Describir el proceso en semicontinuo usando las ecuaciones del Quimiostato en función de las constantes μmáx, Ks y del organismo usado.
3. Optimizar la producción de bioetanol.
4. Diseño peliminar de un proceso de producción de bioetanol en condiciones semicontínuas.

3 MATERIALES Y METODOS

*El microorganismo: l*a especie Saccharomyce cerevisiae utilizada en este estudio fue suministrada por el Laboratorio de Biotecnología de la Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria. Ref [1].
*El Birreactor: e*l Bioreactor semicontinuo consta de un reactor por cada etapa del proceso. Cada reactor tiene una capacidad de 1 litro construido en vidrio con tapa esmerilada con cuatro accesos; dos para la entrada y salida de gases, una para suministro de inóculo y de medio nuevo y otra para monitoreo de muestras y control de temperatura.
Se realizaron una serie de ensayos preliminares con el fin de optimizar la operación del bioreactor, una vez realizados, se programaron los experimentos en propiedad estudiando las variables características de un cultivo continuo.
Las variables objeto de estudio fueron: Velocidad de crecimiento, tiempo de generación, sustrato limitante, concentración del producto, concentración celular, flujo volumétrico, tasa de dilución como base para la determinación de la μmax , Ks , Productividad, Concentraciones de biomasa y sustrato en el equilibrio. Determinando lo anterior se puede decir que se tiene la descripción experimental del cultivo continuo de acuerdo a la Teoría del Quimiostato para cada etapa del proceso.
Se realizaron 3 experimentos completos para concentraciones de pulpa de durazno iniciales de 2, 4, y 8 g/100mL respectivamente. En cada experimento se realizaron los siguientes pasos: fermentación que contiene el inoculo de Saccharomyces cerevisiae en un medio azucarino con el fin de eliminar la etapa de adaptación y arrancar en etapa de crecimiento exponencial para la producción de etanol. El tiempo de fermentación alcohólica fue de 48 horas a condiciones anaeróbicas.
El suministro de medio e inoculo nuevo, 500mL, en el periodo de suministro se realiza cada 48 horas para un flujo volumétrico de 500mL/48 horas en las dos etapas. Se consideraron tres suministros para cada experimento a intervalos de 48 horas.

4 RESULTADOS Y DISCUSION

La producción de etanol a partir de estos materiales incluyen tres etapas fundamentales; primero la conversión de carbohidratos en azúcares simples o asimilables por los microorganismos productores de alcohol, después la fermentación de estos azúcares a etanol y finalmente la separación del etanol y otros productos por destilación.
Se ha estudiado la obtención de alcohol por fermentación en estado sólido con Saccharomyces cerevisiae en Helianthus tuberosus.
Los experimentos fueron planeados con el fin de describir el proceso en semicontinuo para cada etapa usando las ecuaciones del Quimiostato, así las concentraciones de la masa celular y del sustrato en los reactores para cada etapa pueden predecirse para un valor dado de la tasa de dilución si se conocen las constantes μmáx, Ks y Y del organismo usado.

$$S = \frac{\mathrm{Ks} \bullet \mathrm{D}}{\mu\mathrm{máx} - \mathrm{D}} \qquad (1)$$

$$x = Y \bullet \left(S_0 - \frac{Ks - D}{\mu\mathrm{máx} - \mathrm{D}} \right) \qquad (2)$$

S = concentración de sustrato en el reactor en equilibrio estacionario.

x = concentración de masa celular en el reactor en equilibrio.
μmáx = velocidad específica máxima de crecimiento.
D = Tasa de dilución.
Y = Constante de conversión o rendimiento que describe la relación entre la biomasa formada y el sustrato consumido.

Etapa fermentación

Tabla 1. Datos de crecimiento celular y disminución del sustrato a través del tiempo en la etapa de fermentación alcohólica. Para los tres experimentos.

	Experimento 1		*Experimento 2*		*Experimento 3*	
Tiempo (h)	Levaduras (m.o./ml) $*10^5$	% Azúcar Reductor (g/100 ml)	Levaduras (m.o./ml) $*10^6$	% Azúcar Reductor (g/100 ml)	Levaduras (m.o./ml) $*10^6$	% Azúcar Reductor (g/100 ml)
0	2.4	1.84	4.2	5.24	1.4	3.25
12	48.2	1.36	46.2	2.54	56.2	2.41
24	94.3	1.02	121.4	1.25	108.3	1.86
36	286.2	0.76	392.3	0.86	321.6	0.94
48	621.3	0.14	784.2	0.12	716.1	0.21

Tabla 2. Datos de Concentración Celular, Concentración de Azúcar Reductor y de Alcohol en los tiempos de suministro de nuevo medio de cultivo en la etapa de fermentación. Para los tres experimentos.

	Experimento 1			*Experimento 2*			*Experimento 3*		
Tiempo (h)	Levaduras (m.o./ml) $*10^6$	% Azúcar Red (g/100 ml)	Etanol G /100ml	Levaduras (m.o./ml) $*10^6$	% Azúcar Red (g/100 ml)	Etanol g /100ml	Levaduras (m.o./ml) $*10^6$	% Azúcar Red (g/100 ml)	Etanol g /100ml
0	2.4	1.84	0	1.4	3.25	0	4.2	5.24	0
48	621.3	0.14	1.04	716.1	0.07	1.86	7.84.2	0.12	2.54
48.5	304.5	1.04	0.47	364.2	2.16	0.78	382.3	3.86	1.31
96.5	824.3	0.25	1.31		0.05	2.42	824.3	0.02	2.92
97	425.3	0.92	0.56	495.3	2.38	0 56	472.2	4.23	1.52
145	921.3	0.12	1.34	1124.2	0.02	2.62	1221.6	0.04	3.42

Cálculo de μmax , ks , x y s para la etapa de fermentación

Tabla 3. Datos de velocidad específica de crecimiento y de la constante de conversión para las diferentes concentraciones de azúcar reductor inicial, en la fermentación.

EXPERIMENTO	*SUSTRATO INICIAL Azúcar Reductor Inicial*	*VELOCIDAD ESPECÍFICA μ (h^{-1})*	*CONSTANTE DE CONVERSIÓN (Y) N° lev x10^6/g azúcar*
1	1.84	0.090	3.68
2	3.25	0.124	295.4
3	5.24	0.115	142.8

Con los datos de las tablas 2 y 3 se grafica velocidad específica vs. concentración de sustrato, para así obtener los valores de μmax igual a 0.124 h-1 y de Ks igual a 1.10 g/100mL en la fermentación alcohólica. El valor de Y se obtiene del promedio de los calculados en los tres experimentos, resultando igual 147.30 en la fermentación. El valor de la dilución, D, (D = F/V, flujo volumétrico entre el volumen de cultivo) fue de 0.5L/48h/1L para todos los experimentos.

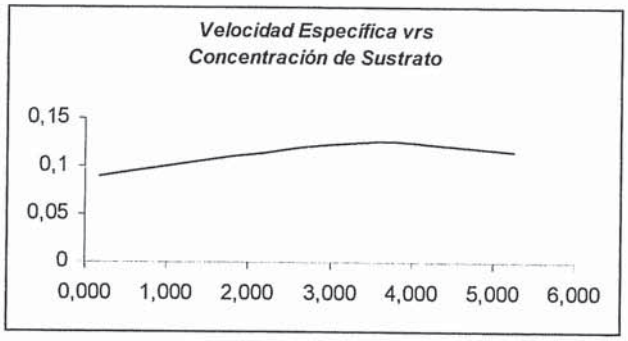


Figura 1. velocidad específica vs. concentración de sustrato

Etanol

El etanol puede ser producido por rutas biológicas o petroquímicas. En el primer caso, se trata de un biocombustible y su obtención resulta esencialmente de dos procesos: fermentación y destilación. Durante la fermentación, soluciones azucaradas se transforman en soluciones alcohólicas, que posteriormente en la destilación son separadas en alcohol y residuo acuoso. Ref. [2]. El alcohol producido en un sistema de destilación convencional contiene alrededor de 5% de agua y es denominado alcohol hidratado; cuando este alcohol es procesado en columnas posteriores de deshidratación, se obtiene el alcohol anhidro, con menos de 1% de agua.

Basándonos en la suposición de que el residuo de la fermentación tendrá aproximadamente entre 6 y 7% en masa, se procederá al diseño del proceso para obtener el Bioetanol anhidro.

Para el diseño del proceso, se desarrolló y se simuló un proceso de destilación atmosférica, rectificación y destilación extractiva con benceno.

La herramienta utilizada para la simulación, fue HYSYS 3.0.1, realizada en el Laboratorio de Simulación de Procesos de la Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria.

Proceso de obtención del bioetanol

A la solución azucarada, luego de un tratamiento químico y térmico de intensidad variable, se agregan fermentos o levaduras que convierten el azúcar en alcohol y gas carbónico. Ref. [3]

Para mejorar el rendimiento del proceso, al final de la fermentación se recuperan las levaduras por centrifugación y son tratadas para volver a fermentar nuevos mostos.

El alcohol obtenido, se pasa a destilación. La destilación, se realiza en columnas fraccionadoras, que progresivamente elevan el contenido de alcohol, hasta aproximarse al llamado punto azeotrópico (cerca de 96% de alcohol en volumen), mezcla a partir de la cual los procesos de destilación no logran ya retirar el agua del alcohol. Ref [4]

Para obtener alcohol anhidro, se produce la deshidratación del mismo. Para ello, se emplean columnas especiales, con substancias que absorben el agua, o tamices moleculares, que permiten deshidratar el alcohol, llegando a contenidos de alcohol cercanos al 99.7%. Ref.[5]

Obtención de Bioetanol por destilación

Una planta típica de etanol por fermentación no solo produce etanol sino otros productos tales como: metanol, 1-propanol, 2-propanol, 1-butanol, 3-metil-1-butanol, 2-pentanol, Ácido Acetico y CO_2. Ref. [6]

La corriente del fermentador se envía a un tanque en donde se separa el CO_2 y la cerveza. Se llama *cerveza* a los alcoholes que están en los fermentadores al concluir el ciclo. El CO_2 producido en el fermentador lleva algo de etanol, esta corriente de CO_2 se lava con agua para recuperar el etanol, luego se recicla al fermentador. El CO_2 es un subproducto que se utiliza en numerosos procesos químicos.

La corriente de producto rica en etanol se envía a la torre concentradora o absorbedor de arrastre con vapor T-100. Ver Fig.2.

El vapor superior es alimentado a la torre de purificación T-101 (stripper) de livianos donde se ventea el CO_2 y algo de metanol. El fondo de la columna se alimenta a la torre rectificadora.

La corriente superior de la torre concentradora es la alimentación principal de la torre rectificadora. La rectificadora se opera como una torre de destilación común. El producto es una mezcla azeotrópica de etanol-agua con algo de metanol.

En la rectificadora, el alcohol es purificado de los compuestos menos volátiles que el etanol. En esta columna, el alcohol llega a su concentración final y se purifica de la siguiente manera: los vapores que salen por arriba de la columna pasan por un deflegmador en donde se condensan parcialmente para mantener al alcohol más concentrado en la columna y proporcionar reflujo a los platos superiores. Los productos más volátiles se condensan totalmente y se devuelven a la parte superior de la columna de aldehídos. Cerca de la parte superior de la columna, sale al alcohol de 95% de concentración, que pasa por un condensador y se envía al Deshidratador. Un poco más abajo de la columna sale el *aceite fusel* (alcoholes de alto peso molecular) de punto de fusión más elevado, que pasa por un enfriador y un separador hasta una columna especial en donde se rectifica para eliminar el alcohol residual y quedar listo para ser vendido como alcohol amílico (pentanol) impuro para su uso como disolvente. Por el fondo se descarga agua prácticamente pura.

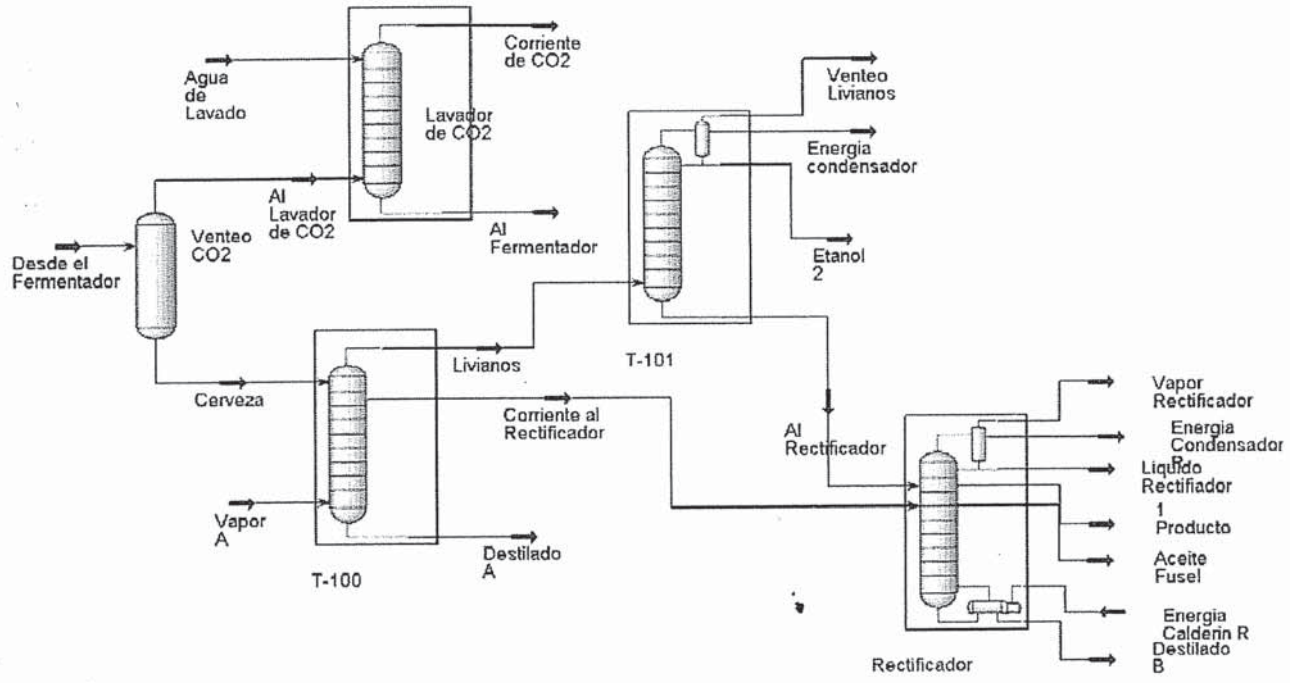


Figura 2. Proceso de obtención de bioetanol por destilación

Obtención de Bioetanol anhidro por destilación extractiva

Se realiza una destilación azeotrópica con un tercer componente que forma otra mezcla de punto de ebullición constante que hierve a una temperatura menor que el azeótropo alcohol-agua. Ref [6] Se utiliza benceno como tercer componente, el que actúa modificando las volatilidades de los componentes. La utilización de un agente auxiliar de elevado punto de ebullición reduce la actividad de la mezcla azeotrópica provocando un aumento del factor de separación. Se observan también dos mezclas homogéneas, una heterogénea (agua y benceno) y una ternaria. La mezcla ternaria tiene el menor punto de ebullición del sistema y hierve a 64,6°C. La composición inicial de la mezcla debe ser tal que asegure de que al eliminar la mezcla de punto de ebullición constante quedará alcohol anhidro en la columna. Ref. [7]

La corriente proveniente de la torre rectificadora (Producto) alimenta la torre deshidratadora, donde por destilación extractiva con benceno se obtiene, por el fondo, etanol anhidro y por cabeza, una mezcla vaporizada de agua y benceno. Esta corriente alimenta un decantador en el cual, los pesados son enviados a un Stripper en el que se separa el agua y los livianos (alta concentración de benceno) junto con el vapor proveniente del Stripper, se envían a un separador flash. Los líquidos se envían a la torre deshidratadora como reciclo. Ver Fig.3.

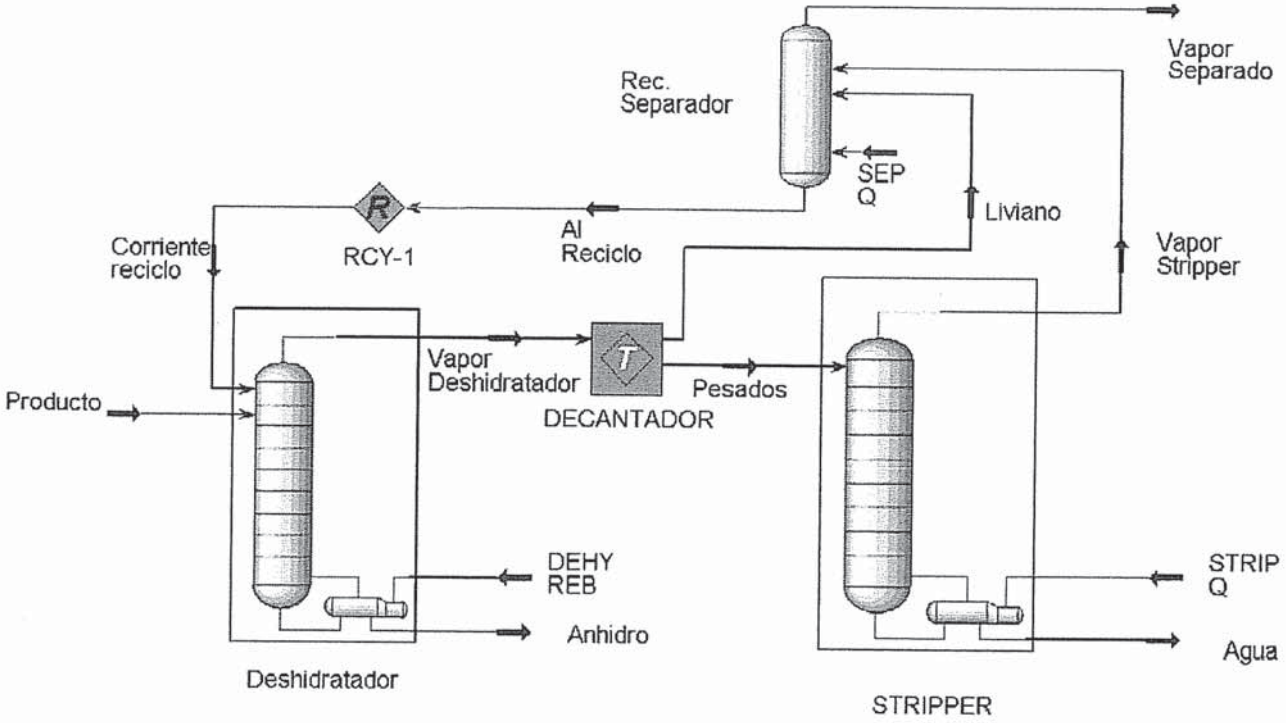


Figura 3. Destilación extractiva

5 CONCLUSIÓN

A nivel industrial, teniendo en cuenta la cinética de crecimiento en cultivo continuo es posible en función de la productividad deseada, dimensionar con precisión los fermentadores y las instalaciones anexas (bomba, compresor, extractor, columna de destilación) y de este modo reducir al máximo las inversiones y los gastos de funcionamiento. Los cultivos continuos permiten igualmente tener una producción homogénea, de calidad constante, lo cual es importante para las transformaciones ulteriores.

En el diseño y puesta en marcha del reactor semicontinuo se logró, dentro de las limitaciones propias del diseño, describir las más importantes variables del proceso continuo.

La fermentación bajo el sistema tiene la ventaja particular de producir etanol industrial, siempre y cuando dicho etanol pueda ser económicamente removido. Se puede observar que la tasa de productividad (P= X. D) está cercana a los valores reportados en la bibliografía para la transformación de la glucosa en etanol mediante la Saccharomyces cerevisiae . De esta manera se ha obtenido una alternativa viable de fabricación de bioetanol mediante procesos catalíticos enzimáticos de bajo costo con materias primas abundantes en la Región, tales como, Duraznos, Ciruelas, Uvas, Peras, Manzanas y Damascos.

6 REFERENCIAS

[1] Prescott S., Dunn C., "Microbiología Industrial", AGUILAR Ediciones, 3ª edición, 1962.

[2] Blanco Carracedo G., "La producción de alcohol a partir de la industria azucarera y sus posibilidades", Editorial Científico-Técnica, La Habana, 1982.

[3] Rueda Ferreiro A., "Modelado y Simulación dinámica de una Columna de Destilación de Etanol de la Industria Azucarera", Centro de Tecnología Azucarera. Universidad de Valladolid.

[4] Beckley V., Parodi C., Campanella E., "Comparación de Secuencias de Deshidratación de Etanol por Destilación Extractiva con Benceno", *Inf. tecnol.*, 2005, vol.16, N° 5, p.35-42. ISSN 0718-0764.

[5] Grisales P., Ríos L., Triana M., "Diseño de un proceso de producción de etanol anhidro a partir de jugo de caña", Escuela de Ingeniería Química - Universidad del Valle, 2000.

[6] Perry R., "Manual del Ingeniero Químico", Editorial McGRAW-HILL, 6ª edición, 1992, tomo II.

[7] Austin G., "Manual de Procesos Químicos en la Industria", Editorial McGRAW-HILL, Tomo III, 5ª Edición, 1988.

Técnicas de Optimización Colaborativa en Logística

R. R. Palma

rpalma@uncu.edu.ar
Maestría en Logística – CEAL (Centro Estudios y Aplicaciones Logísticas)
Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo

R. Forradellas

kike@uncu.edu.ar
CEAL (Centro de Estudios y Aplicaciones Logísticas)
Universidad Nacional de Cuyo

L. Morel Guimaraes

laure.morel@ensgsi.inpl-nancy.fr
INPL Institut Nationel Polytechnique de Lorraine – Nancy Francia

RESUMEN: El presente trabajo es el resultado de un estudio y posterior implementación de soluciones en el centro de distribución de cargas de una empresa local del rubro supermercado. La empresa basa su estrategia competitiva en dos pilares . El primero de ellos tiene base en los procedimientos de compras y el segundo en las operaciones. El trabajo desarrollado opera sobre la este último logrando la optimización basada en restricciones mediante la liberación paulatina de ordenes de trabajo que evitan el bloqueo de los recursos operativos sin llegar a quiebres de inventario en góndola. La técnica que exploramos logra vencer los problemas de explosión combinatoria y entregar una programación de operaciones comenzando a calcular a las cero hora de cada día y entregando un detalle antes de las seis de la mañana.

1 INTRODUCCIÓN

Luego los cambios que las empresas de Argentina debieron enfrentar posteriores al 2001 ha habido un cambio general en la forma y en los medios que las empresas han tenido que desarrollar para adaptarse a un nuevo escenario. Hoy a cinco años de esa crisis y con perspectivas de crecimiento y limitaciones para financiar ampliaciones, el rubro de los supermercados no escapa a esta generalidad y si bien esta empresa familiar ha intentado por intuición optimizar sus recursos, resta un largo camino para poder afirmar que se está en ese punto.Si bien podemos encontrar entre las diez empresas que más facturan hoy en la Argentina a dos del rubro supermercado, esta empresa puede considerar a estas grandes cadenas como competidores peligrosos y tenaces. A pesar de ello, enfoca sus esfuerzos para competir en un mercado de consumidores de bajos recursos, ha logrado un sostenido crecimiento en los tres últimos años en parte gracias a la paulatina recuperación del poder adquisitivo de este sector.

A diferencia de las grandes cadenas que concentran en pocas bocas de expendio gran volumen de venta, nuestra empresa tiene un elevado numero de bocas de expendio distribuidas por varias provincias, con pequeños locales distribuidos por zonas residenciales. Entro los productos centrales de su competencia se hallan los no perecederos. Este tipo de estrategia complica fuertemente las operaciones en especial en lo referente a trafico y almacenamiento.

2 AUDITORIA LOGÍSTICA

Como resultado de un proceso de auditoria logística inicial se determinó que la empresa tenía oportunidades de mejoras en las áreas de transporte, trabajo que se desarrollo por medio de una gestión integral del tráfico y en los almacene. En este trabajo nos limitaremos a exponer el trabajo realizado en almacenes que fue el área que se estimó inicialmente que más oportunidades de mejoras presentaba.

2.1 *Situación general de los almacenes.*

La empresa cuenta con dos almacenes. Uno de la provincia de Córdoba y el otro en Mendoza. Desde este último abastece al 80% de sus bocas. La empresa ha desarrollado un sistema informático que opera el abastecimiento y los niveles de stock mediante una técnica llamada "pedido automático" .Consiste en indagar al momento de cerrar todas las cajas registradoras que es lo que se ha vendido en el día, consolidar los consumos de todas las bocas de expendio y pedir exactamente esas cantidades a los mayoristas. Los niveles actuales de inventarios en las bocas de expendio y en el centro de distribución de cargas se fijan mediante la formula de Wilson en base a los costos de almacenamiento junto a los costos de emisión.

2.2 *Criticas al modelo de Wilson*

El uso a lo largo del tiempo del sistema de pedido automático y la poca certeza que tenemos al imputar costos a las cuentas "costos de almacenamiento" y de emisión, sumado a los retardos que existen para el traslado de la información han motivado que la empresa caiga en una situación que indefectiblemente termina con elevados niveles de inventarios en los almacenes de los centros de distribución de carga. Pensemos por un momento que el modelo de Wilson fue desarrollado en los años 20 y tenía en mente situaciones de mercados estables a largo plazo. No fue hasta pasados varios años de la crisis financiera de los 30 que el modelo tomo contacto con el ámbito universitario y en definitiva este fue uno de los factores que la empresa bajo estudio pudiese sobrellevar la crisis financiero del 2001. Otro aspecto interesante a notar es que la empresa tiende a calificar o penalizar con valores muy altos los quiebre de inventario en góndola llegando al extremo de castigar al sistema de gestión del transporte con viajes de móviles con 20% de su capacidad de carga. Desde el punto de vista sistémico la empresa opera con tres centros o sub sistemas, el primero es las bocas de expendio, el segundo es el sistema de trafico y el tercero es el centro de distribución de cargas. Cada uno de ellos opera como un elemento dinámico que introduce un retardo particular en el envío de su información de operaciones y a la vez tiene un retardo en la recepción de sus insumos productivos (llámense estos mercancías, combustibles para el transporte o sus propias ordenes de trabajo.

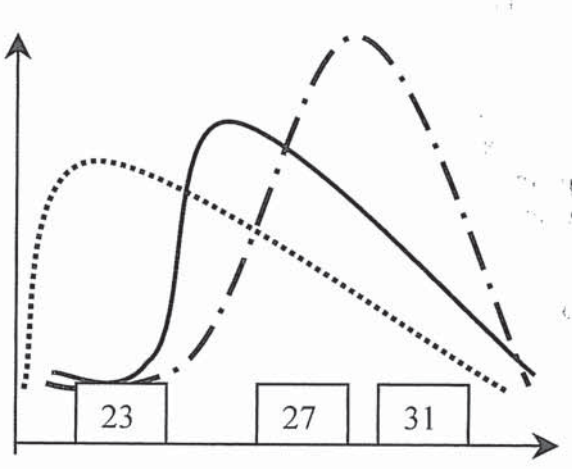


Fig. 1 Características dinámicas del sistema

En la figura 1 podemos observar la naturaleza dinámica del funcionamiento integral del sistema

ante una demanda escalón generada el 23 de Diciembre de 2003. En la línea de puntos se observan la evolución de las ventas en la línea continua. En línea de puntos se ve como evolucionaron los inventarios en el centro de distribución de cargas y por último la línea de trazo y puntos demuestra la evolución de las compras.

Como resultado de este operar la cada vez que la empresa detecta un incremento en la venta de algún ítem el sistema de pedido automático lanza las ordenes y cada eslabón de la cadena empuja los productos hacia la boca de expendio pero cada da uno intenta protegerse contra los quiebres. Para que no sea su eslabón el responsable trata de optimizar el funcionamiento de su área , consiguiendo lo que técnicamente se denomina un óptimo local distorsivo.

Cuando el consumo del ítem vuelve a los valores habituales, el sistema tiene una gran inercia que continúa empujando los productos hacia la boca de expendio lo que indefectiblemente termina en un sobreinventario que solo puede ser solucionado vendiendo en los productos a precios inferiores a los costos.

3 OPTIMIZACIÓN COLABORATIVA

De las distintas posibilidades que teníamos disponibles para conjugar las necesidades de cada sector de la empresa decidimos utilizar la metodología de optimización colaborativa (OC) que nos permite fijar niveles de inventario que permitan poner la empresa en un óptimo operativo global.

3.1 *Descripción de la técnica OC*

La técnica consiste en dejar que cada eslabón plantee sus propias ecuaciones de optimización y generar una instancia superior a ellos que imponga restricciones a los jacobianos de cada eslabón. La técnica propuesta por Brown & Koor Ref. [1] en 1995 es especialmente útil en este caso en que tenemos una familia de productos no perecederos del orden de 20.000 posiciones.

3.2 *Formulación matemática de la OC*

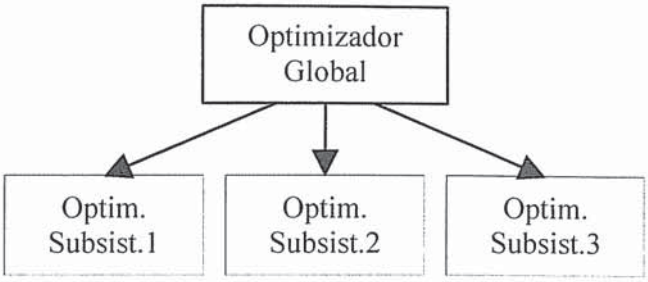


Fig. 2 Framework de OC

El marco en el que progresa la optimización tal como lo indicamos en el apartado anterior implica que cada sector inicia su optimización en base a variables que son comunes para su semántica sectorial pero sobre él opera un optimizador global que le impone restricciones a sus variables. Estas restricciones provienen de traducir los requerimientos de los otros eslabones. En términos el optimizador global debe ser capaz de generar su propia optimización en base a todas las restricciones que imponen los subsitemas. Muchas de las aplicaciones que se pueden encontrar en la bibliografía usan como variables conectoras a los costos o a los ingresos. En nuestro caso hemos preferido utilizar el tiempo como variable conectora. Esta es una vieja práctica en la logística y es bien conocido en el mundo de los negocios, aún cuando pocos parecen tener presente que el "el tiempo vale oro".

En muchos casos la técnica , según lo expuesto por DeMiguel y Murray 2000 Ref [2] la técnica avanza rápidamente hacia el óptimo sin llegar a una explosión combinatoria, incluso es posible trabajar en dominios no lineales a condición de que se traten espacios convexos. En nuestro caso hemos optado por trabajar a nivel de optimización global con una función cuadrática , nuestra función es del tipo

$$F(z) = \left[\hat{Z} - \overset{*}{Z} \right]^2$$

que representa la diferencia cuadrática que dos eslabones imponen a la variable conectora Z.

3.2 *Modelo matemático*

Optimizador Global:

$$\min \overset{*}{Jsys}(\overset{*}{Z})$$

sujeto a: $J(i) = 0$

para todo i variando en el rango

$$\overset{*}{Z}_{low} \leq \overset{*}{Z} \leq \overset{*}{Z}_{up}$$

Este rango está impuesto por los subsistemas a optimizar locales

Optimizador local (i esimo sub sistema)

$$\min Ji(\overset{*}{Z}, \hat{Z}) = f(\overset{*}{Z}, \hat{Z})$$

sujeto a: $g(\hat{Z}, Xi) \leq 0$

$$h(\hat{Z}, Xi) \leq 0$$

para todo x variando en el rango

$$X_{low} \leq X \leq Z_{up}$$

Donde :

$\overset{*}{Z}$ es un vector de variables definidas por el optimizador global (conectoras entre los subsistemas)

$\hat{Z}$ es un vector de variables utilizadas por el subsistema iésimo

X_i es un vector de variables definidas por el iésimo subsistema.(rango de variabilidad de las variables del problema local del subsistema)

4 PUESTA EN PRACTICA

Con el modelo expuesto se desarrollaron algunas piezas de software que permitieron que la empresa capture la información necesaria del área operaciones y la vuelque a sus bases de datos. A pesar de la completo que es el sistema informático con el que cuenta la empresa, jamás se habían contabilizado tiempo. Se habían llevado contabilidad de fondos, créditos, débitos, envases, litros de combustible, kilómetros; pero jamás tiempo.

Los datos recolectados se volcaron a un cuadro de mando integral y se comenzaron a emitir alertas tempranas cuando el accionar de un sector de operaciones se generaba resultados que apartaban de el optimo global a la empresa.

Se escribió una pieza de software especial desarrollada en GNU C inspirada en el código Juergen Ebert Ref. [3] . Según el autor esta rutina utilizada por varios años en IBM para resolución de problemas de programación lineal entera tiene una rápida convergencia y bajo costo computacional.

Posteriormente se compilo una librería dinámicamente cargable (dll) que es llamada desde un formulario de Visual Basic for Aplications invocada desde una hoja de calculo Excel.

4.1 *Desarrollo informático e implementación*

Basados en los datos obtenidos de la OC se determinaron los niveles de inventarios necesarios para la operación. Se realizo un modelo en 3d que muestra como debería lucir el almacén central y se comparó con fotografías del mismo.

4.2 Localización de familias de productos

El almacén del centro de distribución de cargas tiene cuatro naves, de las cuales una es utilizada como pulmón para descargar paletas (pallets). Este sector tiene una gran dinámica y se ha observado que cometer errores en este sector desencadena una serie de retrasos que pueden hacer fracasar toda la operación.

Se estableció una ecuación de costo de operación para cada posición en el piso del almacén basada en el producto de la distancia a la zona de picking multiplicado por el numero de pedidos que se llevan de un determinado ítem.

Se elaboró una matriz en la que en filas se señaló el ítem y en columnas la posición en el piso del pulmón. Cada elemento c(i,j) representa el costo de poner en la posición i el producto j .

El objetivo es minimizar el jacobiano

$$J(i,j) = \Sigma C(i,j)$$

Sujeto a las restricciones expresadas por una matriz de asignación en la que las filas y columnas son las mismas que en la matriz anterior pero los valores son solo uno y ceros.

A (i,j) Matriz de asignación.

En esta segunda matriz un uno en una posición i,j indica que el producto i debe colocarse en la posición j del pulmón.

Las restricciones que imponemos tienen que ver con que la suma de los valores de cada fila de la matriz a sean iguales a uno (restricción del tipo "un lugar para cada cosa") y que la suma de los valores de cada columna sean igual a uno (restricción del tipo "cada cosa en su lugar").

$$\min \Sigma C(i,j) * A(i,j)$$
para
$i = 1...n \quad j = 1...m$

sujeto a :

$$\left\{ \begin{array}{l} \Sigma A(1,j) = 1 \text{ para } j = 1...m \\ \Sigma A(2,j) = 1 \text{ para } j = 1...m \\ ... \\ ... \\ \Sigma A(n,j) = 1 \text{ para } j = 1...m \end{array} \right\}$$

y

$$\left\{ \begin{array}{l} \Sigma A(i,1) = 1 \text{ para } i = 1...n \\ \Sigma A(i,2) = 1 \text{ para } i = 1...n \\ ... \\ ... \\ \Sigma A(i,3) = 1 \text{ para } i = 1...n \end{array} \right\}$$

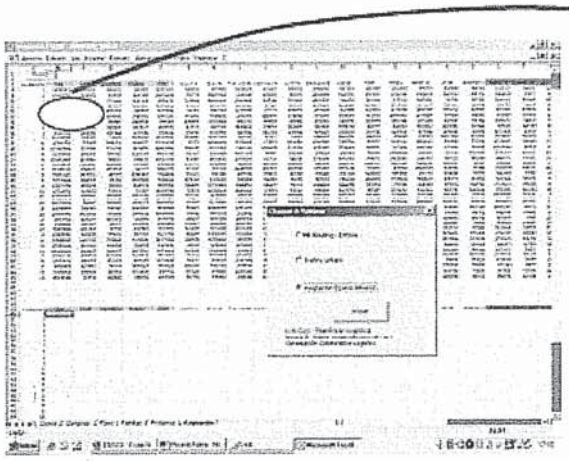


Fig 3

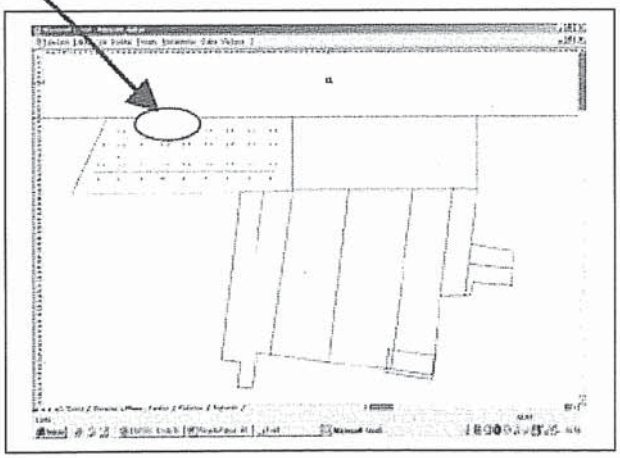
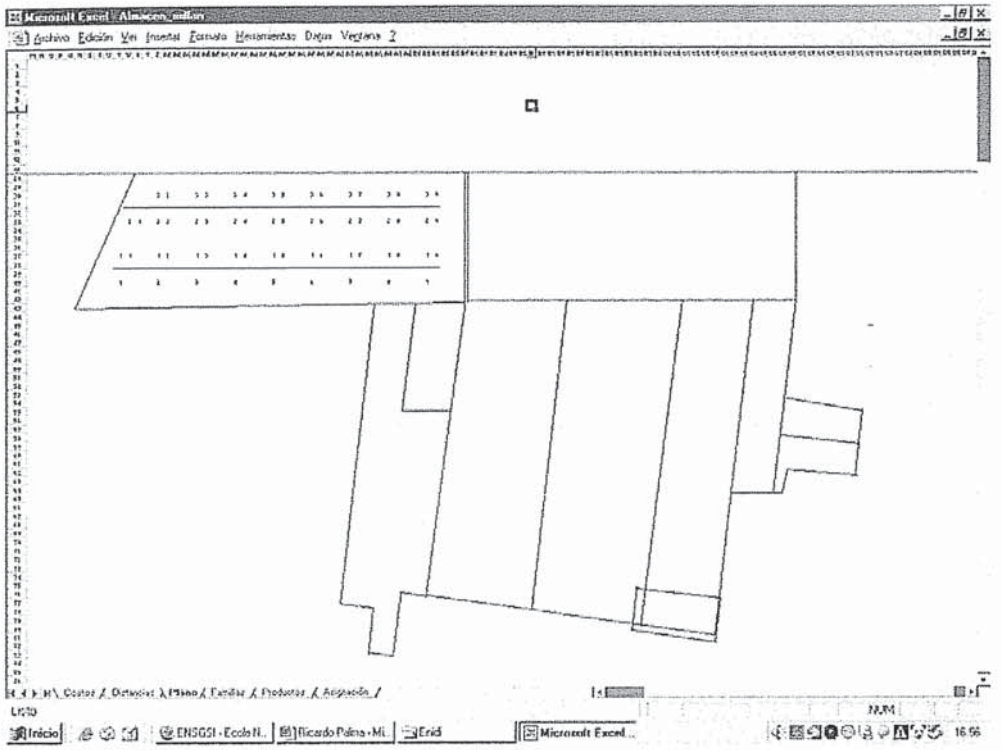


Fig 4



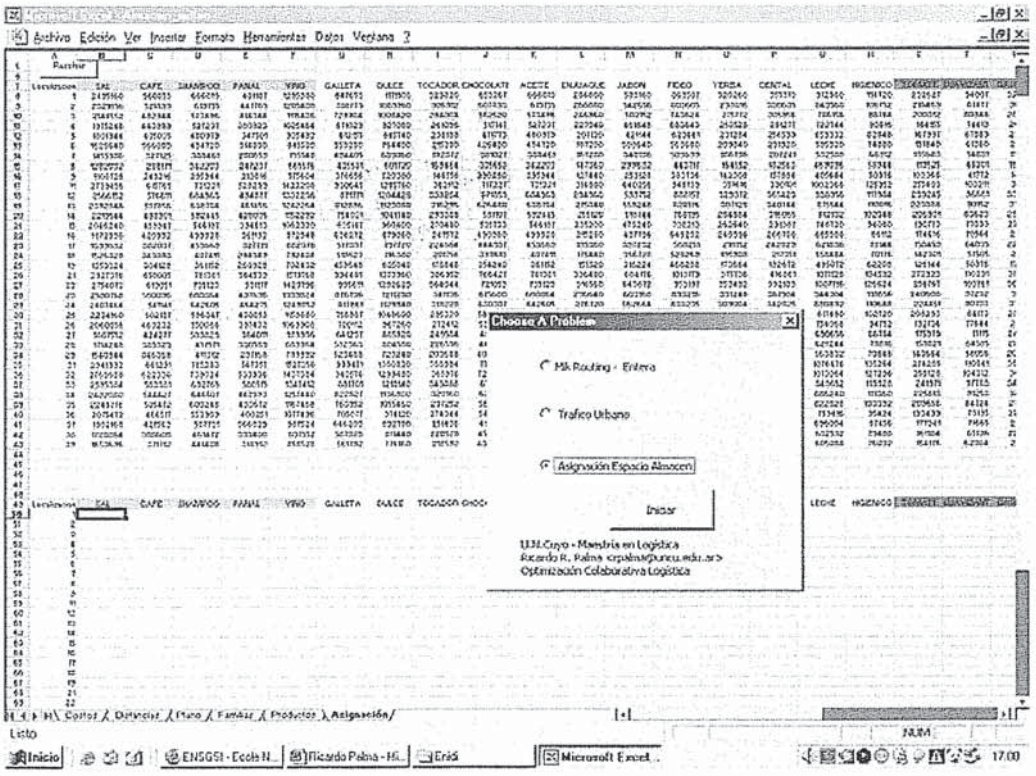
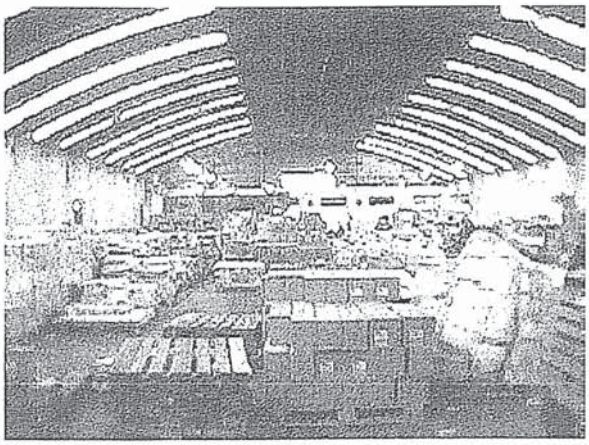


Fig 2 y 3 ampliadas Detalle de la implementación en software

Se puede apreciar un detalle del esquema del plano de planta y la matriz de asignación y que indica donde se localizarán los pallets de los productos en la medida que arriban al almacén



Bloque de operaciones 9:30 hs
Antes de implementar la técnica



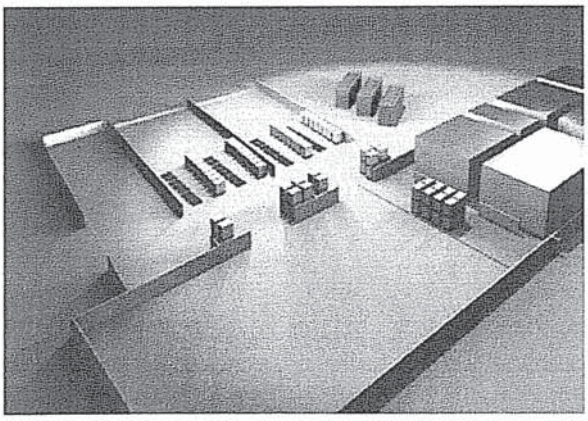
Vista parcial de la nave 2
después de implementada la técnica



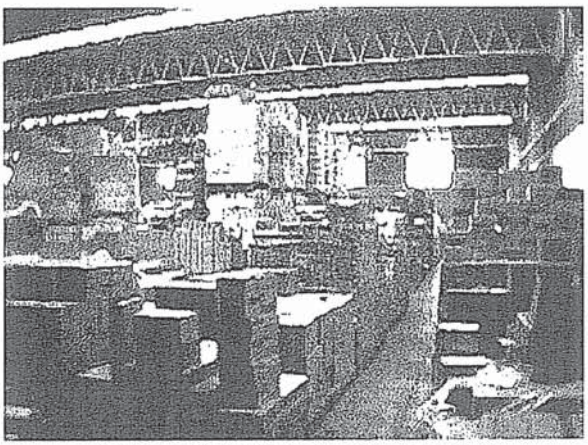
Situación Actual 9:30 hs



Asignación tradicional de espacios



Esquema de distribución al inicio de la jornada



Asignación dinámica de espacios

6 Conclusiones

La adaptación de la técnica de optimización colaborativa al problema presentado permitió en primer lugar alcanzar a realizar una programación de las tareas en el marco de la ventana de tiempo disponible que la empresa tenía . Esta ventana que se inicia a las cero hora de cada día cuando se ha terminado de recolectar el total de la información de las cajas registradoras y termina a las seis horas cuando el primer turno de operadores comienza a preparar pedidos del día es una restricción inicial del problema en que otras técnicas solo podían otorgar una solución que se encontraba lejos del óptimo global.

De la observación del progreso de los cálculos paso a paso es posible inferir como opera la técnica. Cada subsistema, a su tiempo impone secuencialmente restricciones que son tomadas por el optimizador global mediante las variables conectoras. El paso de buscar una solución que satisfaga al resto de los subsistemas, con sus restricciones y ecuaciones a optimizar entregan al primer subsistema nuevas restricciones que van avanzando rápidamente hacia la solución global.

El método tiene un parecido al de resolución de integrales por sustitución de variables, en donde se suele reemplazar a una variable x por una función que reemplazada en la ecuación original entrega un polinomio más fácil de factorear, simplificar o integrar..

Desde el punto de vista matricial las variables conectoras y los subsistemas tratan de avanzar hacia el óptimo local y en su avance simplifican la matriz del optimizador global dejándola más fácil de operar.

La técnica es especialmente prometedora para trabajarla en clusters, dejando que cada equipo del mismo avance en paralelo hacia la solución del optimo local. Sobre este tema se pretende profundizar la investigación en el próximo semestre.

Si bien el carácter de novedoso de la investigación está vinculado al uso de esta técnica inicialmente usada en el campo del diseño aeronáutico para llegar a regiones optimas de Pareto, es muy interesante además observar las posibles líneas de investigación que se abren en el campo del cálculo numérico, en especial si tenemos en cuenta que los optimizadotes locales pueden emplear algoritmos clásicos de programación lineal tales como los que se modificaron a partir del trabajo de Ebert [3].

Los algoritmos utilizados tanto en el optimizador local como en los globales han sido modificados para hacer uso intensivo de sumas en lugar de productos de matrices a fin de bajar el costo computacional, pero los resultados obtenidos no son muy aceptable por el momento. Durante el final del presente semestre se está trabajando métodos matemáticos que tiendan a minimizar la propagación de errores infinitesimales.

Con todo la comparación de performance entre el desarrollo de la pieza de software elaborado contra los resultados obtenidos por vía de programación lineal pura tienen menos de un trés pro ciento de diferencias en la localización de pallets en la planta del almacén y han coincidido respecto al momento en que la operación de inicio del traslado o preparación del pedido deber ser impreso para que el trabajo comience. Téngase en cuenta que el uso de programación lineal demanda un tiempo superior en varios dias respecto de la ventana horaria disponible para resolver el problema.

En la imágenes de la página anterior se puede ver el impacto que ha tenido el uso de la solución desarrollada en aspectos como la asignación dinámica de espacio en el almacén y el haber logrado evitar el bloqueo de las operaciones de picking

7 REFERENCIAS

[1] V. Koor y J. Brown, Multiobjetive Otimimozation based on Collaborative Optimizatión. *Institute for Computer Applications in Science and Engineering (ICASE)- Research paper*

[2] V, DeMiguel & W. Murray, An Analysis of Collaborative Optimization Methods, http://faculty.london.edu/avmiguel/papers.html

[3] Juergen Ebert lp_solve development comunity www.geocities.com/lpsolve (Unesco FSF / GNU)

Regiones cercanas a fallas activas para la zona sísmica 4 de la República Argentina

C. D. Frau
cdfrau@frm.utn.edu.ar
CeReDeTeC, Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional

R. Saragoni H.
rsaragon@ing.uchile.cl
Dpto. Ing. Civil, Fac. Ciencias Fisico-Matemáticas, Universidad de Chile

L. Torres, C. Contreras, A. Figueroa y E Brandolín
leandtorres@gmail.com
Alumnos Ing. Civil, Facultad. Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional.

RESUMEN: las características del movimiento del terreno en las regiones próximas a la fuente sísmica son mucho más severas que aquéllas ubicadas a cierta distancia. Así, para poder cumplir con el objetivo de salvaguardar la vida humana, los requerimientos de diseño sísmico necesitan contemplar las características distintivas de la demanda sísmica de campo cercano. Es necesario, por lo tanto, identificar las potenciales fuentes sísmica, sus parámetros máximos y su ubicación espacial desde un punto de vista ingenieril. El presente trabajo propone la identificación de las principales fallas activas y las clasifica según su importancia. En función de la información existente, adopta parámetros para su uso en diseño sísmico y define los anchos de las zonas consideradas próximas a fallas. Presenta una grilla de la región para el futuro desarrollo de mapa de zonas cercanas a fallas para la zona sísmica 4 de la República Argentina.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 *El fenómeno de proximidad a fallas*

Los registros de terremotos cercanos a la región de ruptura de la falla resultan significativamente diferentes de aquellos ubicados a cierta distancia. La zona comprendida dentro de una estrecha franja a cada lado la traza de la falla se conoce como zona cercana o próxima a fallas (near-fault, near-field o near-source). Dentro de esta zona, el movimiento del suelo está fuertemente influenciado por el mecanismo de ruptura de la falla, la dirección relativa de propagación de la ruptura respecto del sitio y posibles desplazamientos permanentes del suelo como resultado del deslizamiento relativo de ambas caras de la falla. [1].

Evidencias indican que la sacudida del suelo cercano a una falla sísmica se caracteriza por un movimiento impulsivo de corta duración que somete a las estructuras a un alto "input" de energía al inicio del registro. Según SEAOC Bluebook (1996), el fenómeno requiere consideraciones especiales de diseño para las estructuras que se ubican dentro de la región próxima a falla.

1.2 *Situación en la República Argentina*

El oeste de la República Argentina presenta una importante actividad sísmica, especialmente en los conglomerados urbanos de las ciudades de Mendoza y San Juan. La presencia de un sistema de fallas activas próximas a estos centros los exponen al fenómeno de sismos de campo cercano. Las características sismogénicas tienen cierta similitud con los correspondientes al oeste de los Estados Unidos [2].

1.3 *Normas y Códigos*

Los procedimientos que establecen los reglamentos de diseño sísmico actualmente en uso han sido calibrados fundamentalmente con registros de sitios lejanos a la fuente sísmica. El reconocimiento reciente de la existencia del fenómeno de falla cercana ha llevado al código Uniform Building Code, versión 1997 [3] a introducir coeficientes de mayoración en la determinación de las acciones sísmicas. Los mismos ponderan la importancia de la falla sísmica y la proximidad de la construcción a la fuente elevando las ordenadas de los espectros de diseño con la intención de que las estructuras puedan mantenerse en pie cuando sean sometidas a terremotos de fuente cercana. Sin embargo, la confiabilidad de este procedimiento está actualmente en discusión, debido a la marcada diferencia en la respuesta que las estructuras presentan a movimientos cercanos y lejanos a la fuente sismogénica.

El reglamento argentino INPRES-CIRSOC 103, redactado en 1982 y levemente modificado en 1991, no hace referencia al fenómeno. Actualmente, está en elaboración un anteproyecto de actualización de esta norma, en la que se ha incorporado disposiciones relativas a las edificaciones que se ejecuten en proximidad de fallas activas dentro de la República Argentina. Recientemente se ha puesto en discusión pública el Anteproyecto de Reglamento CIRSOC 401, Estudios Geotécnicos (mayo de 2006), el cual expresa que este reglamento no establece prescripciones sobre temas geológicos, dando en su anexo A-2 sólo algunos requisitos de los mapas geológicos para su utilización en geotecnia.

De lo expuesto surge la necesidad de identificar las zonas próximas a fallas activas donde se deben aplicar las disposiciones especiales de diseño sísmico.

2 ALCANCE DE LA ZONIFICACION

2.1 *Area de estudio*

El presente estudio abarca zona denominada en el reglamento INPRES-CIRSOC 103, parte I como zona de muy elevada peligrosidad sísmica , Zona Sísmica 4. Esto comprende la región norte de la provincia de Mendoza y gran parte de la provincia de San Juan. [4]

2.2 *Ancho de la zona cercana a fallas*

Al analizar cuál es la distancia hasta donde los efectos de la proximidad a la ruptura son significativos, la gran mayoría de los autores concuerda en establecer una distancia de 15 km, a cada lado de la traza de la falla como la zona cercana. Para establecer el ancho de la zona cercana a fallas se sigue el criterio de Petersen et. Al (2000) [5]. Esta zona a los fines de las prescripciones pare el diseño sísmico se subdivide en tres campos:

a) 0 a 5 km
b) 5 a 10 km
c) 10 a 15 km , sólo para fallas tipo A

Para las fallas Tipo C (ver parágrafo 3.2) no se requieren consideraciones especiales de diseño sísmico por cercanía a fallas. Para las fallas tipo B, la región cercana comprende los campos a) y b). Para las fallas tipo A la zona cercana comprende los 3 campos a), b) y c).

Tabla 1. Zonificación Sísmica de la Rep. Argentina

Zona Sísmica	Peigrosidad	Zonif. Cerc. Fallas
0	Muy Reducida	No se aplica
1	Reducida	No se aplica
2	Moderada	No se aplica
3	Elevada	No se aplica
4	Muy Elevada	Es de aplicación

3 CLASIFICACION DE FALLAS

3.1 *Definición de fallas activas*

En la práctica ingenieril es ampliamente aceptado el concepto de falla activa para denominar a fallas o segmentos de fallas geológicas que están sometidos a los esfuerzos tectónicos actuales y sobre cuyas

superficies de contacto se han producido desplazamientos relativos durante los últimos 10.000 años (periodo holoceno), a veces acompañados de ruptura superficial que ponen de manifiesto la evidencia de terremotos de diferentes magnitudes.

Para el presente trabajo el concepto de falla activa se ha generalizado debido a que el intervalo de recurrencia de muchas fallas seguramente supera los 10.000 años. Por lo tanto, la estructura más "activa", es decir aquella de movimiento más reciente, es probable que no sea la más significativa en términos del peligro sísmico asociado. Ya que la probabilidad de generar otro evento en el futuro inmediato es menor que otra estructura, cuyo intervalo de inactividad sea más prolongado. Por lo tanto algunas fallas sin registros evidentes o importantes de sismicidad en el período histórico, podrían constituir importantes fuentes sísmicas en el futuro inmediato. También puede suceder que algunas estructuras hayan generado con anterioridad terremotos de mayor magnitud que los conocidos en el periodo histórico, modificando por lo tanto el cuadro del peligro sísmico regional. [6]

3.2 *Importancia de las fallas*

Con el fin de clasificar las fallas se evalúan cuatro aspectos: características geométricas de las fallas; ubicación, magnitud máxima esperada y tasa de deformación . Los aspectos geométricos y de ubicación se relacionan con la definición de las zonas cercanas a l fuente, mientras que su tasa de deformación y la magnitud máxima esperada revelan la importancia de la falla. El concepto que contiene la importancia de las fallas es que los daños en las estructuras en el caso d sismos impulsivos están controlados por el periodo y amplitud del pulso de velocidad del suelo y éstos a su vez dependen de la magnitud del terremoto y de la distancia a la falla sísmica. Para la asignación del nivel de importancia de cada falla se adoptó el criterio establecido por Petersen et al. (2000) [5] y que es el adoptado por el Código Uniforme de la Construcción edición 1997 (UBC-97). La Tabla 2 resume el criterio de clasificación destacando que para que una falla sea encuadrada en una categoría debe satisfacer las dos condiciones de magnitud simultáneamente.

3.3 *Tasa de deformación de fallas*

Como muestra la Tabla 2 importancia de las fallas se basa en el terremoto potencial máximo medido a través de la magnitud máxima probable y en la tasa de deformación de la misma. Dada la inexistencia de información en cuanto a la tasa de deformación de muchas fallas y a los fines de poder identificar la importancia del fallamiento asociado a la región en estudio se procedió a la estimación de la tasa de deformación de aquéllas fuentes sísmicas en las cuales no se tiene este parámetro con la ayuda del diagrama de Slemmons et al. (1982) en función de la magnitud máxima esperada y su tasa de retorno. [7]

Tabla 2. Importancia de las fallas

Tipo de Fuente Sísmica	Def. de la Fuente Sísmica	
	Máx. Momento Magnitud, M	Tasa de Deformac. (mm/año)
A	M > 7.0	SR > 5
B	M > 7.0 M < 7.0 M > 6.5	SR < 5 SR > 2 SR < 5
C	M < 6.5	SR < 2

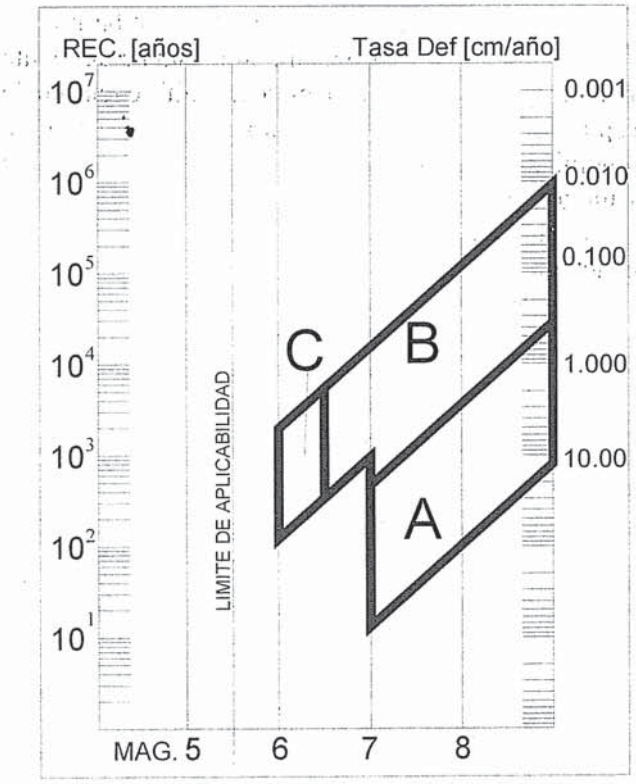


Fig. 1. Diagrama de Slemmons

4 FALLAS ACTIVAS ZONA SÍSMICA 4 DE LA REPÚBLICA ARGENTINA

4.1 *Información sobre las fallas*

En el Anexo 1 se presenta la Tabla 3 donde se describen las fallas activas correspondientes a la zona sísmica 4 de la República Argentina. La información de donde se obtuvieron los datos para cada fallas corresponden a las referencias [8], [9], [6] y [10]. La tabla resume los parámetros fundamentales de cada falla y la clasificación según su importancia como A o B.

4.2 *Mapeo de fallas y zonas cercanas a fallas.*

Actualmente se están desarrollando los mapas a escala conveniente para el uso práctico. Los mapas contendrán información sobre las fallas, indicando su traza y delimitando los campos de 2, 10 y 15 km a cada lado, según corresponda. La Fig. 1 muestra esquemáticamente la forma en que se organizará la cuadrícula para el mapeo en una escala mayor.

5 CONCLUSIONES

Del presente trabajo pueden extraerse las siguienes conclusiones:

a) La región del centro-oeste argentino presenta un sistema de fallas activas próximas a importantes centros urbanos, los que se encuentran expuestos a terremotos de campo cercano.

b) Las construcciones emplazadas en zonas cercanas a fallas activas requieren de consideraciones especiales de diseño a fin de cumplir con el objeto de evitar la pérdida de vida ante la ocurrencia de un terremoto destructivo.

c) La zonificación de zonas próximas a fallas activas propuesta resulta un complemento necesario a las reglas de diseño prescriptas en el anteproyecto de actualización de la Norma INPRES-CIRSOC 103, Parte I.

d) Es importante que esta zonificación de zonas próximas a fallas se incorpore a los reglamentos de diseño sísmico para evitar que acciones administrativas de entes públicos o privados modifiquen estas exigencias sin un criterio técnico adecuado.

6 REFERENCIAS

[1] P. Somerville, N.F. Smith, R.W. Graves, and N.A. Abrahamson. Modification of empirical strong ground motion attenuation relations to include the amplitude and duration effects of rupture directivity, Seismological Research Letters.68, 180-203, 1997.

[2] G. R. Saragoni. Características destructivas de los acelerogramas de fuente cercana y los grandes terremotos argentinos. XVIII Jornadas de Ingeniería Estructural, Buenos Aires, 2004.

[3] Código Uniforme de la Cosnstrucción. EEUU, Primera Ed. en español, 1999.

[4] INPRES-CIRSOC 103.ormas Argentinas para la Construcción Sismorresistente. Parte I. Argentina, 1991.

[5] M. D. Petersen et al. Active fault near-source zones within an bordering the State of California for de 1997 Uniform Building Code. Earthquake Spectra, Vol. 16, N° 1, February 2000.

[6] Carta de Peligrosidad Geológica 3369-II-Mendoza. Dirección de Geología Ambiental y Aplicada, Servicio Geológico Minero Argentino, Buenos Aires, 2000.

[7] D. B.Slemmons. Magnitudes for the Calaveras and Hayward fault zones. California Division of Mines and Geology, Special paper 62, 115-124, 1982.

[8] INPRES. Microzonificación sísmica del Valle del Tulum, Provincia de San Juan, Argentina, Informe Técnico General. Volumen I, II y III, San Juan, Argentina, 1982.

[9] INPRES. Microzonificación sísmica del Gran Mendoza. Informe Técnico General. Volumen II, San Juan, Argentina, 1989.

[10] C. Costa et al. Map and database of quaternary faults and folds in Argentina. Departament of the Interior, U. S. Geological Survey, USA, 2000.

Anexo 1.

Tabla 3. Principales Fallas para la Zona Sísmica 4.

IDENTIFICACION	IMP.	TPM	TASA MOVIM.
		Mag	mm/año
Pismanta - Las Flores	B	7,2*	Estimada
El Tigre	**A**	7,8*	1-5
La Cantera	B	6,9	Estimada
La Dehesa	B	7,2*	Estimada
Maradona - Acequion	B	7,2*	0,2-1
Las Tapias - Villicum	B	>6,5	Desconocida
La Laja (Precordillera Oriental)	**A**	7,5	1-5
Rinconada	B	>6,5	1-5
Los Berros	B	>6,5	0,2-1
Cerro Salinas	B	>6,5	Estimada
Ampacama-Niquizanga	B	7,7	Estimada
Pajaritos	B	>6,5	Estimada
Las Chacras	**A**	7,0*	1-5
Las Peñas (Jocolí)	B	>6,5	Estimada
Montecito (Pliegue)	B	>6,5	1-
Calle Perú (continuación Cerro la	B	7,0	0,2-1*
Cerro de la Cal	B	7,0*	0,2-1
Capdevilla-Borbollon (Pliegue)	B	>6,5	1-5
Cerro del Cristo (Cerro la Gloria)	B	6,5	Estimada
Melocotón	B	7,0*	0,2-1
Las Higueras(Los Cerrillos/Salagasta)	B	>6,5	Estimada
Lomas Bayas (Pligue)	B	>6,5	Estimada
Punta del Agua	B	>6,5	Estimada
Barrancas Este	B	7,0*	Estimada
Barrancas Oeste	**A**	7,0*	1-5
Divisadero Largo	B	>6,5	Estimada
Zonda	B	>6,5	0,2
Sistema Los Blanquitos	B	>6,5	Estimada
Marquesado	B	>6,5	Estimada
La Chilca	B	>6,5	Estimada
El Carrizal	B	>6,5	Estimada
El Alcazar	B	>6,5	Estimada
Mosquitos	B	>6,5	Estimada
Cepeda	B	>6,5	Estimada
Tontal	B	>6,5	Estimada
La Horqueta	B	>6,5	Estimada
Ansilta-Jarillal	B	>6,5	Estimada
Grupo Yalguaraz	B	>6,5	Estimada
Agua del Jaguel-Peñasco	B	>6,5	Estimada
Grupo Sierra de Uspallata	B	>6,5	Estimada

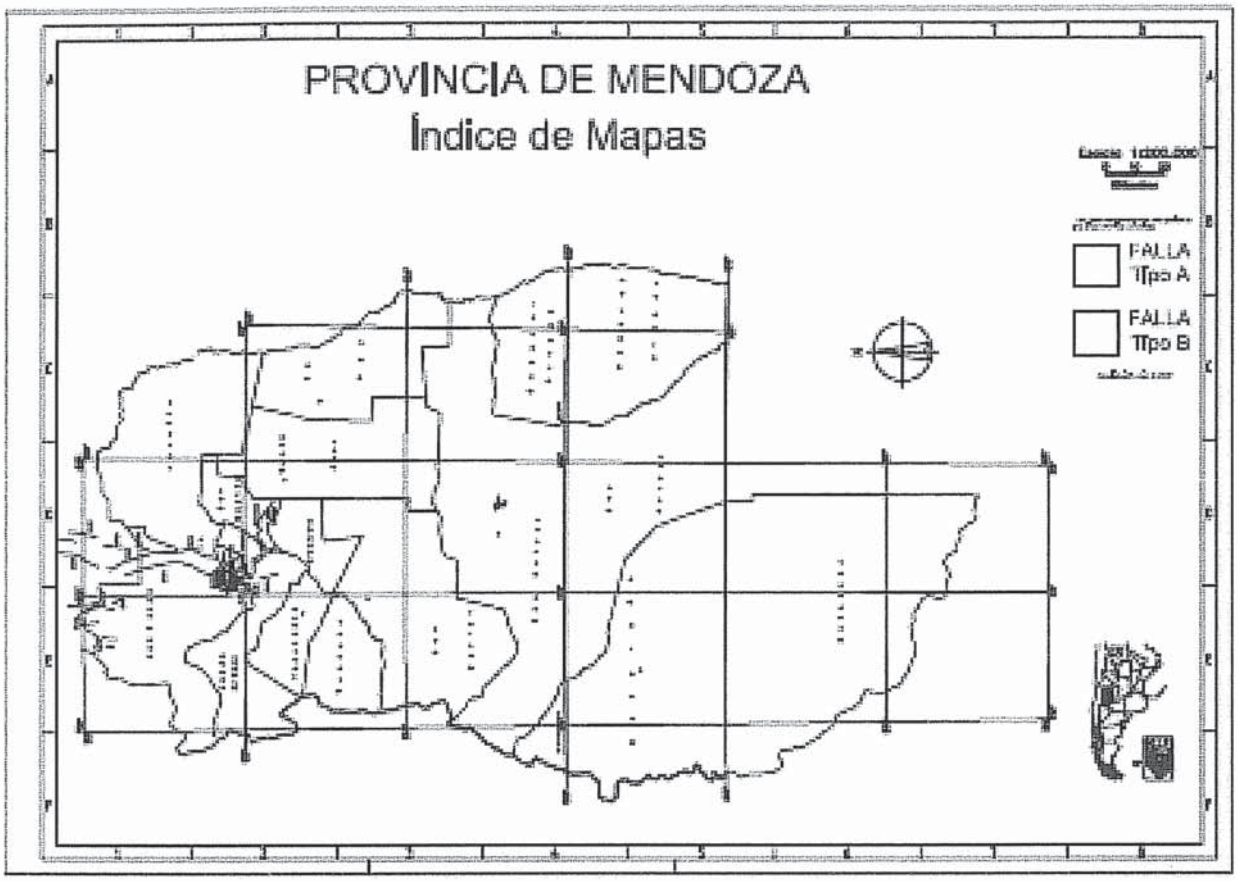


Fig. 1. Esquema de cuadrícula y referencias para el mapeo de fallas

ÍNDICE DE AUTORES

A

Acosta, P. 53
Acosta, S. G. 305
Aguera, N. D. 211
Albornoz, A. 275
Álvarez, L. R. 291
Arbona, S. 1
Arena, P. 261, 275, 299
Arreghini, M. 93

B

Balanza, M. E. 115, 195, 203
Balverde, G. 15
Barrera, M. B. 115
Bello, C. 217
Bittar, M. 93
Blanco, M. H. 145
Boccaccini, A. R. 167
Bochaca, F. R. 321
Boschi, C. E. 305
Brandolín, E. 343

C

Cabrera, G. A. 145
Camargo Pardo, M. 123
Canizo Julián, G. J. 189
Cantú, A. D. 53
Casu, F. 145
Catania, C. 37
Ceccoli , A. 1
Chogriz, M. 15
Ciravegna, M. M. 291
Civit, B. 299
Contreras, C. 343
Costa, N. 37
Crisafulli, F. 223
Cruciani, C. 181
Cuadrado, G. 217
Cueto, J. 15

D

Dávila, A. H. 107
Dávila, C. L. F. 99
Di Lello, F. A. 247
Dimarco, S. V. 329
Distéfano, M. 239

E

Espina, P. G. 99
Esteves, A. 305
Euillades, L. D. 145
Euillades, P. A. 145

F

Fernández Llano, J. 93
Fernández, J. F. 61, 291
Ferrer, L. 93
Figuerora, A. 343
Flores, C. A. 115
Forradellas Martínez, R.Q. 123, 153, 335
Frau, C. D. 343
Furlani, A. M. 107

G

Gaido, A. 161
García Garino, C. 37, 69

García, B. 181, 283
Gardey Merino, M. 275
Garro, M. A. 29
Gauna Orpianesi, A. M. 189
Gioacchini, G. 45
Giraud, H. 15
Góngora, J. P. 181
González Videla, E. 85
González, A. F. 305
Gonzalez, L. 181
Gurrieri, J. P. 181

H

Haarth, R. 239
Herrerías, A. 275

I

Ibáñez, R. 181
Infante, P. S. 99

L

Laporte, J. A. 61
Leiva, C. J. 77
León, O. 37, 69
López Almansa, F. 223
López, G. R. 291
López, M. V. 203
Lucero, A. 283

M

Magistocchi, L. M. 99
Maldonado, I. A. 15
Maldonado, N. G. 15, 137
Marchetta, M. G. 153
Martínez, H. 239
Maya, J. 181
Membrives, F. 167
Mercante, I. T. 313
Mermet, B. 161
Michelini, R. J. 137
Mirasso, A. 267
Monetti, J. 69
Morel Guimaraes, L. 335
Moreno, J. L. 53
Muñoz Puentes, E. 131, 167

N

Nadal, C. 93
Núñez Mc Leod, J. E. 85

O

Ordóñez, A. L. 115, 195, 203

P

Palazzo, G. L. 223
Palencia, J. C. 211
Palma, R. R. 335
Panella, S. D. 45
Patiño, H. D. 61
Pepe, A. 145
Perez, S. 1
Pina, J. C. 77
Pizarro, N. F. 137
Pomier Baez, L. 85
Pósleman de Sícoli, M. E. 53
Possa, H. N. 131
Pujadas, D. F. 231, 255
Puliafito, C. M. 29
Puliafito, S. E. 7, 321

Q

Quaranta, N. E. 167
Quiroga, C. 93
Quiroga, J. 1

R

Raichman, S. 267

Ranzuglia, A. 1
Risi, A. 283
Rivarola, A. 261
Roggiero, A. A. 329
Roig Zamora, J. F. 123
Rojo, L. 261
Romero, R. 107
Rubio, L. A. 131
Rumbo, C. 181, 283

S

Salas Cayol, L. 15
Santander, M. 181
Santibáñez, M. E. 195
Santillán, M. J. 167
Saragoni H., R. 343
Sarrazin Arellano, M. 21
Schilardi, A. 217
Schnetzer, T. 189
Scollo, L. S. 173
Severi, C. 161
Silva, E. O. 45
Silva, M. 37
Sini, S. A. 131
Somonte, A. 161
Stanziola, M. 275
Stipcich, M. 107

T

Tarántola, F. R. 329
Tornello, M. E. 21, 211
Torres, L. 343

U

Ugarte, S. 93

V

Videla, M. 181
Villafañe, E. 77, 189

Z

Zaradnik, R. 267