

Revista Semestral de la Facultad de Ingeniería  
de la Universidad Nacional de Cuyo  
Mendoza - República Argentina

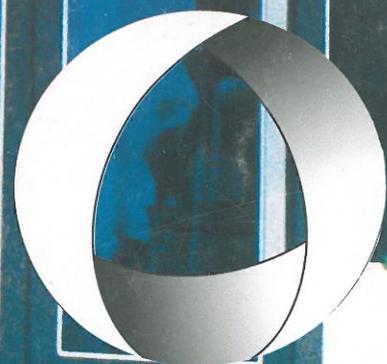
I.S.S.N. 0326-1220

AÑO XIX - NUMERO  
NOVIEMBRE 2000

42

TAD DE INGENIERIA

# Revista de la Facultad de Ingeniería



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

Publicación Científico-Técnica de Ingeniería para Profesionales Universitarios  
Disponible bajo formato PDF en el sitio <http://ing.uncu.edu.ar/noticias/index.htm>

*En acción continua...*

# Normativas

- Los autores solicitarán por nota la publicación de sus trabajos, acompañando el artículo en zip o Cd más dos copias impresas en papel.
- Los contenidos serán de naturaleza técnico-científica del área de la ingeniería; originales, innovadores y en lo posible, inéditos. En este último caso, si hubieran sido ya editados, junto a los detalles de su publicación se acompañarán de la autorización expresa del editor anterior para poder reproducirlos. Podrán tener cabida presentaciones a congresos y monografías que reúnan las características señaladas, como asimismo la puesta al día de conocimientos, artículos de revisión y comentarios a trabajos científicos, siempre que no se trate de mera divulgación. Todos deberán abrir nuevos campos a la ingeniería y/o contribuir a la planificación, análisis, discusión, diseño, cálculo, elaboración, construcción, mantenimiento o gestión de la actividad ingenieril. Serán un aporte al desarrollo y al avance de la profesión, resultando deseable que, de ser posible, incluyan aplicaciones prácticas de sus tratamientos.
- No serán considerados para su reproducción aquellos artículos que evidencien sólo intenciones comerciales.
- La extensión de los trabajos, salvo desarrollos muy especiales que no admitan mayor síntesis, no podrán exceder las diez (10) carillas en formato A4, con ambos márgenes de veinticinco (25) milímetros y sangría de un tabulado. Los textos serán a una sola columna y los títulos y subtítulos, ubicados sobre el margen izquierdo, se escribirán con todas las letras mayúsculas. La tipografía recomendada: Helvética cuerpo 10 e interlineado 12.
- En los tratamientos analíticos se usarán sistemas de unidades de aceptación Internacional y notaciones de uso común y universal.
- Cada artículo llevará al pie de la primera página nombre y apellido del/los autor/es, afiliación o institución perteneciente, si el trabajo se llevó a cabo en ella o alguna otra parte y el/los e-mail correspondientes.
- Se encabezará con un resumen en idioma original y en inglés, de no más de ciento cincuenta (150) palabras de extensión; los textos podrán a continuación incluir palabras clave en idioma original y en inglés. A lo largo del desarrollo se indicarán llamadas numéricas correspondientes a las referencias bibliográficas que irán al final del artículo, en la debida secuencia, indicando: Autor, año, título entre comillas, editor, N° o volumen y páginas.
- Previo a las referencias bibliográficas, se cerrará el texto con las conclusiones: Espacio destinado a señalar los resultados más significativos del contenido.
- La revisión previa de los originales se ejecutará en un plazo no superior a los tres (3) meses y será realizada por al menos dos expertos competentes del Comité Editorial o referato, quienes recibirán las

copias sin identificación de autoría: Bastarán dos dictámenes positivos para su aceptación. Asimismo, para el rechazo serán necesarias dos opiniones negativas. En ambos casos, el resultado de las evaluaciones será comunicado por escrito al autor a través de la Dirección de la revista y, como es de práctica universal, sin identificación de los árbitros intervinientes.

- En caso de rechazo, los autores podrán acomodar su trabajo a los términos del dictamen o apelar, fundamentando por escrito esta decisión. En las dos situaciones se acudirá a las opiniones de un nuevo grupo revisor. De persistir la negativa, este último fallo será inapelable.
- La no aceptación de un artículo no implica necesariamente su descalificación técnica, pudiendo suceder que se falle en tal sentido por no ajustar su contenido al perfil de la revista.

## GUIA P/PREPARACION DE ARCHIVOS

- Los trabajos se recibirán preferentemente en Word formato rtf.
- Si se usan procesadores tales como Word, Word Perfect, Word Pad, Write, Work, etc. y se acompaña la redacción en esos formatos, cuidar de realizar las sangrías con tabulado y no con espacios. No cortar palabras con guión y retorno; tipear todo continuo y sólo retornar al finalizar el párrafo. No intentar pegar en el archivo alguna imagen tiff, eps, wmf, etc. Si se quiere incorporar un logotipo o un dibujo generado en un programa de manejo fotográfico o escaneado, indicar con un rectángulo agrisado dónde se lo desea ubicar, acompañándolo por separado.
- Las tablas desarrolladas en programas como Quattro Pro y Excel, pierden alineación y no trasladan las líneas de contorno de filas y columnas al exportarse al programa armador. Por tanto no se pueden usar como se presentan. Cuando se tipeen tablas en Word, Word Perfect, Word Pad, Write, Work, etc., hacerlo usando un tabulado por cada dato, no con espacios.
- Las imágenes deben prepararse en tamaño igual o mayor al de la reproducción. La resolución deberá ser de 306 dpi como mínimo cuando vayan a reproducirse en 150 líneas y de 350 dpi cuando sean para 175 líneas o se desee mejor definición.
- Si van a imprimirse en cuatricromía, trabajar los colores como CMYK.
- Si se realiza un duotono cuidar la angulatura de los colores para que no se superpongan los puntos.
- De ser posible, no grabar imágenes en JPEG. Si fuera necesario hacerlo, utilizar el modo óptimo e indicar por escrito el formato de grabación, para poder descomprimirlas.
- Si se suministran fotocromos, acompañar original para control.
- Para imágenes color se sugiere formatos EPS (Ascii para PC y Binario para MAC). Para escala de grises TIFF (PC o MAC).

# Revista de la Facultad de Ingeniería

I.S.S.N. 0326-1220

## Publicación Semestral de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo

Mendoza - República Argentina  
Año XIX - Número 42 - Noviembre 2000  
Tirada de esta edición: 1.000 ejemplares

Centro Universitario Parque Gral. San Martín  
5500 Mendoza - Argentina  
Tel. 54-261-4257083, int. 2148  
Conmutador 54-261-4494002 - Fax 54-261-4380120

### Autoridades

#### Decano

Ing. Tomás Aníbal Montes

#### Vicedecano

Ing. Eduardo Fortunato Manfredi

#### Consejo Directivo

##### Por los Profesores Titulares:

Eduardo Fortunato Manfredi, Mario Distéfano,  
Carmelo Rodríguez, Alfredo César Sarmiento.

##### Por los Profesores Adjuntos:

Raúl Horacio Giménez,  
Mario Carlos Sánchez.

##### Por los Auxiliares de Docencia

Enrique Jesús Esley.

##### Por los Egresados

Ricardo Ramírez y María Lorena Vázquez Poblet.

##### Por los Alumnos

Gustavo Draque, María de los Ángeles López Triaca,  
Osvaldo Javier Miranda.

##### Por los No Docentes

Carlos Roberto Tejada.

#### Dir. Gral. de Gestión Administrativa y Financiera

Lic. Roberto Testasecca.

#### Directora Administrativa

Srta. Hilda Inés Herrera.

#### Secretario Técnico

Ing. Samuel Raúl Riveira.

#### Dir. Carrera Ingeniería de Petróleo

Ing. Carmelo Rodríguez.

#### Dir. Carrera Ingeniería Civil

Ing. Angel C. Videla.

#### Dir. Carrera Ingeniería Industrial

Ing. Alfredo Sarmiento.

#### Dir. Ciencias Básicas

Lic. Norberto Giordano.

#### Dir. de Cuarto Nivel

Ing. Walter Brottier.

#### Dir. Doctorado en Ingeniería

Dr. Jorge Barón.

#### Dir. Ingeniero Especialista y Maestría en Ingeniería Ambiental

Ing. Luis María Magistocchi.

#### Dir. Maestría en Logística

Dr. Raymundo Quilez Forradellas.

#### Dir. Maestría en Tecnología de la Información en Fabricación

Ing. Eduardo E. Iriarte.

#### Dir. Maestría en Gestión Ambiental

Ing. Carlos G. Morgani.

#### Dir. Maestría en Calidad y Gestión de Empresas

Ing. Alfredo S. Sarmiento.

#### Secretario de Asuntos Estudiantiles

Ing. Carlos Adriano García.

#### Dir. de Estudios Tecnológicos e Investigaciones

Ing. Tomás Juan Martínez.

#### Secretario de Ciencia y Tecnología

Ing. Aldo Gaido.

#### Jefa Departamento de Extensión Universitaria

Ing. María Teresa Pizzuolo de Sarmiento.

#### Jefe Departamento de Graduados

Ing. Adolfo Bove.

#### Director de la Revista

Ing. José Ramón Mini.

#### Comité Editorial

Dr. Jorge Barón, Dr. Francisco Javier Crisafulli,  
Dr. Eduardo Carlos Ercoli, Dra. Adriana Fornes,  
Dr. Raymundo Quilez Forradellas, Dr. Hugo Héctor  
Martínez y Dr. César Alberto Savastano.

#### Referato

- **Prof. Patricio Bonelli** - Univ. Federico Santamaría - Valparaíso - Chile.
- **Dr. Roque A. Hours** - Fac. de Cs. Ex. - CINDEFI - Univ. Nal. de La Plata - Buenos Aires, R.A.
- **Dr. José Inaudi** - Univ. Nal. de Córdoba, R.A.
- **Ing. León Kotlik** - ex docente UNCuyo y UTN Reg. Mendoza, R.A.
- **Dr. Ing. Saturnino Leguizamón** - CONAE - CRICYT - Mendoza, R.A.
- **Ing. Armando A. Llop** - Inst. Nal. del Agua (INA) - Ctro. de Ec. Leg. y Adm. del Agua (CELA) - Mendoza, R.A.
- **Ing. Osvaldo Ridolfi** - Refin. Luján de Cuyo - Repsol YPF, - Mendoza, R.A.
- **Dr. Humberto Silva** - Fac. de Quím., Bioquímica y Farm. - Univ. Nal. de San Luis, R.A.

#### Asesoría de Inglés

Prof. Delta Papadacos de Valentini.

#### Producción, Publicidad, Edición, Diagramación, Corrección y Gestión Comercial

Ing. José Ramón Mini.

#### Cobranzas y Pagos

Asoc. Coop. de la F. de I. (ACOFI).

#### Distribución

Dpto. de Extensión Universitaria

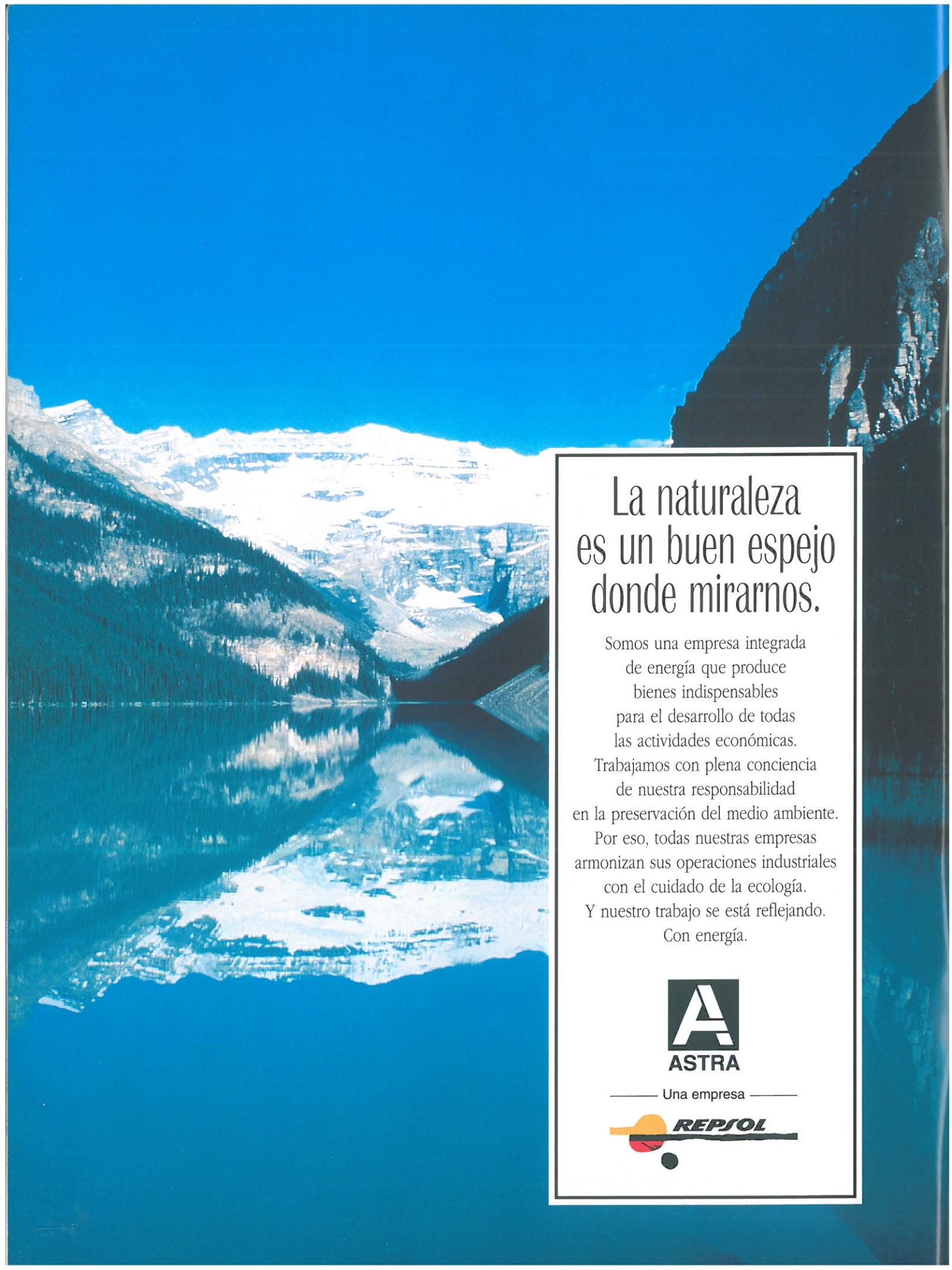
E.mail: [fing@raiz.uncu.edu.ar](mailto:fing@raiz.uncu.edu.ar)

Web: <http://fing.uncu.edu.ar>

La Dirección no se responsabiliza por las opiniones emitidas en los artículos firmados

## Sumario

Editorial, <i>J. R. Mini</i> .....	3
Análisis del comportamiento microbiano en procesos de degradación de hidrocarburos en suelo. <i>E. Ercoli et al.</i> ...	5
Diseño sismorresistente de paneles prefabricados de hormigón armado con conexiones dúctiles. <i>Francisco J. Crisafulli et al.</i> .....	13
Proyecto de automatización de planta piloto para tratamiento de minerales. <i>Ing. Alfredo Pugliesi &amp; Ing. María Susana Bernasconi</i> .....	27
Mejora de la eficiencia y aprovechamiento hidroeléctrico del río Mendoza, entre Alvarez Condarco y el dique Cipolletti de la Pcia. de Mendoza, Rep. Argentina. <i>Federico A. Di Lello &amp; Daniel Fernández</i> .....	33



## La naturaleza es un buen espejo donde mirarnos.

Somos una empresa integrada  
de energía que produce  
bienes indispensables  
para el desarrollo de todas  
las actividades económicas.

Trabajamos con plena conciencia  
de nuestra responsabilidad  
en la preservación del medio ambiente.

Por eso, todas nuestras empresas  
armonizan sus operaciones industriales  
con el cuidado de la ecología.

Y nuestro trabajo se está reflejando.

Con energía.



— Una empresa —



# Editorial

Antes de dar paso al lector para que incursione en la temática del presente ejemplar, resulta imperativo expresar algunos comentarios y consideraciones, referidos a los aspectos del pasado reciente que han condicionado nuestra trayectoria editorial y que tienen que ver también con la realidad actual y el futuro de la revista.

Como lo señalara en el número anterior, hemos sufrido como cualquiera los efectos de la crisis que azotara al país y de la cual parece ahora éste emerger no sin grandes y sacrificados esfuerzos, pues queda en el camino la lamentable secuela de un deterioro social difícil de superar a corto plazo, que ha llegado inclusive a lesionar sensibles aristas del orden institucional.

Quizás alentado por el decidido apoyo de nuestros anunciantes, y confiado en una natural vocación de trabajo, me dejé llevar por un exceso de optimismo, no acorde con el complejo marco general de los sucesos que se avecinaban. Quise retomar la secuencia en el tiempo de nuestras ediciones semestrales, respetando fechas teóricas que a la sazón parecía alcanzar, pero la cambiante situación volvió a golpear con dureza y debí postergar aquel proyecto.

Ahora que se insinúa una tendencia estable hacia la recuperación, retomamos el rumbo, aunque una actitud prudente obliga a sincerar la cronología que señalaba. Es así que para un buen ordenamiento, este N° 42 de la revista mantendrá su virtual datación al mes de noviembre de 2000, pero respetaremos de aquí en más, en las sucesivas tiradas, las fechas reales de emisión. De esta manera, quedará sólo como registro histórico este obligado paréntesis en la publicación, durante el cual y pese a todo, no cejamos en nuestro propósito de permanencia, manteniéndonos expectantes a fin de resurgir cuando las circunstancias fueran propicias.

En este ínterin tuvieron lugar imprevistos acontecimientos que conmovieron nuestra comunidad universitaria y que no puedo dejar de mencionar: El sorpresivo deceso de los ingenieros Tomás Aníbal Montes, Carmelo Rodríguez y Estela Barrera. El primero de los nombrados, tras una rica trayectoria pública y profesional, sucedió en el Decanato de la Facultad a la brillante gestión del Ing. Juan Manuel Gómez (quien luego fuera elegido vicerrector de la Universidad); a través de su desempeño y como sesgo particular de su labor, quiero destacar que logró consolidar la apertura hacia el exterior de nuestra unidad académica. Yo siempre sostuve, recordando reflexiones de un distinguido rector en la década del noventa de la Universidad de Campinas, Brasil, que gran parte del carácter distintivo de una Casa de Altos Estudios pasaba por su capacidad para establecer vínculos efectivos y estables con centros académicos externos y en especial del extranjero. Durante su administración, Tomás Aníbal supo hacer honor y con creces a esa premisa. Respecto a Carmelo deseo resaltar como homenaje, más allá de su exitoso paso por la industria, su vocacional entrega a la docencia, que materializó en nuestra casa a lo largo de muchos años como profesor, referente y conductor de la carrera de Ingeniería en Petróleo, imponiéndole una impronta que permanecerá indeleble en el futuro asociada a su nombre. Finalmente destaco como testimonio póstumo que nuestra joven graduada y ex docente Estela, acompañó su carrera profesional en la actividad petrolera a una especialización en Recursos Humanos, parte de la cual, orientada al ámbito empresarial, plasmó en un artículo específico fruto de su investigación, que terminó de dar forma para nuestras páginas en sus últimos días, desde su lecho de enferma. Ese, su postrer esfuerzo, enriquecerá los contenidos de nuestra próxima entrega.

Ing. José Ramón Mini

Director

# emepa



**Administración:** Sarmiento 123  
Luján de Cuyo - Mendoza - Argentina  
Tel. 0261-4985036/4981494  
E-mail: emepa@lanet.com.ar

**Base de Operaciones:** Yacimiento  
Barrancas - Maipú - Mendoza  
Tel. 0261- 4989800 Int. 4229

**Reparación  
y terminación  
de pozos  
(Work over)**

**Intervención  
de pozos  
(Pulling)**

**Perforación de  
pozos someros**



# Análisis del comportamiento microbiano en procesos de degradación de hidrocarburos en suelo

**Ercoli E.<sup>(1)</sup>**  
**Gálvez, J.**  
**Medaura, M.C.**  
**Di Paola, M.,**  
**Cantero, J.**  
**Videla, S.**  
**Tettamanti, G.**  
**Vardaro, S.**

## RESUMEN

En este trabajo se describe el comportamiento de los microorganismos aeróbicos degradadores de hidrocarburos en procesos degradativos llevados a cabo por dos tecnologías distintas: land-farming y acumulación aireada. Se compara el comportamiento microbiano en ambos procesos para un mismo tipo de contaminante, un mismo tipo de suelo y condiciones climáticas idénticas, para observar la respuesta ante la estimulación. Se estudiaron procesos con baja y alta concentración inicial de hidrocarburo para ver eficiencia de degradación. Se demuestra cómo la actividad microbiana produce cambios en la temperatura de las pilas en acumulación aireada y cómo la humedad influye sobre la masa microbiana. Por último, se analiza el número microbiano hacia el final de los procesos degradativos.

**PALABRAS CLAVE:** Biorremediación. Land-farming. Acumulación aireada. Comportamiento microbiano.

## SUMMARY

In this article, it is described the behavior of aerobic petroleum hydrocarbon degrader microorganisms in degradative processes performed by two different technologies: land-farming and aerated accumulation. It is compared the microbial behavior in both processes for the same kind of contaminant, same type of soil and climatic conditions to observe the response to stimulation. Processes with low and high initial concentration of petroleum hydrocarbons were studied to observe degradation efficiency. The influence of the microbial activity on the pile temperature and the influence of moisture over the microbial mass is shown. Finally, it is analyzed the microbial count at the end of the degradative processes.

## KEY WORDS:

Bioremediation. Land-farming. Aerated accumulation. Microbial behavior.

1. Dr. Eduardo C. Ercoli, Director Laboratorio de Bioprocesos, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo.  
e-mail: eercoli@raiz.uncu.edu.ar

## INTRODUCCION

El término *biodegradación* hace referencia a la transformación de contaminantes por microorganismos vivos, cualquiera sea el medio en que se encuentren. Los microorganismos del suelo, por lo tanto, tienen un importante rol en la atenuación del impacto ambiental de esos compuestos reduciendo la concentración de los mismos. La transformación de los contaminantes químicos por los microorganismos que derive en algún beneficio nutricional, utilizando al compuesto como fuente de carbono y energía o algún otro nutriente, se denomina *metabolismo*. El metabolismo, con frecuencia resulta en mineralización completa del contaminante, en otras palabras, su conversión a dióxido de carbono, agua e iones inorgánicos. Las vías metabólicas consisten en una serie de reacciones secuenciales de transformación cuyo propósito es convertir el compuesto xenobiótico en moléculas *naturales* que pueden ser procesadas por el metabolismo central y periférico y sostener el crecimiento. Las enzimas que participan en los pasos iniciales de la transformación son inducidas por el sustrato contaminante. En contraste, la transformación del contaminante sin un beneficio nutricional aparente del microorganismo, es llamada *cometabolismo*. Las reacciones cometabólicas no sostienen el crecimiento de la biomasa degradadora pero suelen ser usadas como mecanismos de detoxificación. Las enzimas que catalizan las reacciones cometabólicas con frecuencia no son inducidas por el sustrato.

Las velocidades y vías degradativas de los contaminantes en suelos están determinadas por factores que no pueden ser reproducidos en otros sistemas diferentes del mismo como aguas, lodos o aire. Estos factores son específicos de la naturaleza del contaminante, del tipo de suelo, de los microorganismos degradadores del compuesto y de la interacción entre ellos.

Ejemplos de microorganismos degradadores de hidrocarburos pueden encontrarse a lo largo del extenso mundo microbiano. Todos los tipos fisiológicos están representados en la microflora degradadora de hidrocarburos: aeróbicos, aneróbicos (fermentativos, metanogénicos y sulfatorreductores), quimiolitotróficos y fotosintéticos. Los contaminantes hidrocarbonados pueden ser mineralizados por un solo tipo de microorganismos o consorcios de ellos. La degradación completa de un compuesto puede requerir una comunidad de microorganismos que secuencialmente intercambian y luego excretan metabolitos a medida que la molécula es gradualmente desintegrada.

En este trabajo se describe el comportamiento de los microorganismos aeróbicos degradadores de hidrocarburos en procesos degradativos llevados a cabo por tecnologías distintas: land-farming y acumulación aireada.

La técnica de *landfarming* se basa en oxigenación del suelo por la remoción mecánica de capas de reducido espesor por medio de herramientas de labranza. Las condiciones del suelo son controladas para optimizar la degradación de los contaminantes. Estas condiciones normalmente incluyen contenido de humedad, aireación, pH e incorporación de nutrientes. La frecuencia de remoción es ajustada para cada situación particular de modo de obtener una adecuada aireación del terreno. Por tratarse de capas de escaso espesor, el suelo bajo tratamiento es afectado fuertemente por las condiciones ambientales externas, es decir vientos, lluvias, cambios térmicos, irradiación, etc.

La técnica de *acumulación aireada* consiste en tratar suelo excavado en pilas de altura variable, oxigenadas mecánicamente. Al igual que en las anteriores, es necesario controlar humedad, nutrientes, oxígeno y pH. También es posible controlar temperatura, lo cual aumenta fuertemente su potencialidad como tecnología. El efecto de la remoción mecánica en profundidad incrementa drásticamente los fenómenos de transferencia de materia, que en biodegradación de hidrocarburos en suelo suelen ser los principales limitantes de la cinética global del proceso.

## METODOS ANALITICOS

Recuento de microorganismos aerobios degradadores de hidrocarburos: Methods of Soil Analysis part 2 - Chemical and Microbiological Properties. 2º Edition. American Society of Agronomy, INC

1982. Modificado\*

Hidrocarburos: TPH, Norma EPA 418.1

Nitrógeno Kjeldahl: Normalized Methods for the analysis of drink and residual waters 4500 NORGB, Method Macro Kjeldahl. Modificado\*.

Fósforo Asimilable: Normalized Method for the analysis of drink and residual waters. Ascorbic acid Method. Modificado\*

Humedad de Suelo: Soil Moisture (%): ASTM 2216-71. Modificado\*

\*Las modificaciones fueron hechas de acuerdo a la naturaleza de la muestra.

## RESULTADOS

### Evolución de microorganismos en Land farming y Acumulación aireada.

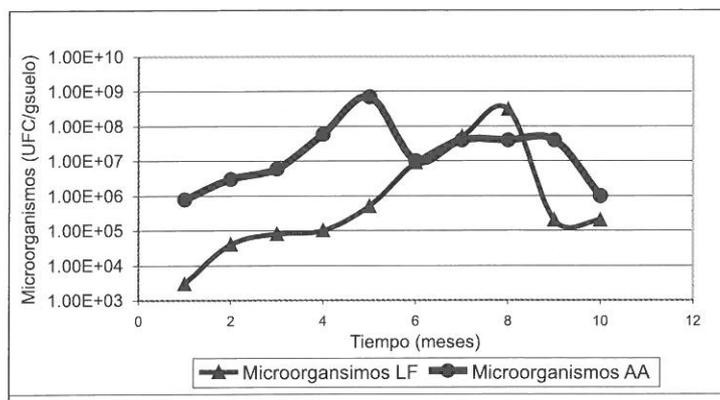


Fig.1. Evolución de microorganismos en Landfarming y Acumulación aireada (caso 1).

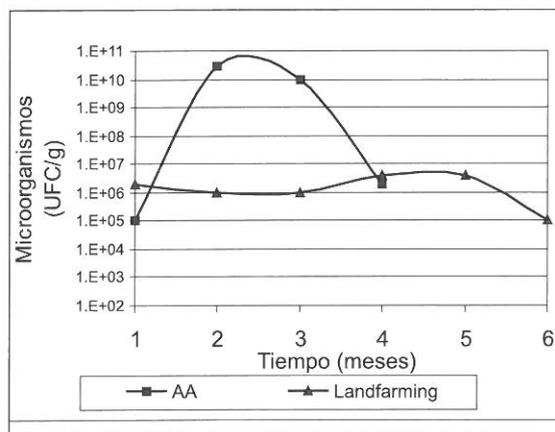


Fig.2. Evolución de microorganismos en Landfarming y Acumulación aireada (caso 2).

En la figura 1 se comparan procesos de biodegradación de hidrocarburos usando las técnicas de Landfarming y Acumulación aireada para un mismo tipo de suelo, de contaminante y condiciones climáticas. Partiendo de concentraciones iniciales de hidrocarburos similares, la población microbiana en Acumulación aireada aumenta a  $10^9$  hacia el cuarto mes de tratamiento, se mantiene en  $10^7$  y

desciende a  $10^6$  cuando la degradación alcanza el 63% al décimo mes de tratamiento. Con Landfarming, la evolución es más suave, la población microbiana alcanza el orden de  $10^7$  hacia el séptimo mes para mantenerse y descender hacia el décimo mes al orden de  $10^5$  cuando la degradación alcanza el 44%. Comparando ambas curvas puede observarse un desplazamiento temporal de una respecto de la otra, una evolución similar y máximos similares, diferenciándose en la variación en número de microorganismos a lo largo del proceso y una eficacia en el proceso degradativo diferentes, siendo mayor en Acumulación aireada.

En la figura 2 se representa en forma comparativa el uso de ambas técnicas aplicadas a otro tipo de suelo, con condiciones climáticas y tipo de contaminante diferentes del anterior. Se refleja similar comportamiento microbiano en el tiempo para ambas técnicas y se puede apreciar claramente que el incremento de la masa microbiana es más rápido y mayor en Acumulación aireada que en Landfarming. En este caso, la degradación fue del 74 % en Acumulación aireada mientras que en Landfarming fue del 25 %.

**Evolución de los microorganismos según la concentración inicial de hidrocarburos totales.**

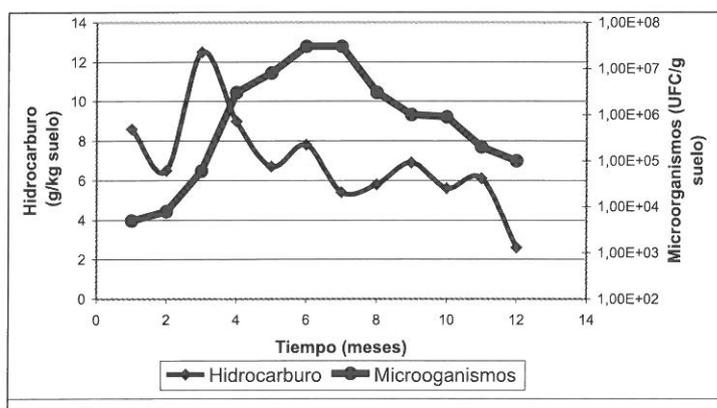


Fig.3. Evolución microbiana en Landfarming con baja concentración inicial de hidrocarburos.

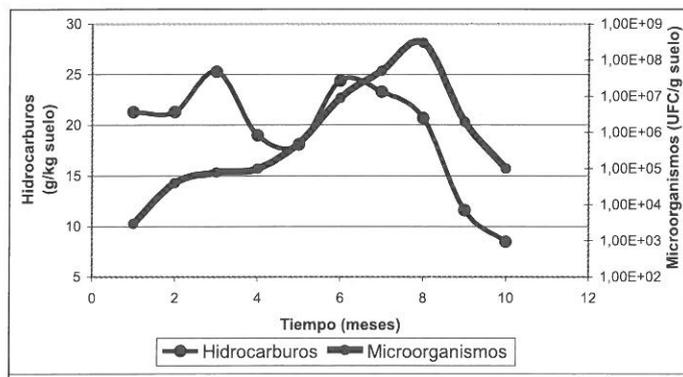


Fig.4. Evolución microbiana en Landfarming con alta concentración inicial de hidrocarburos.

En un tratamiento por Landfarming, se compararon dos parcelas con el mismo tipo de suelo, condiciones climáticas y tipo de contaminante aunque a distintas concentraciones iniciales de hidrocarburos para analizar la evolución de los microorganismos. A bajas concentraciones iniciales de hidrocarburos (8.6 g/kg de suelo), la población microbiana comienza a incrementarse suavemente desde  $10^3$  hasta  $10^7$  en el séptimo mes para luego descender hacia el décimo mes, cuando la concentración de hidrocarburo cae a 2.6 g/kg de suelo. A alta concentración inicial de hidrocarburos (21.3 g/kg de suelo), el número de microorganismos asciende más marcadamente desde  $10^3$  a  $10^8$  hacia el séptimo mes de tratamiento y comienza a descender hasta  $10^5$  cuando la concentración de

hidrocarburos cae a 8.5 g/kg a los diez meses de tratamiento.

**Evolución de los microorganismos con la Temperatura.**

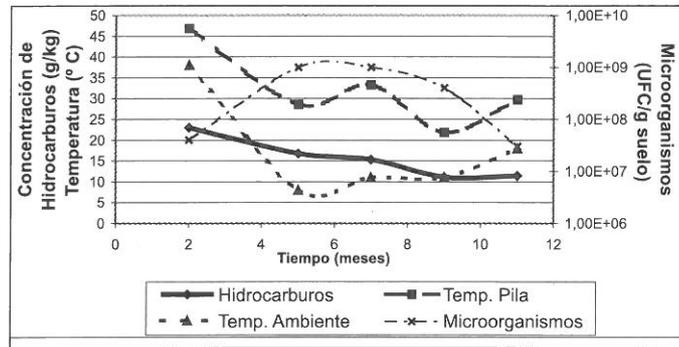


Fig.5. Efecto de la actividad microbiana sobre la temperatura de la pila en Acumulación aireada.

En Acumulación aireada se obtuvieron resultados que demuestran que al aumentar la población microbiana en el proceso degradativo, aumenta la temperatura de la pila por encima de la temperatura ambiente, como consecuencia de su actividad. Al comienzo del proceso, donde la masa microbiana se encuentra en el orden de 10<sup>7</sup>, la temperatura de la pila es semejante a la ambiente, ambas elevadas por corresponder a valores medios de verano. La mayor diferencia entre los valores de temperatura ambiente y la de la pila se registra en los meses de invierno, a la mitad del proceso y coincidente con el período de mayor actividad degradativa, máximos valores de masa microbiana y marcado descenso de la concentración de hidrocarburos. Hacia el final del proceso, cuando los valores de microorganismos descienden, también lo hace la diferencia de temperatura. Podemos concluir que las variaciones de temperatura en los procesos de Acumulación aireada se ven fuertemente afectadas por la actividad microbiana en el proceso degradativo en forma directamente proporcional, aún a baja temperatura ambiente.

**Efecto de la humedad sobre la concentración de microorganismos en suelo.**

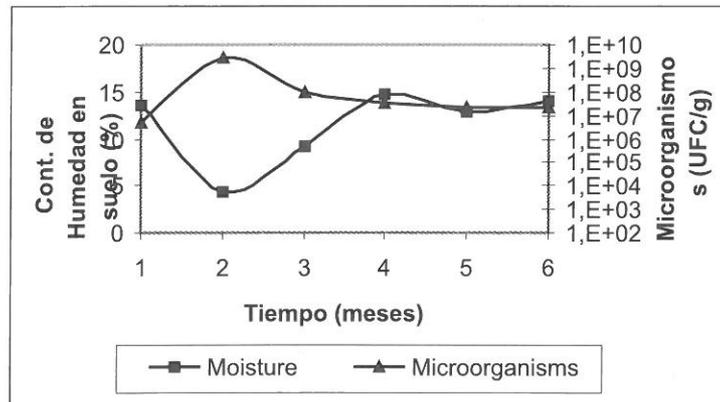


Fig.6. Efecto de la humedad sobre la concentración de microorganismos en suelo.

El contenido de humedad del suelo es otro factor importante que afecta la actividad microbiana del suelo en tratamiento. Puede observarse que a baja concentración de humedad (10%), la concentración de microorganismos alcanza el valor más alto (1E+09), mientras que cuando el

contenido de humedad aumenta hasta un 15%, la concentración de microorganismos cae a  $1E+07$ .

**Análisis comparativo de la concentración final de microorganismos hacia la finalización del proceso de biodegradación.**

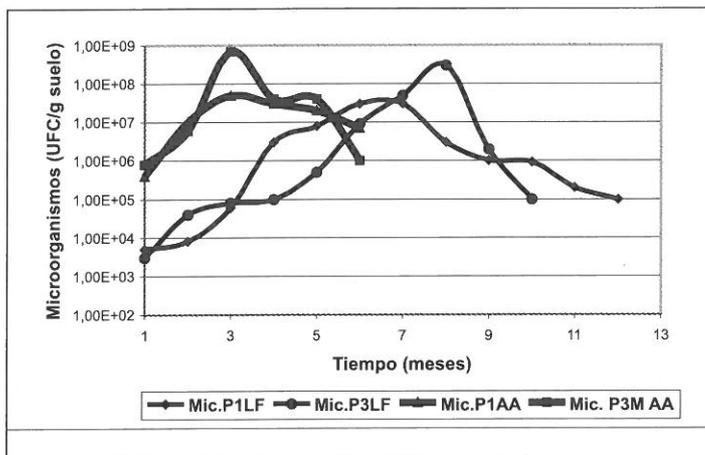


Fig.7. Análisis de la concentración de microorganismos hacia la finalización del proceso de biodegradación.

Analizando la figura 6, donde se grafica el comportamiento microbiano de distintos tratamientos hasta la liberación de esos suelos, puede observarse que la concentración final de microorganismos desciende a  $10^6$ - $10^5$  hacia el final del proceso en forma coincidente para los casos analizados. El valor alcanzado en concentración microbiana se considera normal para un suelo remediado.

**CONCLUSIONES**

Al comparar el comportamiento microbiano en ambos procesos para un mismo tipo de contaminante, un mismo tipo de suelo y condiciones climáticas idénticas, puede observarse una respuesta mayor en número, más rápida y con mayor eficiencia degradativa en Acumulación aireada. Cuando se comparan procesos con baja y alta concentración inicial de hidrocarburo, se observa que el comportamiento microbiano es similar en ambos casos aunque más reactivo y eficiente en cuanto a degradación en el tratamiento con mayor concentración inicial de hidrocarburo.

Las variaciones de temperatura en los procesos de Acumulación aireada se ven fuertemente afectadas por la actividad microbiana en el proceso degradativo en forma directamente proporcional, aún a baja temperatura ambiente.

Con baja humedad (10 %), se observan los máximos niveles de microorganismos en el suelo en tratamiento y éstos descienden cuando la humedad se incrementa (15%). Por último, se observa un descenso en el número microbiano hacia el final de los procesos degradativos, coincidente con la caída en la concentración de hidrocarburo.

**BIBLIOGRAFIA**

Balba M.T., Al-Daher R. and Al-Awadhi N. *Bioremediation of Oil- Contaminated desert Soil: the Kuwaiti Experience.* Environment International, Vol. 24, Nº 1/2, pp. 163-173. 1997.  
 Breidenbach C. and Müller R. *Which Parameters Influence the Degradative Abilities of Added Microorganisms in soil? Contaminated Soil'95,* 1163-1164.1995.

- Chaineau, C.H. , J.L. Morel, J. Oudot, *Microbial Degradation in Soil Microcosms of Fuel Oil Hydrocarbons from Drilling Cuttings*. Environmental Science & Technology : 29 (6), 1615-1621. 1995.
- Devinny, J.S.; and Chang, S-H. Bioaugmentation for Soil Biorremediation. In Wise, D.L.; Trantolo, D.J.; Cichon, E.J.; Inyang, H.I.; Stottmeister, U. *Bioremediation of Contaminated Soils*. Marcel Dekker, Inc. New York, (2000). Pages 465-485.
- Ercoli, E., y otros, *Tratamiento Biológico de Lodos de Refinería*. 2º Simposio de Producción de Hidrocarburos. IAPG. 497-506. 1995.
- Ercoli E., y otros, *Total petroleum hydrocarbon monitoring in biodegradation of weathered crude oily residues*. The fourteenth International Conference on Solid Waste technology and Management, Philadelphia, P.A. U.S.A. 1998. ✓
- Ercoli, E y otros. *Evaluación de dos años de experiencias de campo en biorremediación de suelos*. 3<sup>ras</sup> Jornadas de Preservación de Agua, Aire y Suelo en la Industria del Petróleo y del Gas, IAPG: Tomo 1, 47-60. 1998.
- Ercoli, E.; et al. *Biorremediación de suelos por técnica de acumulación aireada*. IV Jornadas de Preservación de Agua, Aire y Suelo en la Industria del Petróleo y del Gas IAPG. Salta Argentina (Oct, 2000).
- Ercoli\* E.; et al. Extensive Evaluation of Aerated Accumulation Technique for Soil Treatment. LACPEC 2001. Paper SPE 69445. SPE Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference held in Buenos Aires, Argentina, 25-28 March 2001.
- Gen-Hsung Lin, Nancy E. Sauer and Teresa J. Cutright. Environmental Regulations: *A Brief Overview of their Applications to Bioremediation*. International Biodeterioration and Biodegradation 1-8. 1996.
- Hart,S., *In Situ Bioremediation: Defining the Limits*. Environmental Science & Technology: 30 (9), 398-401. 1996.
- Hueseman, M. Guidelines for Land-Treating Petroleum Hydrocarbon- Contaminated Soils. Journal of Soil Contamination. 3 (3). 1994.
- Itävaara, M.; Piskonen, R. And Rytkönen, J. *Biodegradation of Crude Oil in Cold Climatic Conditions*. In Wise, D.L.; Trantolo, D.J.; Cichon, E.J.; Inyang, H.I.; Stottmeister, U. *Bioremediation of Contaminated Soils*. Marcel Dekker, Inc. New York, (2000). Pages 327-337.
- Salanitro J.P., Dorn P.B., Huesemann H., Moore K.O., Rhodes Y., Rice Jackson L.M., Vipond T.E. Western M.M. and Wisniewski H.L. *Crude Oil Hydrocarbon Bioremediation and Soil ecotoxicity Assesment*. Env. Sci.and Technol.31, 1769-1776. 1997.
- Venkateswaran, K. and Harayama, S., *Biodegradation potentials of Oil - Degrading Microorganisms*. Geotechnical Applications. Chapter 9, p. 309 – 334.

*Para obtener toda la información actualizada  
sobre las actividades académicas, de  
investigación y servicios que desarrolla la  
Facultad de Ingeniería de la Universidad  
Nacional de Cuyo, visite el sitio Web:*

**<http://fing.uncu.edu.ar>**

*El presente ejemplar de la  
Revista de la Facultad de  
Ingeniería, como así también  
de los números anteriores,  
está disponible en formato  
PDF en el sitio:*

**<http://fing.uncu.edu.ar/noticias/index.htm>**

# Diseño sismorresistente de paneles prefabricados de hormigón armado con conexiones dúctiles

Francisco J. Crisafulli<sup>1</sup>  
José I. Restrepo<sup>2</sup>  
Robert Park<sup>2</sup>

## RESUMEN

Los paneles prefabricados de hormigón armado se usan en diversos lugares del mundo como sistema estructural para resistir acciones sísmicas, debido a las indiscutibles ventajas que estos elementos presentan desde el punto de vista económico y de la reducción de los plazos de construcción. Sin embargo, existe en la literatura escasa información sobre criterios de diseño. Los códigos sismorresistentes, en general, no incluyen especificaciones particulares para este tipo de construcciones.

Se presentan en este trabajo recomendaciones prácticas y un procedimiento propuesto para el diseño de paneles prefabricados, los que se vinculan entre sí mediante un nuevo tipo de conexiones dúctiles de acero. Dicho procedimiento se basa en los principios de diseño por capacidad y permite asegurar una adecuada disipación de energía, mediante deformaciones plásticas que se concentran en zonas especialmente diseñadas, evitando la ocurrencia de otros modos de falla asociados con una respuesta frágil. Los paneles se conectan entre sí con platinas de acero rectangulares, las cuales presentan una perforación en el centro que asegura un comportamiento muy dúctil de la unión. Se incluyen ecuaciones simples para calcular la rigidez y resistencia de dichas conexiones, permitiendo al diseñador plantear un modelo analítico simple de la estructura.

**PALABRAS CLAVE:** hormigón premoldeado - conexiones de acero - diseño sísmico - paneles prefabricados de hormigón armado.

## SUMMARY

This paper summarizes a new procedure proposed for the seismic designing of precast reinforced concrete panels connected by ductile steel plates. This procedure is based on the principles of capacity design, which allows the designer to specify the regions where plastic deformation will occur, avoiding fragile modes of failure. The proposed connection is formed by welded steel plates with a circular hole in the centre in order to create a weak, ductile link between the panels. Experimental results indicated that very large plastic deformation can develop around the circular hole without strength or stiffness degradation. Simple equations are included here to evaluate the stiffness and strength of the steel connections, which can be used by designers in order to formulate a rational analytical model of the structure.

**KEY WORDS:** Precast concrete - steel connections - seismic design - precast reinforced concrete panels.

1 Ph. D. Univ. Canterbury - Miembro Com. 7, Gr. de Trab. 3, Fed. Intern. de Horm. Estruct. (F1B) - Premio Ing. Butty Ac. Nal. de Ingeniería - Outstanding the Ph. D. award, The Masory Society, USA. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina. jcrisa@raiz.uncu.edu.ar

2 Department of Civil Engineering, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand.

## **DISEÑO SISMORRESISTENTE DE PANELES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN ARMADO CON CONEXIONES DUCTILES**

### **INTRODUCCION**

El uso de paneles prefabricados de hormigón armado presenta significativas ventajas desde el punto de vista económico y de la reducción de los plazos de ejecución de obra. Es por ello que este tipo de estructuras se utiliza en todo el mundo para la construcción de edificios de baja y mediana altura. Cuando estos edificios se emplazan en zonas sísmicas, tales como las zonas centro y oeste de la Argentina, se debe dar especial atención al diseño de las uniones entre los distintos elementos que componen la estructura (fundación, paneles, losas de piso y techo) con el objeto de evitar fallas de tipo frágil. La experiencia recogida en terremotos pasados demuestra claramente que cuando este aspecto no es tenido en cuenta en forma adecuada, las consecuencias pueden ser muy graves, ocasionando daño severo, o aún colapso, en las estructuras con elementos prefabricados. Por ejemplo durante el terremoto de Northridge, California, 17/1/1994 [1] se observaron numerosos edificios construidos con paneles prefabricados con colapso parcial de la cubierta y colapso de los muros exteriores, daño que en la mayoría de los casos se debió a problemas en las conexiones.

Se presentan en este trabajo resultados experimentales y recomendaciones para el diseño sismorresistente de conexiones soldadas entre paneles adyacentes a lo largo de las juntas verticales. Este estudio forma parte de un programa de investigación general [2, 3] destinado a analizar el comportamiento sísmico de edificios construidos con paneles prefabricados de hormigón armado.

### **UNIONES ENTRE PANELES PREFABRICADOS EN LAS JUNTAS VERTICALES**

#### **Generalidades**

Se emplean en la actualidad numerosos detalles diferentes para materializar las uniones entre paneles prefabricados a lo largo de las juntas verticales. Desde el punto de vista constructivo, estas uniones pueden clasificarse en tres grupos: uniones atornilladas, uniones monolíticas con columnas adyacentes y uniones soldadas.

Desde el punto de vista estructural, las uniones pueden dividirse en dos grupos. El primer grupo incluye aquellas conexiones que son capaces de transmitir las fuerzas resultantes de la interacción entre los paneles adyacentes, como es usual en uniones monolíticas o soldadas. Por el contrario, el segundo grupo incluye las conexiones diseñadas de modo que no se transmitan fuerzas entre los paneles adyacentes, siendo su objetivo fundamental asegurar la estabilidad de los paneles prefabricados bajo acciones perpendiculares a su plano. Como ejemplo puede mencionarse el caso de uniones atornilladas en las cuales las platinas presentan agujeros sobredimensionados de forma tal que permiten el movimiento relativo de los paneles.

La selección de la unión más adecuada para cada caso en particular depende no sólo de consideraciones estructurales, sino también de las técnicas constructivas empleadas y de las tolerancias admisibles en obra.

Desde el punto de vista constructivo, debe mencionarse que la práctica usual es dejar un separación de aproximadamente 10 a 15 mm entre los paneles adyacentes. Luego que los paneles han sido montados y conectados entre sí, dicha junta debe sellarse a los efectos de asegurar la estanqueidad de la junta. Para lograr este objetivo se emplean normalmente distintos materiales disponibles comercialmente, los cuales deben reunir las características de ser elásticos (para absorber las deformaciones relativas) e incombustibles.

#### **Conexiones soldadas**

Las conexiones soldadas usuales están formadas por platinas o perfiles de acero convenientemente anclados en los paneles de hormigón, dispuestos de forma tal que puede soldarse a ellos una platina

que actúa de elemento de unión entre ambos paneles. Los elementos críticos a considerar en una conexión de este tipo son: (i) la platina de conexión, (ii) las platinas o perfiles embebidos en el hormigón y sus anclajes, y (iii) los cordones de soldadura.

En construcciones sismorresistentes, las uniones soldadas deben diseñarse de modo que exhiban una respuesta dúctil, evitando los mecanismos de rotura frágil tales como los resultantes del inadecuado anclaje de las platinas de acero embebidas en el hormigón o de la fractura de los cordones de soldadura. Es conveniente que la fluencia (deformaciones plásticas) se concentre en una zona predeterminada de la conexión, la cual es especialmente diseñada para tal fin. En la Fig. 1 se representan dos tipos de platinas de acero propuestas para lograr este objetivo en los cuales se debilita una zona de la platina para crear un "fusible estructural". La Fig. 1 (a) muestra el detalle propuesto en el programa de investigación desarrollado por Restrepo et al. [2, 3], mientras que la Fig. 1 (b) describe el tipo de platina ensayado por Schultz et al. [4]. Ambos detalles son similares conceptualmente, sin embargo la primera platina descrita, Fig. 1 (a), presenta ventajas desde el punto de vista constructivo dado que es más fácil y económica de fabricar.

Es importante destacar que en caso de que estas platinas fueran severamente dañadas por la ocurrencia de un terremoto pueden reemplazarse fácilmente, disminuyendo los costos de la reparación y reduciendo el tiempo durante el cual la construcción no puede ocuparse.

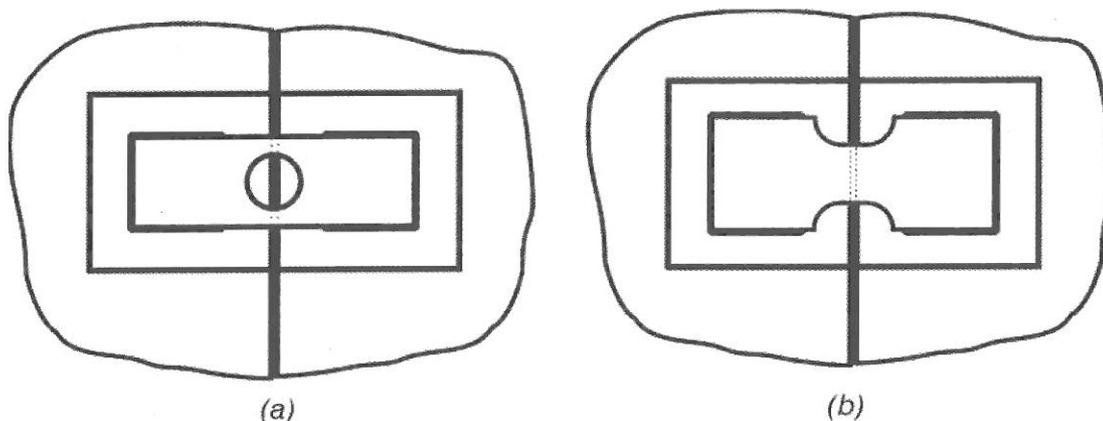


Figura 1. Platinas de acero usadas para conexiones soldadas dúctiles.

De acuerdo con los principios del diseño por capacidad [5], los elementos que pueden exhibir modos de falla frágil deben diseñarse en función de la resistencia de fluencia de los elementos dúctiles, considerando un factor de sobrerresistencia que tiene en cuenta un probable aumento de la resistencia real con respecto al valor nominal. En el caso particular de conexiones soldadas, la aplicación de estos principios implica que los anclajes de las platinas o perfiles y los cordones de soldadura (elementos que pueden ocasionar una falla frágil) deben diseñarse para resistir las acciones resultantes de la fluencia de la platina de conexión (elemento dúctil). El factor de sobrerresistencia,  $\lambda$ , depende fundamentalmente de las características del acero empleado para las platinas. A menos que se disponga de información más precisa se recomienda adoptar un valor de  $\lambda=1.25$  para considerar un posible aumento de la tensión de fluencia real en relación al valor nominal considerado en el diseño, o bien determinar la resistencia última de la platina por métodos más precisos.

El anclaje de las platinas o perfiles de acero en el hormigón puede diseñarse de modo que la fuerza de corte vertical,  $V_s$ , resultante de la interacción de los paneles sea resistida por dos barras de refuerzo colocadas en forma diagonal y soldadas a la platina o perfil, como se indica en la Fig. 2. Es conveniente, además, disponer de dos barras horizontales para resistir cualquier momento adicional resultante de una posible excentricidad accidental. En base a estas hipótesis, el área  $A_b$  de las barras diagonales debe ser como mínimo:

$$A_b = \lambda \frac{V_s}{2f_y \sin \alpha} \quad (1)$$

donde  $f_y$  es la tensión de fluencia del acero de refuerzo y  $\alpha$  es el ángulo de inclinación de las barras diagonales. Además debe verificarse que los cordones de soldadura de cada barra sean capaces de resistir la fuerza  $\lambda A_b f_y$ , y que la longitud de las barras sea la necesaria para que se no produzca el deslizamiento por anclaje insuficiente.

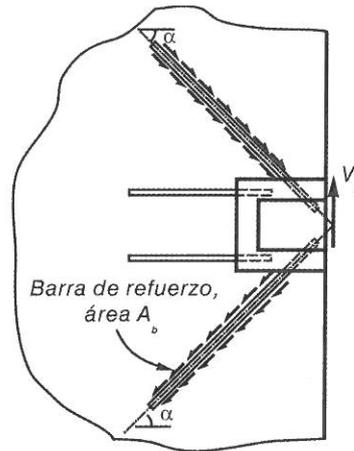


Figura 2. Detalle del anclaje de las platinas de acero embebidas en los paneles.

Los cordones de soldadura deben diseñarse adecuadamente a los efectos de que tengan una longitud y espesor tal que aseguren que las platinas de conexión fluyan antes de que se produzca una fractura de los cordones, considerando los efectos de sobrerresistencia.

## RESPUESTA EXPERIMENTAL CICLICA DE PLATINAS DE ACERO PERFORADAS

### Introducción

El objetivo principal de este ensayo fue obtener información experimental sobre el comportamiento de platinas de acero con una perforación circular en la parte central sometidas a esfuerzos de corte con variación cíclica. Dicha información es de gran utilidad para verificar la respuesta del tipo de conexión propuesto (ver Fig. 1 (a)) y para evaluar la rigidez y resistencia de la platina, dado que estos parámetros son requeridos en el diseño de la unión.

Se presenta a continuación una breve descripción del ensayo realizado y de los resultados obtenidos. Información más detallada puede obtenerse del reporte final preparado al completar el programa de investigación [2].

### Descripción del ensayo

Las características geométricas de las platinas perforadas de acero (ver Fig. 3) fueron adoptadas en base a un estudio analítico preliminar. Diferentes configuraciones fueron analizadas con un programa de elementos finitos en los que se aplicaron fuerzas de corte monótonicamente crecientes hasta producir la fluencia generalizada del acero. Los resultados del modelo numérico mostraron que se puede obtener una adecuada distribución de deformaciones plásticas alrededor de la perforación circular si se adopta una relación entre el ancho de la platina de acero y el diámetro del agujero de 1.6.

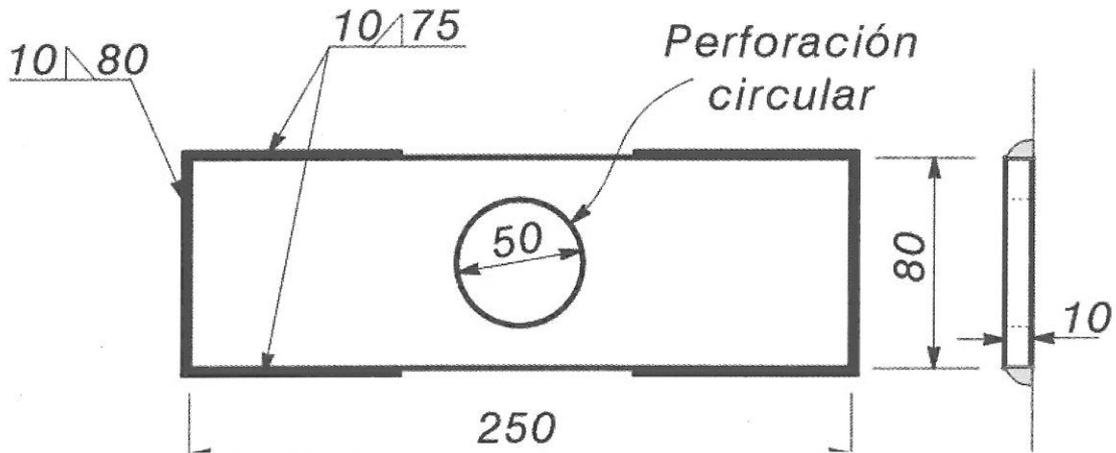


Figura 3. Características geométricas de las platinas de acero perforadas.

La unidad de ensayo se construyó usando dos placas de acero con rigidizadores las cuales podían conectarse por medio de articulaciones a una máquina universal de ensayo con control de deformaciones. Las platinas de acero a ensayar, dos en este caso, se soldaron sobre cada una de las caras de las placas de acero con rigidizadores. Esta disposición se adoptó para lograr una configuración simétrica y evitar movimientos fuera del plano. Las cargas axiales aplicadas en los extremos de la unidad de ensayo se transferían a través de las platinas perforadas induciendo esfuerzos de corte en las misma. De esta forma se emuló el mecanismo de transferencia de corte entre paneles prefabricados sometidos a acciones sísmicas. Una vista general de la unidad lista para ser ensayada se muestra en la Fig. 4.

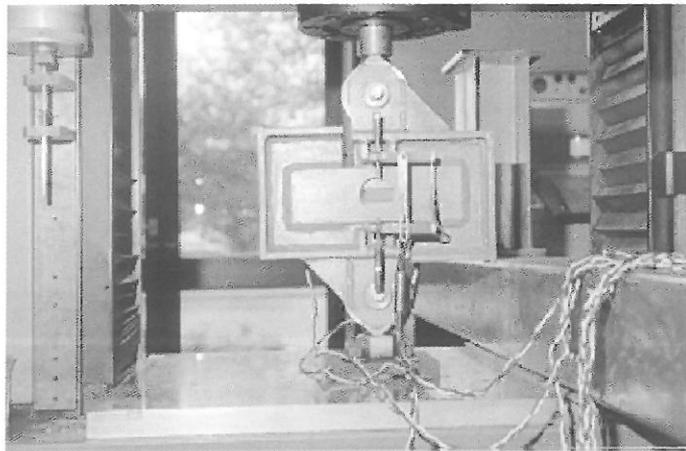


Figura 4. Vista general de la unidad lista para ser ensayada.

El acero de las platinas perforadas se ensayó a tracción para determinar sus propiedades mecánicas. La tensión de fluencia medida fue de 290 MPa y la tensión última fue de 460 MPa, la cual se produjo con un deformación de 23%.

El ensayo se realizó aplicando las fuerzas en forma cuasi-estática siguiendo una historia de desplazamientos cíclicos con amplitud creciente. Cada ciclo de desplazamiento se repitió dos veces hasta alcanzar una ductilidad de desplazamiento  $\mu=12$ . A partir de este estado se aplicó un desplazamiento creciente hasta  $\mu=39$  y se detuvo el ensayo, a pesar de que las platinas no mostraban degradación de resistencia, dado que se excedió la capacidad de aplicar desplazamientos.

Debe mencionarse que las condiciones del ensayo no son totalmente iguales a las que experimentan las platinas de conexión en uniones reales. En primer lugar, las fuerzas fueron aplicadas en forma centrada, dado que se usó una configuración simétrica con dos platinas perforadas, mientras que en construcciones con paneles prefabricados las platinas se colocan usualmente en un solo lado de los paneles. En segundo término, las placas de acero sobre las que se soldaron las platinas a ensayar podían girar libremente alrededor de dos articulaciones, a diferencia de lo que ocurre en conexiones reales donde las platinas de acero embebidas en los paneles prefabricados sufren rotaciones que dependen del momento flector actuante en los paneles y de sus características.

### Resultados experimentales

El comportamiento experimental de las platinas perforadas sometidas a corte demostró, sin lugar a dudas, que pueden proporcionar una respuesta altamente dúctil cuando se las usa como elemento de conexión en uniones soldadas. La respuesta medida durante el ensayo, en términos de fuerza de corte vs. desplazamiento vertical relativo, se presenta en la Fig. 5. Puede observarse que los ciclos de histéresis son estables y presentan un área considerable, lo cual indica una buena capacidad para disipar energía. Además, las platinas fueron capaces de soportar desplazamientos relativos considerables (ductilidad de desplazamiento máxima  $\mu=39$ ) sin mostrar degradación de rigidez o resistencia.

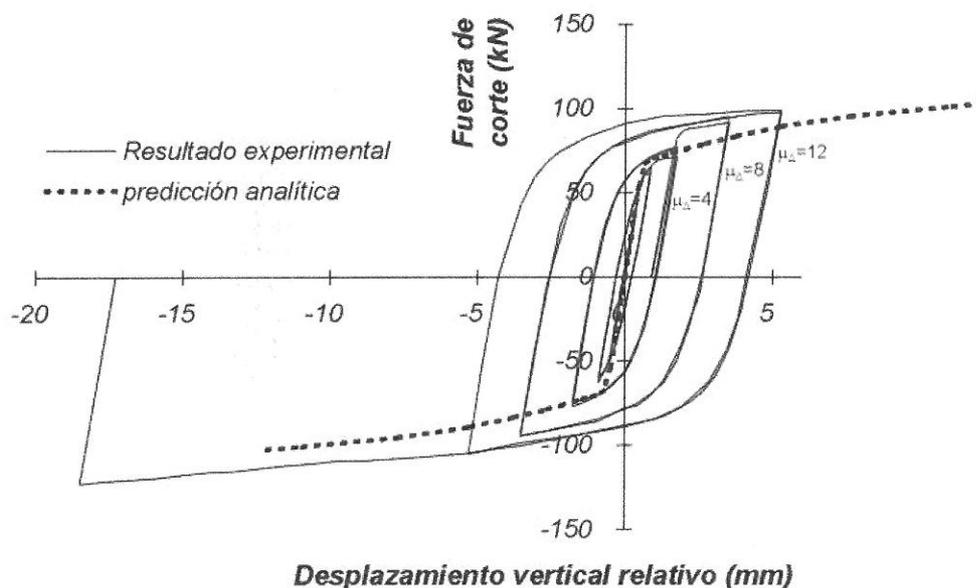


Figura 5. Respuesta experimental medida en el ensayo de carga cíclica.

La fluencia del acero de las platinas pudo observarse a simple vista durante el ensayo. Las deformaciones plásticas se concentraron en la zona circundante al agujero central y se manifestaron en forma visible como líneas de Lüders. La fluencia del acero comenzó en las zonas más estrechas de las platinas debido a las deformaciones de flexión. A medida que se aumentaron los desplazamientos aplicados, la fluencia se propagó hacia la zona central. En la Fig. 6 se presenta una fotografía de la unidad de ensayo al finalizar el mismo, pudiendo observarse que el orificio inicialmente circular se deformó significativamente, formando aproximadamente una elipse. En el estado final, la relación entre el eje mayor y menor de dicha elipse fue de 1.8, lo cual indica la magnitud de las deformaciones plásticas en esa zona.

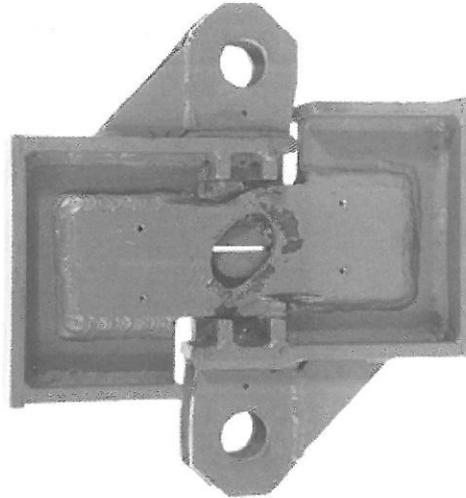


Figura 6. Vista de las platinas de acero perforadas al finalizar el ensayo.

El análisis de los cordones de soldadura realizado luego de la finalización del ensayo mostró que los mismos no presentaban daño aparente.

Recomendaciones para el diseño de platinas de conexión dúctiles.

Los resultados experimentales indican que las platinas con perforaciones ensayadas en este programa de investigación exhiben una respuesta dúctil. La Fig. 7 presenta las dimensiones geométricas de la platina, longitud  $L$ , y ancho  $B$ , y de los cordones de soldadura en función del diámetro de la perforación. Se requiere realizar ensayos adicionales para verificar el comportamiento de platinas con diferentes dimensiones relativas, pero hasta que esa información esté disponible se recomienda utilizar el diseño propuesto en la Fig. 7, cuyo comportamiento ya ha sido verificado experimentalmente.

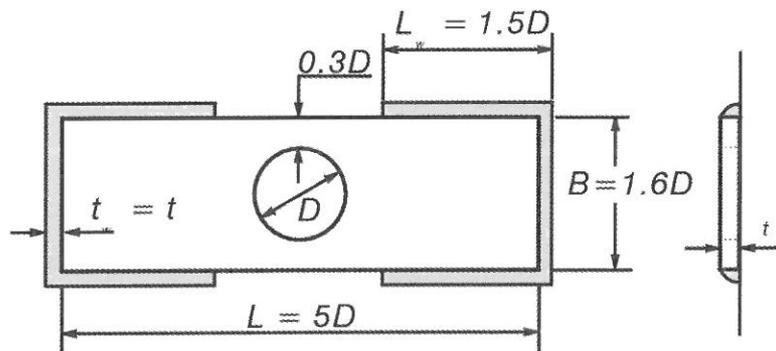


Figura 7. Dimensiones relativas de la platina perforada de acero propuesta para las conexiones soldadas.

Consideraciones analíticas indican que el espesor de la platina,  $t$ , no afecta la distribución de tensiones en la platina, en aquellos casos en los que la hipótesis de tensión plana es válida. Por esta razón, y también para limitar el espesor de los cordones de soldadura, se recomienda que la relación ancho-espesor,  $B/t$ , se mantenga mayor que 5.

El diseño de conexiones entre paneles de hormigón prefabricado requiere la evaluación de la rigidez y resistencia de la unión. Por ello se proponen ecuaciones desarrolladas en base a consideraciones analíticas y calibradas con los resultados experimentales, las cuales son de sencilla aplicación y dependen de las características mecánicas del acero y de la geometría de la platina (los detalles de la deducción de dichas ecuaciones pueden encontrarse en la referencia [2]).

La rigidez a corte de la platina perforada,  $K_s$ , puede estimarse en base a un modelo simplificado que considera el efecto del agujero circular como una perforación rectangular, mientras que la disminución de rigidez debido a la flexibilidad de los cordones de soldadura se representa con una longitud equivalente de la platina mayor que la real. De esta forma puede demostrarse que:

$$K_s = 0.035 E t \quad (2)$$

donde E es el módulo de elasticidad del acero.

Para la evaluación de la fuerza de corte,  $V_{sy}$ , que produce la fluencia de la platina se considera que la fluencia se inicia en las zonas cercanas a la perforación debido a las deformaciones de flexión, de modo que dichas zonas pueden considerarse como vigas en voladizo con sección variable. En base a esta hipótesis se demuestra que:

$$V_{sy} = 0.22 t D f_y \quad (3)$$

La resistencia a corte última depende del aumento de tensiones en el material debido a los efectos de endurecimiento de post-fluencia y a la propagación de las deformaciones plástica hacia la zona central de la platina. Asumiendo una distribución simplificada de las tensiones de corte en la sección central de la platina, se encuentra que:

$$V_{su} = 0.28 t D f_u \quad (4)$$

donde  $f_u$  es la tensión última o de rotura del acero.

Es muy importante aclarar que si se emplea la Ec. 4 para calcular la resistencia de la platina, el factor de sobrerresistencia I debe tomarse como 1.0., dado que dicha ecuación representa la resistencia última de la platina.

## RESPUESTA EXPERIMENTAL DE DOS PANELES PREFABRICADOS CONECTADOS CON PLATINAS PERFORADAS

### Introducción

Actualmente se utilizan una gran variedad de uniones diferentes para conectar paneles de hormigón armado en construcciones prefabricadas. Sin embargo existe escasa información experimental sobre el comportamiento de esas uniones bajo la acción de cargas sísmicas. Debido al uso extendido de conexiones soldadas, se realizó un ensayo de una estructura completa formada por dos paneles prefabricados, los cuales se vincularon entre sí con las platinas perforadas descritas en la sección previa. Además debe destacarse que este tipo de conexión exhibe un comportamiento relativamente complejo (comparado, por ejemplo con uniones atornilladas), dado que deben transmitir la fuerza de corte resultante de la interacción de los paneles.

### Descripción del ensayo

La unidad de ensayo se diseñó para representar parte de la estructura típica de un edificio de dos pisos, con una altura total de 7.0 m, con una losa prefabricada en el primer nivel y una cubierta metálica liviana. Para facilitar la construcción de la estructura y la aplicación de cargas, la unidad de ensayo se realizó a escala reducida 1-:2. La Fig. 8 ilustra las características principales de la unidad de ensayo y sus dimensiones. Como puede observarse en dicha figura, la estructura está formada por dos paneles prefabricados montados sobre un base, la cual se fijó a la losa del laboratorio mediante pernos de acero de alta resistencia para simular la condición de empotramiento. La losa del primer nivel y la cubierta metálica no fueron modeladas en el ensayo. Los paneles, de 75 mm de

espesor, 2.0 m de longitud y 3.5 m de altura, se construyeron con hormigón, cuya resistencia a compresión al momento del ensayo fue de 28.8 MPa. En el centro de los paneles se colocó una malla de acero electrosoldada, formada por barras de 4 mm de diámetro con una separación de 75 mm. El acero de dichas barras fue ensayado a tracción arrojando una resistencia de fluencia de 415 MPa. Además se dispusieron armaduras especiales de refuerzo en las esquinas inferiores de los paneles, donde se materializa la conexión con la base.

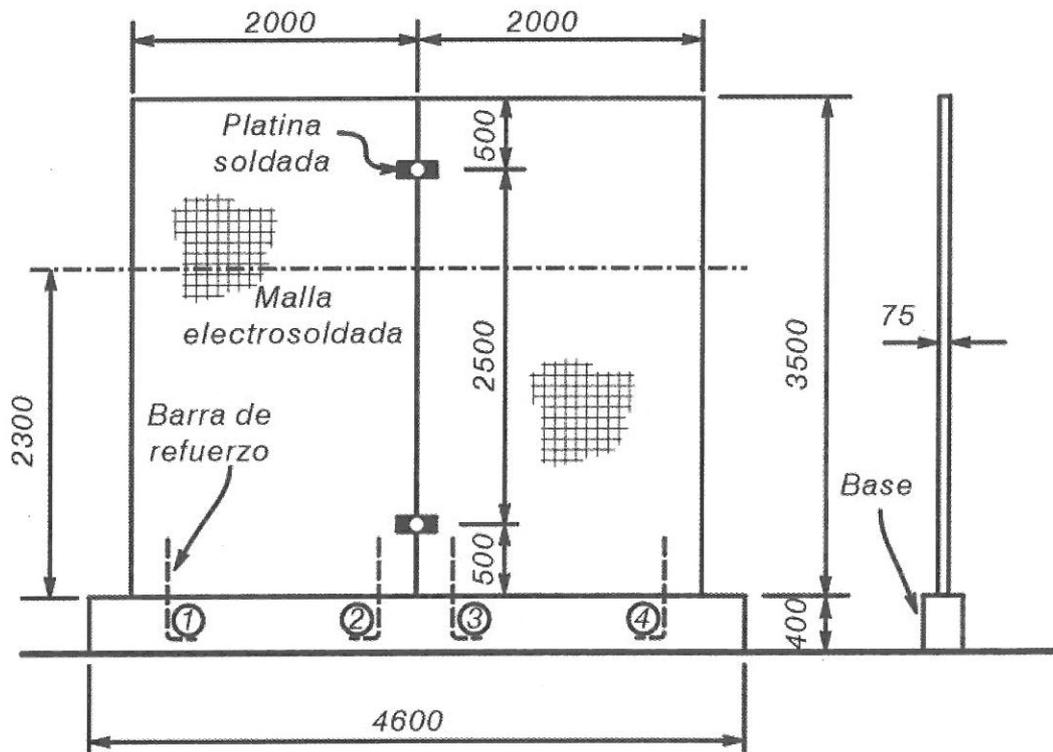


Figura 8. Características principales y dimensiones de la unidad de ensayo.

Los paneles se conectaron entre sí con dos uniones soldadas con platinas perforadas (125 x 40 x 5 mm), cuyas dimensiones relativas se adoptaron según el criterio indicado en la Fig. 7. Las platinas de acero embebidas en el hormigón durante la construcción de los paneles se construyeron siguiendo el criterio ilustrado en la Fig. 2. Las uniones se dispusieron en una cara de los paneles.

La conexión entre los paneles y la base se realizó por medio de barras de refuerzo de 8 mm de diámetro, convenientemente ancladas en la base y que sobresalen en forma vertical, las cuales se insertan en ductos metálicos dispuestos en los paneles de hormigón armado. Una vez que los paneles son montados sobre la base, los ductos se rellenan con "grout". Este tipo de unión también fue estudiada experimentalmente en un ensayo preliminar (los resultados, criterios de diseño y conclusiones de dicho ensayo pueden encontrarse en las referencias [2, 3]).

La Fig. 9 ilustra el pórtico de carga utilizado para aplicar las acciones laterales que simularon la acción sísmica. Puede observarse, además, que se emplearon dos vigas de acero, ubicadas a los costados de los paneles, para evitar movimientos fuera del plano de los mismos. Desplazamientos y deformaciones en puntos característicos de la estructura fueron medidos con potenciómetros lineales y bandas extensométricas, mientras que las acciones aplicadas por los actuadores hidráulicos fueron registradas con celdas de carga. Todos los instrumentos de medición se conectaron a un sistema de adquisición de datos que permitió almacenar y analizar la información en forma digital en una computadora personal.

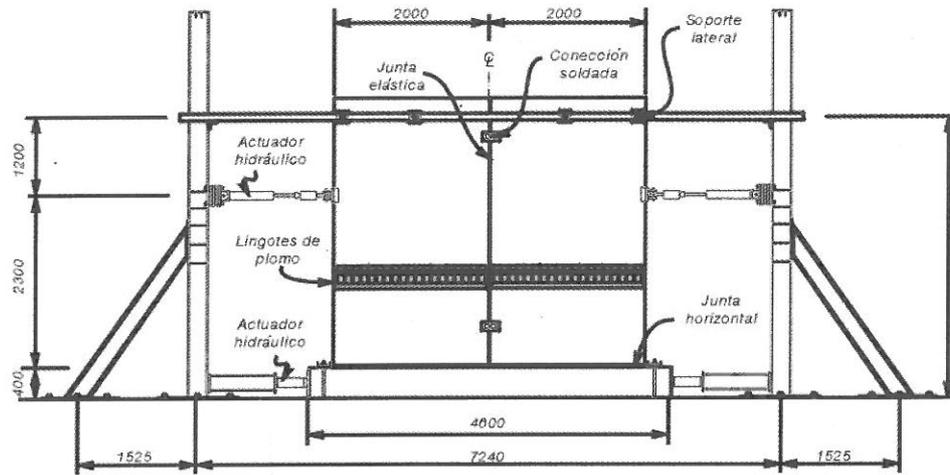


Figura 9. Pórtico de carga usado para el ensayo de los paneles acoplados.

Las fuerzas laterales se aplicaron en forma cuasi-estática siguiendo una historia cíclica de desplazamientos. Cada ciclo, con amplitud creciente, se repitió tres veces para imponer condiciones de carga severa que mostraran claramente la presencia de efectos tales como degradación de rigidez y resistencia. El nivel de aplicación de las fuerzas laterales se determinó considerando la resultante de las fuerzas inerciales originadas sobre los paneles, losa del primer nivel y cubierta.

Para compensar los efectos de la reducción de escala en la construcción del modelo (que altera la relación entre área transversal y volumen del panel) se agregaron 92 lingotes de plomo, los cuales se montaron sobre perfiles ángulo colocados sobre cada cara de los paneles.

### Evaluación de la respuesta

Resulta de gran interés determinar la respuesta esperada de la estructura a ensayar, para lo cual se desarrolló un modelo analítico basado en consideraciones simple de diseño (ver Fig. 10). Al aplicar una fuerza lateral  $V$ , a una altura  $h$ , cada panel prefabricado queda sometido a un momento flector en la base igual a:

$$M = Vh - V_s L \tag{5}$$

donde  $V_s$  es la fuerza resistida por cada una de las platinas de conexión y  $L$  es la longitud de cada panel.

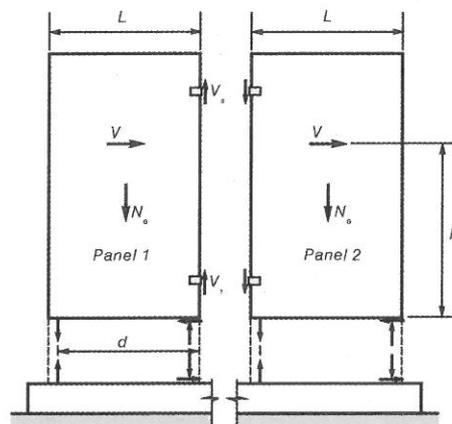


Figura 10. Acciones sobre los paneles prefabricados.

La carga axial actuante en cada tabique se ve afectada por la interacción de los paneles entre sí, la cual origina que las platinas transfieran la fuerza de corte  $V_s$  (desde el punto de vista conceptual, la

estructura es similar a dos tabiques de hormigón armado acoplados por vigas). Por lo tanto la fuerza axial  $N$  en los paneles 1 y 2 es:

$$N_1 = N_g - 2V_s$$

$$N_2 = N_g - 2V_s \quad (6)$$

siendo  $N_g$  la carga axial originada por las acciones gravitatorias en cada panel.

La resistencia a flexión de las conexiones panel-fundación puede determinarse mediante análisis seccional, teniendo en cuenta las características de los materiales, las posición y tipo de barras de refuerzo y el esfuerzo axial en cada panel. En el caso considerado, cada panel tiene una resistencia diferente,  $M'_1$  y  $M'_2$ , debido a que las cargas axiales netas son diferentes (ver Ecuación 6). Una vez que se han determinado los momentos resistentes se puede evaluar la resistencia lateral de la estructura,  $V$ , asumiendo que es igual a la suma de las resistencias individuales de cada panel, de modo que:

$$V = \frac{M'_1 + M'_2 + 2V_s L}{h} \quad (7)$$

Para el caso de la estructura ensayada,  $V=71.1\text{kN}$ .

El procedimiento descrito previamente representa un solución simple para evaluar la resistencia de la estructura basado en consideraciones de equilibrio. El desplazamiento de fluencia y último, también puede evaluarse mediante un procedimiento simplificado, considerando los desplazamientos originados por la deformación elástica de los paneles más los efectos de la rotación resultante de la deformación en las barras de refuerzo que atraviesan la conexión entre el panel y su base de fundación [2].

Además, se realizó un estudio más detallado de la respuesta de los paneles utilizando un modelo de elementos finitos. Cada panel se representó con elementos de cuatro nodos, en tensión plana, asumiendo comportamiento lineal y elástico del material. La junta vertical entre los paneles y las juntas horizontales entre cada panel y la base de fundación se modeló con elementos tipo interfaces de cuatro nodos. Para representar el comportamiento axial y de corte (acción de dovola) de las armaduras de acero que cruzan la conexión panel-fundación se emplearon resortes no lineales. Este mismo tipo de elementos se usaron para modelar las platinas de conexión entre paneles.

## Resultados

En el ciclo de carga inicial, los paneles conectados con platinas dúctiles se comportaron en rango lineal, sin mostrar fisuras o daño alguno. En el segundo ciclo, con una fuerza lateral máxima de 60 kN, se desarrollaron fisuras a lo largo de la junta horizontal entre los paneles y la base. Mediciones realizadas durante el ensayo muestran que las barras de acero en la conexión panel-fundación fluyeron en el segundo ciclo de carga, al igual que las platinas perforadas de acero que conectaban los dos paneles. A medida que se continuó el ensayo aumentando los desplazamientos laterales se observó que los paneles sufrían deslizamiento por corte en la junta horizontal, sin embargo dicho deslizamiento fue controlado por las barras de refuerzo que cruzaban la conexión panel-fundación. El ensayo se finalizó por la fractura de una de las barras de acero que conectaban uno de los paneles a la base de fundación. La inspección visual realizada demostró que no había fisuras en el panel prefabricado ni daño alguno en la zona de las uniones entre paneles a lo largo de la junta vertical.

Los resultados del ensayo indican que la estructura exhibió un respuesta estable bajo la acción de cargas laterales con variación cíclica. En el rango inelástico, los ciclos de histéresis mostraron un estrechamiento significativo ("pinching") como resultado del deslizamiento por corte de los paneles prefabricados. A pesar de este comportamiento, la estructura fue capaz de soportar las acciones laterales sin degradación de resistencia, aún cuando se aplicaron desplazamientos laterales de importancia (la ductilidad máxima impuesta fue  $\mu=22.7$ ). La Fig. 11 presenta la curva fuerza lateral-desplazamiento medida durante el ensayo.

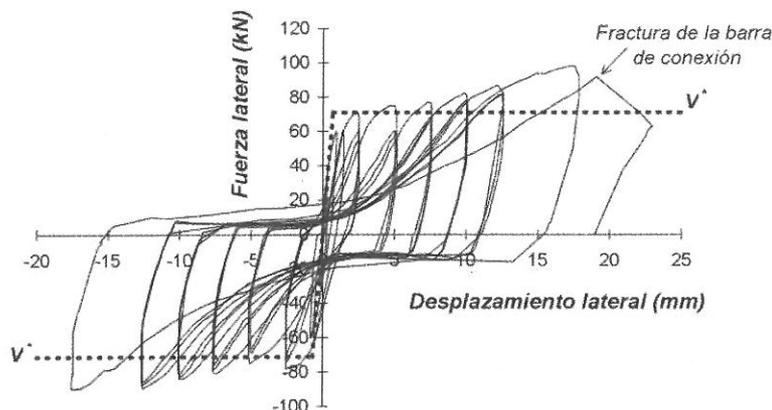


Figura 11. Respuesta fuerza lateral-desplazamiento medida durante el ensayo de dos paneles con uniones soldadas dúctiles.

En la Fig. 11 se presenta una comparación entre los resultados experimentales con la predicción simplificada pudiéndose observar, en general, una buena concordancia. La curva de resultados numéricos calculada con el modelo refinado (la cual no se incluye en la Fig, 11) fue capaz de representar en forma mucho más precisa la respuesta experimental. Sin embargo, debe aclararse que una modelación analítica con elementos finitos en campo no lineal no se utiliza usualmente en diseño debido a su complejidad.

El desplazamiento lateral que experimentaron los paneles prefabricados puede desglosarse en tres componentes: (i) desplazamiento debido a deformaciones de flexión y corte, (ii) desplazamiento debido a deslizamiento por corte en la junta horizontal, y (iii) desplazamiento resultante de la rotación rígida del panel originada por la elongación de las armaduras de refuerzo vertical en la conexión panel-fundación. El análisis de la información recogida durante el ensayo permitió estimar las distintas componentes, llegándose a la conclusión de que en los ciclos iniciales la mayor parte del desplazamiento lateral fue resultado de la rotación del panel, mientras que en los ciclos finales el deslizamiento por corte fue el mecanismo más importante.

Los instrumentos de medición que registraron el desplazamiento relativo entre los dos paneles permitió evaluar la curva fuerza-desplazamiento para cada platina perforada de acero. Estos resultados fueron totalmente similares a los obtenidos en el ensayo de las platinas aisladas (ver Fig. 5), lo cual confirma la gran capacidad de este tipo de conexiones para deformarse en forma dúctil y estable.

## DISEÑO DE MUROS PREFABRICADOS CON CONEXIONES DUCTILES

Los paneles de hormigón prefabricado con conexiones dúctiles soldadas se comportan, desde un punto de vista estructural, en forma similar a tabiques de hormigón armado acoplados. El acoplamiento se logra a través de las platinas de conexión, lo cual origina una disminución del momento flector en los paneles y modifica la fuerza axial actuante en los mismos. La magnitud de estos cambios depende del grado de acoplamiento, esto es, de la fuerza de corte  $V_s$  que las platinas pueden transferir. A pesar de que ciertos componentes del sistema estructural pueden exhibir un comportamiento frágil, la aplicación de los principios fundamentales del diseño por capacidad asegura que pueda obtenerse una respuesta global de la estructura adecuada para resistir acciones sísmicas.

A los efectos de determinar las fuerzas sísmicas actuantes en la estructura, y de acuerdo a los criterios presentes en la mayoría de los códigos sismorresistentes en vigencia, el diseñador debe adoptar un valor de ductilidad global de la construcción. Teniendo en cuenta los resultados experimentales obtenidos en este trabajo, en los que se observó una respuesta aceptablemente dúctil, pero con un mecanismo controlado por deslizamiento por corte, se recomienda diseñar este

tipo de construcciones como estructuras de ductilidad moderada, esto es, con un factor de ductilidad global no mayor de 3.0.

Se presentan a continuación, en forma resumida, los pasos sucesivos del procedimiento de diseño propuesto para edificios con paneles de hormigón prefabricado con conexiones soldadas dúctiles:

1. Los paneles prefabricados deben diseñarse para resistir los distintos estados de carga resultante de las fuerzas gravitatorias, de acciones laterales (en el plano del panel y en la dirección perpendicular) y de esfuerzos térmicos. Además, se debe prestar especial atención, a los estados de carga resultantes del transporte y montaje de los paneles prefabricados.
2. La resistencia a flexión de la conexión entre cada panel prefabricado y la base o fundación debe analizarse considerando el efecto de la fuerza de corte  $V_s$  transmitida por la unión soldada de acuerdo a la configuración particular de cada caso (las Ecuaciones 5 y 6 representan el caso de la estructura ensayada). Inicialmente, la fuerza  $V_s$  debe ser estimada por el diseñador con el criterio de evitar que la modificación de la fuerza axial en los paneles conduzca a situaciones inconvenientes, tales como aumento o reducción excesiva de la resistencia flexional. Se recomienda evitar la situación de que alguno de los paneles prefabricados quede sometido a esfuerzos de tracción.
3. El esfuerzo de corte resistido por cada panel, por los probables efectos de sobrerresistencia, tiene que ser transferido a la base o viga de fundación. Para ello debe verificarse que la conexión panel-fundación presente la resistencia a corte adecuada. El procedimiento de diseño del panel y su conexión con la base (pasos 1, 2 y 3) se describe con mayor detalle en las referencias [2, 3].
4. Las platinas perforadas de acero y los cordones de soldadura usadas en las conexiones deben seleccionarse siguiendo el criterio descrito en este trabajo (ver Fig. 7), utilizando las Ecuaciones 2, 3 y 4 para calcular la rigidez y resistencia a corte de las mismas. En esta etapa deben seleccionarse las platinas de conexión para que tengan una resistencia similar a la adoptada en el paso 2. Caso contrario será necesario repetir el proceso de diseño desde el paso 2.
5. Por último, se debe verificar que las platinas de acero embebidas en los paneles (sobre las que se sueldan las platinas perforadas) sean capaces de resistir las fuerzas de corte que se desarrollan en las platinas de conexión. Para ello se recomienda el uso del detalle de anclaje ilustrado en la Fig. 2, siendo necesario determinar el área de las barras diagonales mediante la Ecuación 1. Además deben verificarse los cordones de soldadura y la longitud de anclaje de las barras.

## CONCLUSIONES

Las principales conclusiones obtenidas en el estudio analítico-experimental que se presentan en este trabajo son:

- Es de fundamental importancia diseñar adecuadamente las uniones entre los distintos componentes de una construcción con paneles prefabricados de hormigón armado. Las conexiones representan los elementos más débiles de la cadena de resistencia y deben disponer de suficiente reserva de ductilidad para resistir acciones sísmicas sin ocasionar el colapso de la estructura o daños irreparables.
- Para el caso particular de conexiones soldadas entre paneles se propone en este trabajo el uso de platinas perforadas de acero. Estudios analíticos basados en modelos con elementos finitos y verificaciones experimentales indican que este tipo de elementos de conexión permiten obtener una respuesta sumamente dúctil y estable, con buena disipación de energía. Para ello es necesario evitar la ocurrencia de modos de falla frágil, tales como los ocasionados por fractura de los cordones de soldadura o falla de los anclajes de las platinas embebidas en el hormigón. Este objetivo puede lograrse mediante la aplicación de los principios básicos del diseño por capacidad.
- A los efectos de verificar el comportamiento de la conexión propuesta, se ensayó la platina perforada de acero en forma aislada sometida a esfuerzos de corte con variación cíclica. Además, se realizó el ensayo de una estructura completa formada por dos paneles prefabricados, montados sobre una base o viga de fundación, conectados entre sí con platinas perforadas de acero.

- Se presenta un procedimiento simple para el diseño sismorresistente de paneles prefabricados con conexiones dúctiles, basado en consideraciones analíticas y en los resultados obtenidos del programa experimental. La aplicación de los principios básicos del diseño por capacidad asegura que, a pesar de que algunos componentes del sistema estructural puede exhibir un comportamiento frágil, la respuesta global de la estructura es adecuadamente dúctil.
- Las platinas de conexión propuestas son fáciles de fabricar y pueden reemplazarse en forma rápida y económica en caso de que fueran dañadas con resultado de la ocurrencia de un sismo severo.
- Más investigación experimental es necesaria para verificar el comportamiento de otras uniones comúnmente usadas en la construcción de edificios con paneles prefabricados.

## AGRADECIMIENTOS

Este programa de investigación se llevó a cabo gracias al apoyo de Foundation for Research, Science and Technology, Nueva Zelanda, a través de un subsidio del Public Good Science Fund (Contract UOC 306, 1993/1996). Se agradece también el soporte económico brindado al primer autor por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo durante su estadía en Nueva Zelanda.

## NOTACION

B : ancho de la platina de conexión  
D : diámetro del agujero circular en la platina de conexión  
 $f_y$  : tensión de fluencia del acero  
 $f_u$  : tensión última del acero  
 $K_s$  : rigidez a corte de la platina perforada  
h : altura de aplicación de la fuerza lateral  
L : longitud de la platina de conexión  
 $L_w$  : longitud de los cordones de soldadura horizontales  
M : momento flector  
 $M'$  : momento resistente  
N : carga axial  
 $N_g$  : carga axial originada por las acciones gravitatorias  
t : espesor de la platina de conexión  
 $t_w$  : espesor de los cordones de soldadura  
V : resistencia lateral  
 $V_s$  : fuerza de corte en la platina de conexión  
 $V_{sy}$  : resistencia de fluencia de la platina de conexión  
 $V_{su}$  : resistencia última de la platina de conexión  
 $\alpha$  : ángulo de inclinación de las barras de anclaje diagonales  
 $\lambda$  : factor de sobrerresistencia  
 $\mu$  : ductilidad de desplazamiento

## REFERENCIAS

1. Earthquake Spectra, *Northridge Earthquake of January 17, 1994 Reconnaissance Report*, Supplement C to Vol. 11, Enero, 1996.
2. Restrepo, J. I, Crisafulli, F. J. y Park, R., *Earthquake Resistance of Structures: The Design and Construction of Tilt-Up Reinforced Concrete Buildings*, Research Report 96-11, University of Canterbury, septiembre 1996, 138 pág. y anexos.
3. Crisafulli, F. J., Restrepo, J. I. y Park, R. "Recomendaciones para el diseño de estructuras sismorresistentes con paneles prefabricados de hormigón armado", XVI Jornadas Argentinas de Ingeniería Estructural, Buenos Aires, septiembre, 1998.
4. Schultz, A. E., Tadros, M. K., Xiao Ming Huo and Magana, R. A., "Seismic Resistance of Vertical Joints in Precast Shear Walls", Proceedings of the FIP '94, XII Congress, Washington D.C., May 1994, Vol. 1, pp. E23-E27.
5. Paulay, T. y Priestley, M. J. N., *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*, John Wiley & Sons Inc., 1992, 744 p.

# Proyecto de automatización de planta piloto para tratamiento de minerales

Ing. Alfredo Puglesi<sup>1</sup>

Ing. María Susana Bernasconi<sup>2</sup>

## Resumen:

La Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo, conjuntamente con la Dirección de Minería de Mendoza, han acordado un Proyecto para automatizar la Planta Piloto de tratamiento de minerales que esta última posee para realizar determinación de calidad y composición. Esta planta piloto está especialmente orientada a prestar servicio a las pequeñas y medianas empresas. La modernización sugerida en este trabajo, permitirá obtener un producto final más acabado; por lo tanto facilitará la obtención de análisis más precisos y su operación se verá abaratada al no requerir tarea de campo.

**Palabras clave:** Control, Automatización, Intercambio con el medio.

## Abstract:

The Facultad de Ingeniería of the Universidad Nacional de Cuyo, together with the Dirección de Minería of Mendoza have agreed a Project to automatize the Pilot Plant for minerals treatment that this last one has to accomplish determination of quality and composition. This Pilot Plant is especially planned to assist small and middle companies. The modernization suggested in this article will permit get a better final product and thus, it will ease the acquisition of more accurate analyses and its running will become cheaper as it does not require field work.

**Key Words:** Control, Automatization, Environment interchange.

El Instituto de Automática y Electrónica Industrial (IAEI) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo, ha realizado este trabajo en el marco del convenio firmado entre la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo y la Dirección de Minería e Hidrocarburos del Ministerio de Economía del Gobierno de Mendoza, por el cual se acordó colaborar en la automatización de la Planta de Tratamiento de Minerales ubicada en Boulogne Sur Mer 3251 de la Ciudad de Mendoza. Esta planta se usa para ensayo de producción y posterior análisis del mineral obtenido.

Como se muestra en la figura 1, el mineral se introduce en una trituradora T de mandíbulas para lograr la granulometría deseada, manualmente se traslada el material resultante a un alimentador AL, el que entrega al molino a bolas M la mezcla obtenida de mineral y agua.

---

1 Ing. en Electrónica- Prof.Titular Instrumentación y Control Automático  
apuglesi@raiz.uncu.edu.ar

2 Ing.Industrial- Prof.Adjunta Instrumentación y Control Automático  
sbernasc@raiz.uncu.edu.ar

El material finamente triturado alimenta al acondicionador AC con ayuda de la bomba B1 y el material que no logra la adecuada granulometría se recicla nuevamente a través del sinfín S. AC tiene un agitador y aquí se le adicionan tres aditivos: El depresor D, el espumante E, y el controlador de acidez pH, con los que se adecua la mezcla para que en el proceso siguiente el material tenga flotabilidad o precipitación adecuada. Después de este acondicionamiento se produce la primera separación fina de minerales en las celdas de flotación C1....C6. Cada celda tiene un motor con su agitador y C1 desplaza el material flotado (se puede seleccionar la cantidad de celdas que deben intervenir).

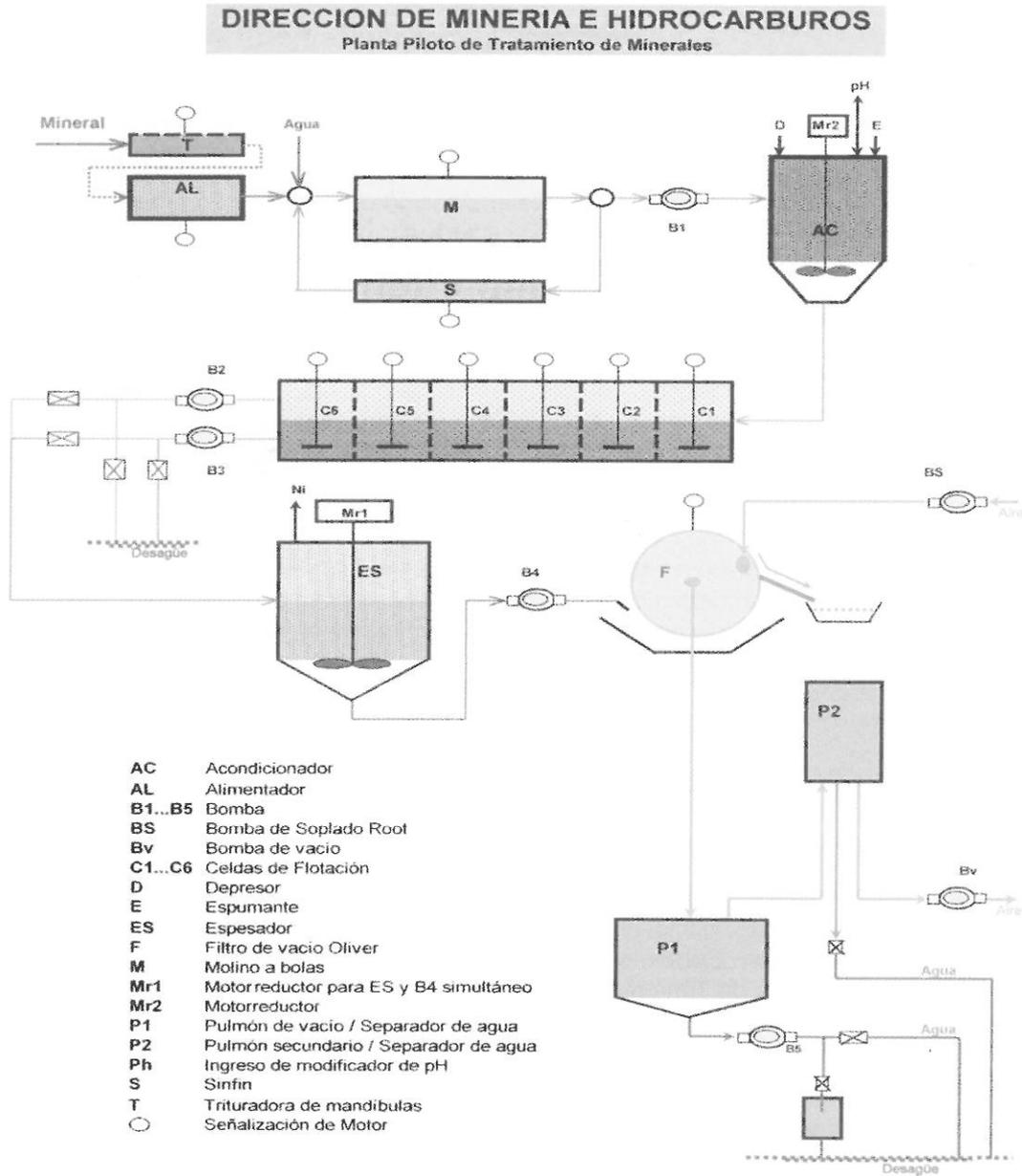


Figura 1

El material flotado o precipitado se extrae por las bombas B2 o B3 según corresponda y el descarte de excedentes hacia el desagüe. La mezcla obtenida alimenta un espesador ES donde es convenientemente agitada y se separa el mineral que luego es transportado a través de la bomba B4 hacia el filtro separador de vacío Oliver F. En este filtro se produce el vacío y se separa el agua de la mezcla con Bv; también se sopla aire con Bs para separar el mineral del tambor. La bomba B5 purga el agua residual del tambor para enviarla a desagüe.

## 1) CONCEPCION DEL SISTEMA DE CONTROL

El control requerido consiste en automatizar el proceso a los efectos de obtener un mínimo de intervención humana, el beneficio adicional de operaciones de bajo costo y un producto final homogéneo como consecuencia de procedimientos operativos normalizados.

Básicamente se centralizarán los mandos y protecciones de 19 motores eléctricos en un solo tablero, comandados por un PLC (Controlador Lógico Programable) siendo el proceso monitoreado y supervisado a distancia mediante PC. La Figura 2 muestra el esquema simplificado de la arquitectura del sistema de control propuesto.

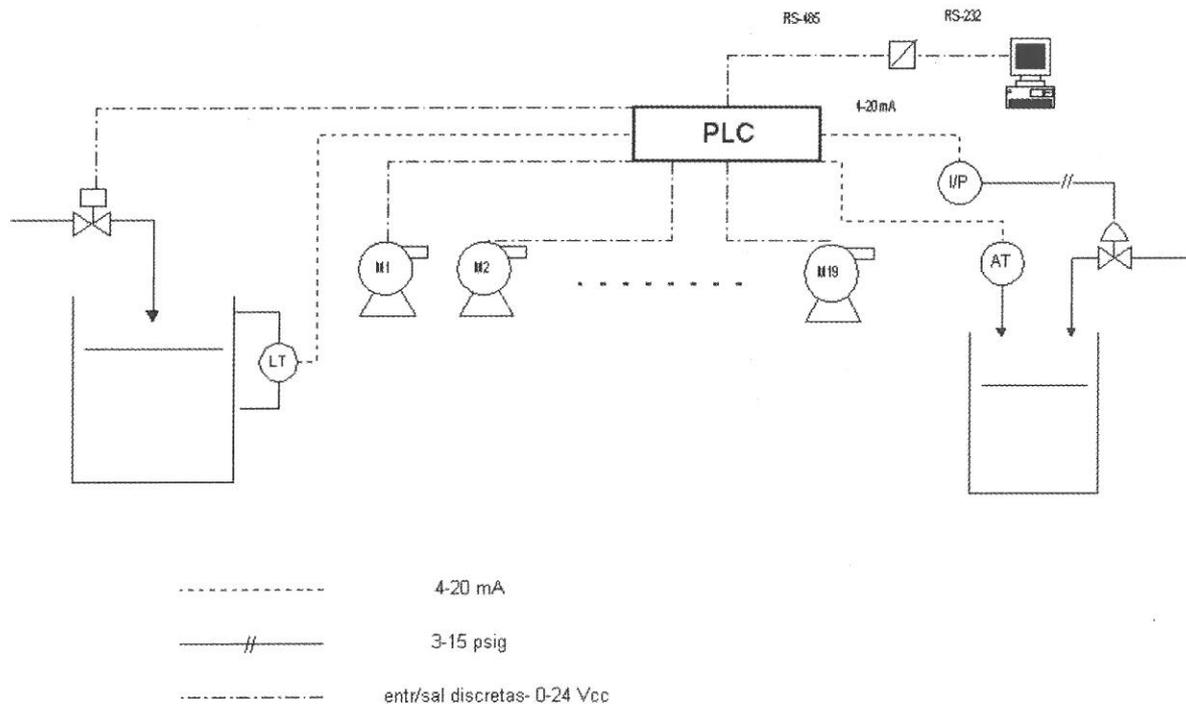


Figura 2

- El PLC será de 120 entradas/ salidas discretas, 8 entradas analógicas: 1 para el pH, otra de nivel y las 6 restantes en previsión de futuras entradas (como densidad y temperaturas) y 2 salidas analógicas para el control de pH y de nivel.

- Estará a cargo de la secuencia de arranque/parada de los motores, como así también de los lazos de control analógicos previstos.

- Tendrá salida RS-485 y protocolo MODBUS, por lo que un moderno software de supervisión, monitoreo y control corriendo en la PC y mediante una conexión digital de alta velocidad, vinculará el PLC con la misma.

Esto permitirá que un operador, desde un punto remoto y a manera de Sala de Control, pueda supervisar on-line todas las maniobras que automáticamente realiza el PLC. Dentro de las prestaciones de tal software se incluye la de un mímico vivo, que reproduce gráficamente la Planta en cuestión, por lo que el operador a cargo de la supervisión podrá ver el estado de todas las variables, tanto continuas como discretas; por ejemplo el valor de pH, el estado de los motores, etc.; pudiendo cambiar el punto de consigna de las variables analógicas o proceder a la puesta en marcha/parada de los motores a voluntad.

El mencionado software permite, además del monitoreo en tiempo real, como ya se mencionó, el registro histórico de las variables y su transferencia dinámica a otros programas, incluyendo utilitarios como planillas de cálculo, de tal forma que en el análisis off-line de las mismas puedan ser utilizadas con fines de evaluación y comparación, la evolución de las muestras a través del tiempo, la obtención de variables inferidas o calculadas, etc.

- El acondicionador AC necesita de un estricto control de pH mediante el adecuado agregado de soluciones. A tal fin se ha pensado en un analizador / transmisor con salida de 4-20 mA dotado, además de los electrodos de medición y de referencia, de un vibrador ultrasónico que evite la formación de emulsiones y/o gomas sobre los ya referidos electrodos (ya que algunos de los aditivos tienen una base orgánica y pueden propender a la formación de tales depósitos).

La señal de salida en corriente de este transmisor irá hacia el PLC, que también efectúa, además de control discreto, control analógico o continuo en base al convencional algoritmo Proporcional, Integral y Derivativo. El valor deseado (o punto de consigna) de pH podrá ser cambiado a voluntad por el operador a través del sistema de supervisión.

- Como elemento final de control se ha pensado en una pequeña válvula con servoactuador neumático y característica de modulación tipo igual porcentaje, por lo que se intercalará entre la salida analógica del PLC y la misma, un convertidor I/P.

- La medición de nivel en el molino de bolas M, también se envía al PLC y éste comanda una electroválvula.

## **2) DESCRIPCION DEL TABLERO:**

Diseño del tablero: A efectos de un diseño óptimo del tablero, tanto en el aspecto de dimensionado como de costos, se está realizando en AUTOCAD, una biblioteca de los componentes eléctricos y de control con sus dimensiones comerciales. El tablero se ubicará en una de las paredes internas de sala de planta, deberá tener protección IP 54 y contendrá los dispositivos de protección y maniobra (contactores) y guardamotors, también alojará el PLC descrito en el punto 1. No es de aplicación normas antiexplosivas ya que la planta no está clasificada eléctricamente (no es área peligrosa).

El sistema contempla y se ajusta a normas en cuanto a tierra eléctrica y tierra para instrumentos, pulsadores de emergencia distribuidos en toda la planta (además del propio sobre panel principal en tablero y por software en PC).

Se prevé incorporar variadores de velocidad de motores para algunos de ellos, y para el control de los mismos se dejarán previstas entradas y salidas discretas del PLC.

Se prevé alimentar los motores y electroválvulas desde este tablero por la parte superior, no obstante la bornera de salida a los mismos será por la parte inferior y subirá externamente por cañero. Se prevé alimentar los motores y electroválvulas desde esta bornera, en previsión de alojar a su lado un

tablero denominado de variadores para el control de RPM de algunos motores a definir por experiencia operativa. De esta forma la salida de este segundo tablero será por la parte superior hacia los motores elegidos. Se prevé un selector para operación manual / automático. Dado que el transporte de material está basado en motores eléctricos, no es necesario una alimentación de tablero de control sostenido por UPS o corriente continua.

### 3) LISTADO DE MATERIALES

Para una mejor apreciación de los alcances del trabajo, se adjunta la lista de materiales sugerida.

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCION
1	1	Tablero 0,6x1,2x0,22- IP 54
2	1	Transmisor pH y accesorios
3	9	Protección PLC + relés rep+ Tx pH . Protección E.V., GB2-CB 06 1 Amp
4	1	Int.autom. NS 100N-29633
5	19	GV-2MO3 (reg.0,25-2,8) , confirmar rango para monofásico
6	19	GV-2-AE1 Aux.Inst. frontal 1 NA
7	19	..+NA AUX señal default GV"-AD1010
8	19	relay RXN 41 G11 BD
9	19	zócalo RXZ 1G
10	25	19 motores + 6 electroválvulas, contactor LC100P10 MS
11	1	PLC micro -Modbus.Discretas (I=74,O=25),Anal.(I=2,O=1)
12	25	Pulsadores verdes NA
13	25	Pulsadores rojos NC
14	2	Pulsador emergencia
15	1	Selector manual -automático
16	5	Riel DIN x 1m
17	1	Bornera Zulada , 40 bornes
18	5	Tramos cable canal 3 cm.x 2m
19	2	Rollo cable 1.5 mm2
20	2	Rollo cable 2.5 mm2
21	1	Rollo cable 6 mm2
22	1	Rollo cable 4 mm2
23	200	Terminales para 1.5 mm2
24	200	Terminales para 2.5 mm2
25	40	Terminales para 6 mm2
26		Tornillos V de fijación
27	300	Identificaciones sobre cables
28	2	Jabalinas instrumentos
29	1	Soft monitoreo y supervisión
30	1	Convertor RS-232C a RS-485
31	30	Pilotos luminosos

Dado que en este proyecto se ha entregado un listado de materiales e instrumentos para ser presupuestados, no es posible indicar detalles más específicos de los mismos hasta tanto la Dirección de Minería no realice su compra.

### **Conclusiones:**

Este trabajo está destinado a modernizar la planta piloto descripta, que fue diseñada hace unos 50 años y se operaba manualmente. Esta modernización consiste fundamentalmente en la operación automatizada con adquisición de datos y monitoreo a distancia, que permitirá un seguimiento histórico de las variables y prevé que a partir de la experiencia operativa y la base de datos obtenida, se puedan implementar estrategias más avanzadas (especialmente sobre el lazo de pH) que redundarán en un mejor producto y por lo tanto análisis más precisos y confiables, lo que justifica ampliamente la inversión sugerida.

Este Proyecto demuestra una vez más la factibilidad y conveniencia de la interacción de la comunidad universitaria con el medio, a través de sus Facultades e Institutos, en este caso una entidad pública provincial que a partir de la ingeniería de detalle desarrollada por el IAEI podrá ser realizada por terceros con la supervisión de la Dirección de Minería y personal del mencionado Instituto.

Los beneficios académicos son amplios y variados, principalmente porque en estos Proyectos intervienen alumnos y graduados recientes, compartiendo experiencias con sus profesores durante el desarrollo de la ingeniería, sentando las bases y obteniendo la confianza para emprendimientos mayores.

Para la entidad externa contratante, la ventaja reside en que cuenta con supervisor asociado natural, que actuará como co-inspector solidario en la etapa de ejecución de los tableros, trabajos en obra y puesta en marcha y dispuesto a efectuar los ajustes necesarios a nivel de programación del PLC para el funcionamiento óptimo de la Planta automatizada.

### **Referencias:**

- 1) AUTOMATISMES PROGRAMMABLES INDUSTRIELS TSX MICRO  
Telemecanique  
Groupe Schneider-1999
- 2) INSTRUMENTACION INDUSTRIAL  
Antonio Creus.  
Marcombo- 1998
- 3) CONTROL AUTOMATICO DE PROCESOS  
C.A.Smith y A.B.Corripio  
Noriega-Limusa- 1997
- 4) AUTOMATAS PROGRAMABLES  
A.Porrás y A.P.Montanero  
Mc.Graw-Hill- 1996

# Mejora de la eficiencia y aprovechamiento hidroeléctrico del río Mendoza entre Alvarez Condarco y el dique Cipolletti

Federico A. Di Lello<sup>1</sup>

Daniel Fernández<sup>2</sup>

## SUMARIO

Se propone la construcción de un canal impermeabilizado con una capacidad máxima de 80 m<sup>3</sup>/s, a desarrollar por la margen izquierda del río Mendoza, y tal que permita conducir el agua desde la descarga de la Central Hidráulica Álvarez Condarco a cota 1.111 msnm, hasta el emplazamiento del dique Cipolletti ubicado a cota 1.000 msnm, salvando así 111 m de desnivel, factibles de aprovechar con 11 centrales hidráulicas en cascada. Cada central podría utilizar un salto de 10 m, y desarrollar una potencia de 6,7 MW en dos grupos cada una. La capacidad total instalada sería de 75 MW, con una generación total cercana a los 300 GWh/año. Con el proyecto "Canal Marginal al Río Mendoza en Blanco Encalada" no sólo se puede obtener energía hidráulica sino que también permite una operación sustentable de esta oferta hídrica favoreciendo el mejor aprovechamiento del tramo inferior del río Mendoza.

**Palabras clave:** Aprovechamiento hidroeléctrico - energía hidráulica - acuíferos - mini centrales hidráulicas - infiltración.

## SUMMARY

It is proposed the construction of a lined channel with 80 c.p.s. of maximum capacity, on the left margin of the Mendoza river, to conduce the water from the level 1111 TWL, in correspondence of the tail water level of "Alvarez Condarco" Power House, at the level 1000 TWL, just in correspondence of the Cipolletti dike, saving a height of 111meters, where it is possible to make good use of eleven power houses in cascade, each one with a capacity of 6,7 MW in two groups, with a height of 10 meters at every fall. The total power capacity installed would be 73,7 MW, with a possible total generation of 300 GWh of electricity per year. The marginal channel "Blanco Encalada Project", it is possible a very important phase of the integrated development of the Mendoza river, at the foot of the Andes in western Argentina. Not only it makes possible the sustainable operation of this hydraulics offer, but it also gives the best use of the lower Mendoza river.

**Key Words:** Hydroelectrical utilization - hydraulic power - water bearings - hydraulic minor plants - infiltration.

## INTRODUCCION

La construcción de un embalse sobre el río Mendoza en la progresiva de Potrerillos, inducirá importantes modificaciones en el balance actual de la cuenca subterránea Mendoza Norte,

1. Ingeniero Civil; Director Grupo GEPRO, Facultad de Ingeniería, UNC - e-mail: fdilello@ciudad.com.ar.

2. Ingeniero Civil; Grupo GEPRO, Facultad de Ingeniería, UNC - e-mail: dfdez@ciudad.com.ar.

N. de R.: El presente artículo fue elaborado antes de la construcción del dique Potrerillos.

planteando esta situación la necesidad de prever ciertas correcciones en la infraestructura existente, a fin de mitigar los impactos negativos que puede llegar a producir su operación, y permitir una explotación sustentable del acuífero asociado al importante Oasis Norte de la Provincia.

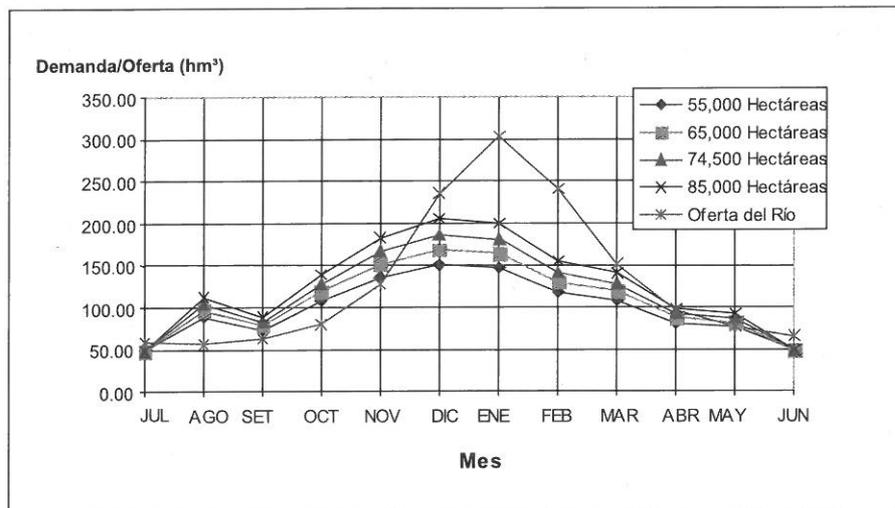
Los irregulares derrames naturales de los ríos cordilleranos, imponen la necesidad de intentar mejorar su posible utilización para distintos usos, en particular la utilización de tipo consuntivo, por lo que la regulación de los mismos supone un fuerte compromiso técnico-económico, acción que debe ser complementada con otras obras de mejoramiento conducentes al uso eficiente del recurso disponible.

### GARANTÍA Y CALIDAD DEL AGUA

Es difícil hallar un embalse con capacidad reguladora interanual, suficiente para asegurar permanentemente y en cada momento del año una disponibilidad hídrica superior en volumen y oportunidad a las ofertas naturales del río, con valores como los que se observan en el Gráfico N° 1.

La garantía de disponibilidad asociada a una solución constituye una medida de la frecuencia o probabilidad de que el sistema incorporado a la cuenca del río satisface las demandas existentes.

Gráfico N° 1: Demandas y Derrame Medio Mensual del Río Mendoza



Fuente: Proyecto EMARHE

Esta medida es conveniente porque implícitamente indica para quien analiza su uso agrícola, cuáles cultivos tienen posibilidades de sobrevivir produciendo cosechas razonables, aún cuando el agua que reciban no fuera la teóricamente necesaria para su rendimiento óptimo.

Es importante entonces, desde el punto de vista técnico económico, que la capacidad adoptada para el embalse sea utilizada totalmente, de modo que la proporción de mejora en la garantía de disponibilidad, no se vea afectada aguas abajo por malas prácticas en la conducción y aplicación del agua utilizadas previamente a su construcción.

La garantía de disponibilidad posible es entonces un concepto fundamental y propio de cada río y de allí su peso específico en la decisión técnica que se aporte para mejorar el aprovechamiento.

### INFILTRACIÓN

La infiltración es una importante fuente de pérdidas de agua en el sistema del río Mendoza. Se produce tanto en el lecho del río, como en las propias parcelas irrigadas, donde la eficiencia de uso es baja,<sup>3</sup> como queda indicado en el Cuadro N° 1.

3. Proyecto EMARHE - pag. 139 Mendoza, diciembre de 1997.

La primer fuente significativa de infiltración se encuentra en el lecho del río, entre Cacheuta y Cipolletti, alcanzando un volumen mensual que puede ser expresado mediante la ecuación:<sup>4</sup>

$$\text{Infiltración (hm}^3\text{/mes)} = 1.086 \times \text{Q Cacheuta (hm}^3\text{/mes)}^{0.5}$$

Se ha determinado que la principal infiltración se produce entre Álvarez Condarco y Cipolletti, siendo ésta la única zona del río donde se la ha medido cuidadosamente, a pesar de que es sabido que existe infiltración aguas debajo de Cipolletti, estimándoselas en un 14% del caudal del río, valor que no es posible confirmar por la carencia de mediciones.

Una vez en operación el embalse de Potrerillos, las descargas que se realicen serán aguas prácticamente libres de sedimentos (aguas claras), las que escurrirán por el cauce del río y luego seguirán por canales de riego sin impermeabilizar, aumentando consecuentemente las recargas hacia el reservorio subterráneo.

Cuadro N° 1: Pérdidas de Agua en Canales y Fincas en el área de Influencia del Río Mendoza

Pérdidas en Derivaciones en Canales y en Fincas										
Sist. Principal	Canales Secundarios	Aqua para Riego Demandada por Cultivo y Entregada al Canal					Infiltración como % Caud. Exced.			
		Area Servida (hectareas)	Demanda-Cult. (m3/ha/año)	Demanda Total (hm3/año)	Caudal Entreg. (hm3/año)	Caud. Exced. (hm3/año)	% del Total Entregado	peor=1 (>40%)	Infiltr. en Fincas (60% hm3/año)	Infiltr. en Canales (40% hm3/año)
<b>Canal Cacique Guaymallén</b>										
(Tramos Superiores)	Lima/Lunlunta	2217.5	7447	16.514	31.824	15.310	48.11%	1	9.186	6.124
	Chacras de C. y la Falda	1223.3	7447	9.110	12.618	3.508	27.80%		2.105	1.403
	Sola/Moral./VIII./Cald.	1631.9	7447	12.153	14.066	1.913	13.60%		1.148	0.765
	2° Guinazú	600.2	7447	4.470	17.098	12.628	73.86%	1	7.577	5.051
	Matriz Gil	321.6	7447	23.951	41.653	17.702	42.50%	1	10.621	7.081
	Jarilla	2684.2	7447	19.990	47.046	27.056	57.51	1	16.234	10.822
	Sobremonte	2277.3	7447	16.960	21.274	4.314	20.28%		2.589	1.726
	Mathus Hoyos	3824.4	7447	28.482	41.075	12.593	30.66%		7.556	5.037
	Talamar/Tobar	1574.7	7447	11.727	10.083	n/a	-			
	Algarrobal	1418.5	7447	10.564	26.129	15.565	59.57%	1	9.339	6.226
	Estaben	1366.5	7447	10.177	11.845	1.668	14.08%		1.001	0.667
	Tulumaya	5603.2	7447	41.729	32.704	n/a	-			
	Jocolí	7551.9	7447	56.241	85.4	29.159	34.14%		17.495	11.663
<b>Totales</b>		35189.6		262.069						
<b>Canal Matriz San Martín</b>										
(Tramos Medios)	Barrancas/Espino	1440.8	7647	11.018	13.054	2.036	15.60%		1.222	0.815
	Naciente	4565.5	7647	34.912	51.118	16.206	31.70%		9.724	6.483
	Ortega	912.5	7647	6.978	13.123	6.145	46.83%	1	3.687	2.458
	Chachingo	2987.2	7647	22.843	42.349	19.506	46.06%	1	11.704	7.803
	Céspedes	2828.5	7647	21.629	26.915	5.286	19.64%		3.172	2.114
<b>Totales</b>		12734.5		97.379						
<b>Gran Canal Matriz</b>										
	2° Vistalba	693.9	7647	5.306	7.607	2.301	30.25%		1.381	0.920
	1° Guinazú	220.8	7647	1.688	2.768	1.080	39.00%		0.648	0.432
<b>Totales</b>		914.7		6.995						
<b>Tomas Dirs.</b>										
	Compuertas & 1° Vistalba	1699.93	7647	12.999	20.011	7.012	35.04%		4.207	2.805
	Ramo Num.1	32.1	7647	0.245		n/a	-			
<b>Totales</b>		1732.03		13.245						
<b>Marq. Derec.</b>										
	Flores	2773.3	7647	21.207	34.01	12.803	37.64%		7.682	5.121
	Corvalán-Santander	3203.3	7647	24.495	36.35	11.855	32.61%		7.113	4.742
<b>Totales</b>		5976.6		45.702						
<b>Tramos Inferiores</b>										
	Galign./Reina/M. Hoff	8010.7	8084	64.761	118.998	54.237	45.58%	1	32.542	21.695
	Villa Central	1168.3	8084	9.445		n/a	-			
	Balada de Araujo	3844.5	8084	31.080	55.847	24.767	44.35%	1	14.860	9.907
	San Pedro y San Pablo	3829.4	8084	30.958	56.123	25.165	44.84%	1	15.099	10.066
	Conc. California	2826.5	8084	22.850	61.203	38.353	62.66%	1	23.012	15.341
	Natalio Estrella	1784.9	8084	14.430	25.924	11.494	44.34%	1	6.897	4.598
	Gustavo André	2723.3	8084	22.016	32.011	9.995	31.22%		5.997	3.998
<b>Totales</b>		24187.6		195.539					233.795	155.863
<b>Total Hectáreas</b>		80735.03								
<b>Resumen de Demandas</b>										
	Total-Cult. (hm3/yr)		620.928							
	Total-Pérd. (hm3/yr)		389.658							
	Total - 80735 Ha		1010.586							

Fuente: DGI - Proyecto EMARHE

4. Hernández, Jorge - Infiltración en el tramo Cacheuta - Cipolletti (Mendoza) - CRAS 1984.

## **EMBALSES Y ACTIVIDAD HIDROELECTRICA**

La gran incidencia del embalse en el costo final de una obra de aprovechamiento hidroeléctrico, requiere<sup>5</sup> de una cuidadosa determinación de sus dimensiones, sobre todo para evitar opiniones encontradas respecto de su conveniencia técnica y económica.

La actividad hidroeléctrica, hoy en manos privadas y como parte del negocio eléctrico, requiere que a partir de un embalse haya mejores posibilidades de uso del agua, tales que sean punto de partida de otros proyectos sustentables y con garantía del agua erogada.

Como se dijo, se ha establecido que el tramo del río Mendoza desde la salida del cañón de Cacheuta hasta el dique Cipolletti, es el sector en el cual se producen las mayores recargas por infiltración a la cuenca subterránea Mendoza Norte, alcanzando los 210 hm<sup>3</sup> para año hidrológico medio<sup>5</sup>.

En el caso del aprovechamiento en Potrerillos, si en el futuro no se controlara adecuadamente el manejo de las recargas y ellas sobrepasaran el volumen bombeado anualmente, sobrevendrían fenómenos de revenimiento de suelos en amplios sectores de la Cuenca, con las consecuentes modificaciones de la surgencia natural, en los niveles freáticos y de las calidades físico-químicas del acuífero subterráneo.

## **CANAL MARGINAL AL RIO MENDOZA**

Con el proyecto "CANAL MARGINAL AL RIO MENDOZA EN BLANCO ENCALADA" se propone la construcción de un canal impermeabilizado por la margen izquierda del río Mendoza, con una capacidad máxima de 80 m<sup>3</sup>/s, tal que permita conducir el agua desde la cota 1.111 msnm correspondiente a la descarga de la Central Hidráulica Álvarez Condarco, hasta la cota 1.000 msnm del dique Cipolletti, punto de arranque del sistema de distribución del agua para riego y demás usos consuntivos, salvando así 111 m de desnivel, posibles de aprovechar con 11 centrales hidráulicas en cascada, utilizando en cada una un desnivel de 10 m con lo que se logra una potencia de 6,7 MW repartida en dos grupos. La potencia total posible de instalar será de 65 MW, con una generación total cercana a 300 GWh/año.

Desde el primer tramo<sup>6</sup>, existe la posibilidad de derivar parte del agua hacia el río a través de vertederos laterales, con lo cual se puede modificar según sea necesario, la oportunidad y forma de la recarga hacia el acuífero subterráneo, o bien conducir la totalidad del flujo hasta la central del Salto N° 1, la cual la restituye nuevamente al CANAL (segundo tramo) hasta la central del Salto N° 2, y así sucesivamente en cada uno de los diez saltos subsiguientes, de modo de alcanzar en el dique Cipolletti la derivación hacia el Canal Matriz, punto de inicio del sistema de distribución del río Mendoza.

La presencia de un embalse implica fundamentalmente la "modificación de un régimen circulatorio natural, para acomodar su sucesión en el tiempo a las necesidades del consumo, con garantía suficiente de permanencia"<sup>7</sup>.

Con la operación del CANAL, y una adecuada gestión de las descargas hacia el río, se podrán corregir las recargas y mitigar los efectos de infiltraciones excesivas en el tramo considerado, al permitir intervenir en la ecuación de balance de la cuenca subterránea.

El ingeniero y luego el economista deben intentar establecer de algún modo la uniformidad del recurso en sus consideraciones prácticas y económicas a fin de fijar el valor producto, como la economicidad del embalse y las posibilidades o inconvenientes que podría ofrecer el proyecto desde el punto de vista funcional frente a otras obras complementarias.

La tendencia que presenta la serie de registros hidrológicos del río Mendoza, como toda serie de datos de azar, permite construir una curva de frecuencia. Con ella se alcanzará una mayor exactitud

5. Corresponde a un derrame de 1600 hm<sup>3</sup>/año.

6. Desde la descarga de la Central Álvarez Condarco y hasta el Salto N° 1.

7. Enrique Becerril - La regulación de los ríos - Consejo Superior de Investigaciones Científicas- Madrid 1959.

y continuidad como para caracterizar rápidamente este curso de agua, incorporando la componente segura de disponibilidad por la presencia del embalse y la incidencia de la parte variable restante, posible también de ser corregida por la operación del CANAL y sus obras accesorias.

### COMPLEMENTACION CON EL EMBALSE DE POTRERILLOS

De este modo se podría lograr una adecuada complementación con el embalse de Potrerillos, y así mejorar la garantía natural del río por otra de mayor disponibilidad de utilización mejorada con la operación del CANAL y sus obras accesorias, con un racional uso conjunto con el agua subterránea.

### DEMANDAS DE AGUA EN EL TRAMO ALVAREZ CONDARCO Y EL DIQUE CIPOLLETTI

Desde la descarga de la Central Álvarez Condarco hasta el Dique Cipolletti, las demandas a cumplir, se indican en el Cuadro N° 2, las cuales condicionan las entregas y corresponden a permisos de uso del agua del río otorgados a Centrales Térmicas Mendoza S.A. (CTM S.A.), ubicada en el Parque Industrial Provincial de Luján de Cuyo, a la destilería de REPSOL - YPF S.A. y a OSM S.A..

Cuadro N° 3: Demandas del Río Mendoza para Año Medio

DEMANDAS (hm <sup>3</sup> )								
Demandas Consuntivas								
Mes	Demandas en tramo					Compuertas (6,5 m <sup>3</sup> /s)	Agua Potable	Total
	A. Subt. (hm <sup>3</sup> )	Total	Superior	Medio	Inferior			
Julio	0,00	0,44	0,26	0,19	0,00	16,84	16,28	33,56
Agosto	0,00	41,60	17,16	9,72	14,73	16,84	16,28	74,72
Septiembre	0,00	24,84	10,98	5,91	7,95	16,84	16,28	57,96
Octubre	0,00	54,41	24,45	12,85	17,11	16,84	16,28	87,53
Noviembre	0,00	79,94	35,94	18,88	25,11	16,84	16,28	113,06
Diciembre	0,00	94,74	41,94	22,31	30,49	16,84	16,28	127,86
Enero	0,00	91,93	40,48	21,63	29,82	16,84	16,28	125,05
Febrero	0,00	65,42	28,27	15,40	21,76	16,84	16,28	98,54
Marzo	0,00	59,17	24,57	14,10	20,50	16,84	16,28	92,29
Abril	0,00	32,98	13,75	8,04	11,20	16,84	16,28	66,10
Mayo	0,00	27,63	11,94	6,91	8,78	16,84	16,28	60,75
Junio	0,00	0,95	0,39	0,56	0,00	16,84	16,28	34,07
<b>Total Anual</b>	<b>0,00</b>	<b>574,04</b>	<b>250,11</b>	<b>136,49</b>	<b>187,45</b>	<b>202,08</b>	<b>195,36</b>	<b>971,48</b>

DEMANDAS (hm<sup>3</sup>)

Para ello se derivan 12 m<sup>3</sup>/s desde el Azud Las Compuertas, los cuales previo pasaje por decantadores, son luego utilizadas para refrigeración en la Central Térmica que opera CTM; a continuación una parte de ellos (6,5 m<sup>3</sup>/s), se utilizan entre REPSOL - YPF S.A. y OSM S.A., constituyéndose en una demanda consuntiva, en tanto que si se dispusiera del CANAL MARGINAL, sería posible atender estas demandas con agua prácticamente libre de sedimentos y hacer luego la derivación para la planta potabilizadora de OSM S.A. desde el dique Cipolletti.

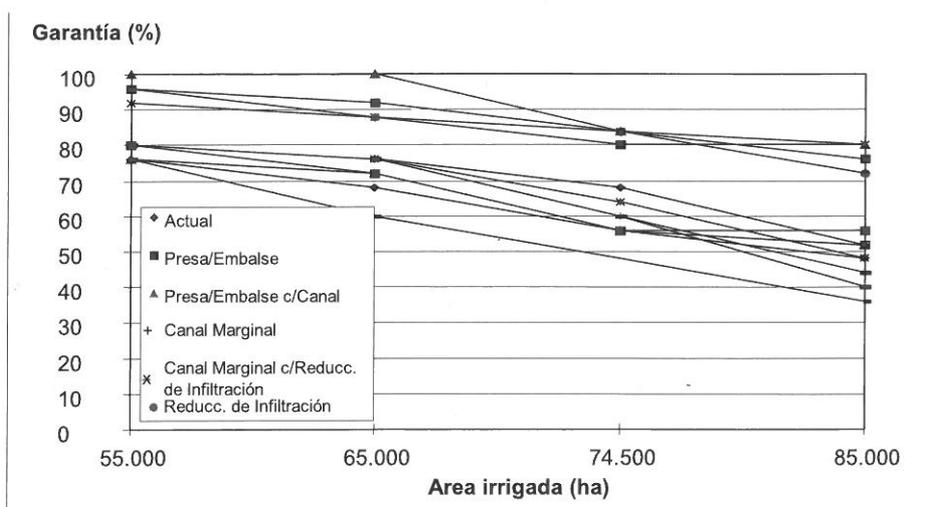


Una situación límite, sería cuando la Oferta iguale a la Demanda, entonces las recargas controladas serán posibles solamente en períodos del año en que las aportaciones naturales o derivadas desde el embalse, superen la capacidad de conducción del CANAL. En esas circunstancias, la generación de energía para abastecer los requerimientos del sistema eléctrico dependerá de la magnitud del caudal conducido por el CANAL.

**JUSTIFICACION ECONOMICA DE LA PROPUESTA**

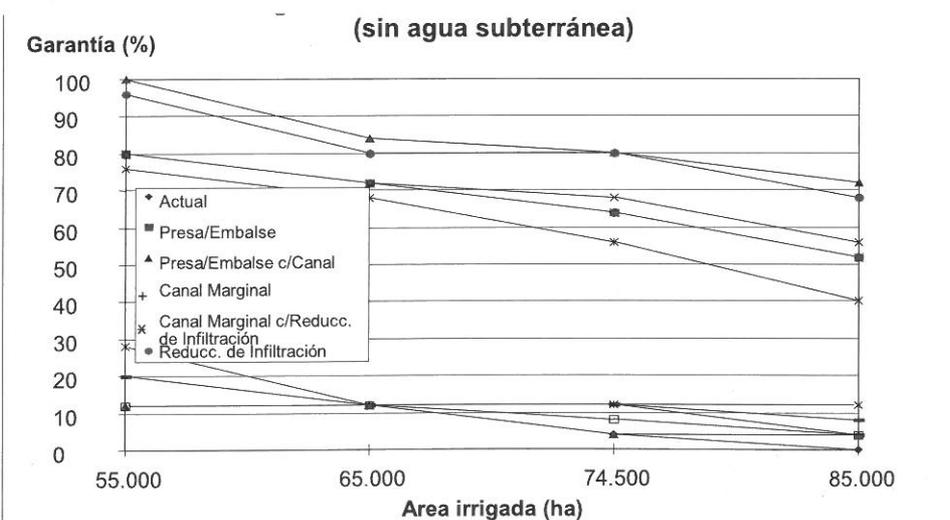
La situación económica con y sin CANAL fue analizada como una de las posibles estrategias abordadas por el Proyecto EMARHE<sup>8</sup> utilizando la metodología del Análisis Trade-Off por Multi-Atributos (AMAT), cuyos resultados pueden verse en los Gráficos N° 3 y 4.

Gráfico N° 3: Estrategias de Garantías Anuales vs. Área Cultivada (con agua subterránea)



Fuente: Proyecto EMARHE

Gráfico N° 4: Estrategias de Garantías Anuales vs. Área Cultivada (sin agua subterránea)



Fuente: Proyecto EMARHE

8. EVALUACION POR MULTI-ATRIBUTOS DE LOS RECURSOS HIDRICOS Y ENERGETICOS DE LA PROVINCIA DE MENDOZA (EMARHE). Centro de Innovación Tecnológica (CIT). Convenio Provincia de Mendoza - Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT) y la Universidad Nacional de Cuyo (UNC). Mendoza, setiembre de 1996. Coordinador Ing. Di Lello Federico.

Puede observarse que aún con la construcción del embalse en Potrerillos, es necesario alumbrar agua subterránea para cubrir la demanda, si no se modificaran las prácticas culturales en uso y se reemplazaran por nuevas tecnologías como las posibles si se dispusiera del CANAL MARGINAL.

En años hidrológicos pobres, el volumen bombeado para suplir el déficit de agua superficial resulta mayor en las estrategias con presa que sin ella, demostrándose así que aún con la construcción de un embalse, persistirá el problema de escasez del recurso hídrico y la necesidad de utilizar el acuífero subterráneo sumado a nuevas técnicas de aplicación del agua como modo de mejorar la demanda actual.

### ORIGEN DE LA IDEA

La ejecución del CANAL MARGINAL fue propuesta por primera vez en “La Regulación del Río Mendoza en Uspallata”<sup>9</sup>, estudio desarrollado por un Convenio entre el Instituto de Política Energética de la Provincia de Mendoza y la Universidad Nacional de Cuyo, en septiembre de 1994.

Luego se incorporó su factibilidad en el Proyecto EMARHE, resultando una solución recomendable de considerar como herramienta idónea para manejar las recargas al acuífero subterráneo.

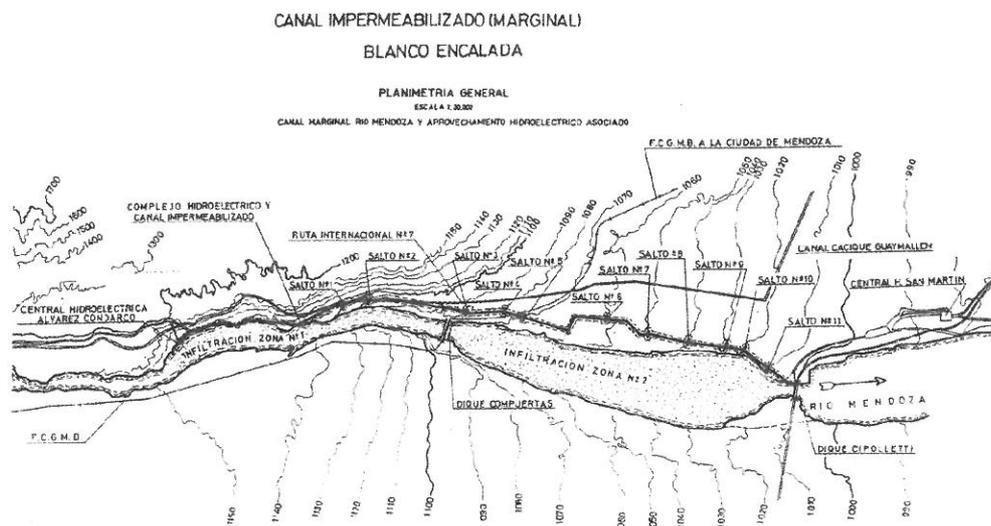
### CONCLUSIONES

La construcción del CANAL MARGINAL y su aprovechamiento hidroeléctrico asociado, precisamente en el tramo donde se producen las mayores infiltraciones y recargas al acuífero, permitirían mejorar notablemente el control de las pérdidas por infiltración en el lecho del río en períodos de escasez de agua y además se lograría disponer de una generación de energía no contaminante del medio ambiente.

### BIBLIOGRAFIA

1. DI LELLO, Federico A. et al. septiembre de 1994. “Estudio de la Regulación del río Mendoza en Uspallata”. Convenio entre el IPE (Inst. de Política Energética) del Gob. de Mendoza y la UNC Mza.
2. HERNÁNDEZ, Jorge - 1984 - Infiltración en el tramo Cacheuta - Cipolletti (Mendoza) - CRAS
3. BECERRIL Enrique - 1959 - La Regulación de los ríos - Consejo Sup. de Inv. Científicas - Madrid.
4. DI LELLO, Federico A. et al. septiembre 1996 - Evaluación por Multi-Atributos de los Recursos Hídricos y Energéticos de Mendoza (EMARHE)-CIT-Pvcia. de Mendoza - MIT y la UNCuyo -

PRINCIPALES ZONAS DE INFILTRACION- RIO MENDOZA



9. ESTUDIO DE LA REGULACIÓN DEL RÍO MENDOZA EN USPALLATA. Convenio entre el IPE y la Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza, septiembre de 1994. Director Ing. Di Lello, Federico.



**A-EVANGELISTA S.A.**  
**Servicios Petroleros**



**Certificado ISO 9002**



**LIDERES  
EN MANTENIMIENTO DE EQUIPOS DE  
SUPERFICIE**

**POOL INTERNATIONAL ARGENTINA S.A.**

Una Empresa de Nabors Drilling International



**SIEMPRE AL SERVICIO DE LA  
INDUSTRIA PETROLERA**

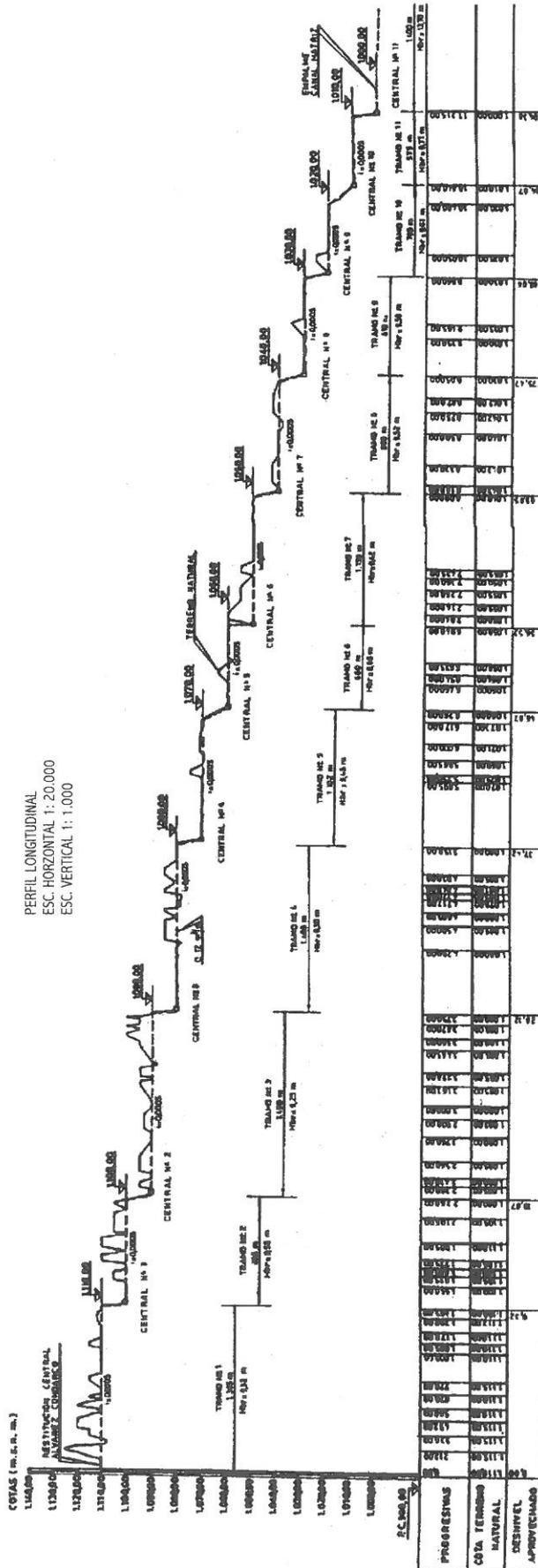
*Esim S.R.L es una empresa joven dedicada al **mantenimiento, reparación y construcción de elementos constitutivos de máquinas rotantes** y alternativas de las más variadas potencias.  
Orientada a prestar servicios a la industria de procesos continuos.*



*Esim S.R.L aplica en todos los niveles de la organización una adecuada capacitación para la implementación del “**Sistema de Aseguramiento de la Calidad**”, tomando como retores los requerimientos establecidos por la norma*

**IRAM/ IACC/ ISO 9002/94**

**Esim** S.R.L.



## División Inspección

### SISTEMA DE INSPECCIÓN DE TUBING EN BOCA DE POZO WELL CHEK TN

Mayor rapidez, mejores resultados, menor costo.

Rango 2 3/8", 2 7/8" y 3 1/2"

Detecta corrosión interna / externa, defectos transversales y desgaste uniforme localizado.

Informes precisos con datos relevantes para el ingeniero de producción (perfil de pozo).



## División Brandt

### UNIDAD TÉRMICA DE CALENTAMIENTO INDIRECTO

Nueva solución para la disposición de cuttings con base petróleo.

El sistema de Brandt THOR-8 (Thermal Oil Recovery) puede procesar unas 4.500 toneladas / mes de suelos y/o recortes contaminados con 25-35% en volumen de aceite y 20-30% en volumen de agua.

Los recortes procesados generalmente contienen menos de 10 ppm. de hidrocarburos totales al fin del proceso.



Buenos Aires  
Av. Corrientes 330 - Piso 5. Of. 516 - (C1043AAQ) Buenos Aires  
Tel.: 4394-3939/4599/6213/5881 - 4325-6375/4393 - 5921 - Fax 4394-4499

Base Campana  
Dr. Simini 250 (2804) Campana Tel.: 03489-433775

Base Neuquén  
Teodoro Planas 4301 - (8300) Neuquén - Tel.: 0299-4466018/0299 - 4466070

Base Comodoro Rivadavia  
Domingo Adano 98 - B° Industrial - (9000) Comodoro Rivadavia - Chubut  
Tel.: 0297 - 4480491/4480406 - Dto. 0297-4482332

Base Mendoza  
20 de Septiembre N° 89 (Esq. Santa María de Oro) - (5507) Mendoza  
Tel.: 0261-4985126/4985210

Base Tartagal  
España 364 - (4560) Tartagal Salta - Tel.: 03875-421549/422053

Tuboscope Servicios de Bolivia S.A.  
Km. 6 y 1/2 Carretera Antigua Cochabamba (Lado Casa Cotas)  
Santa Cruz - Bolivia - Tel.: 00-59-1-33553500/01 / 33554280 / 33554303

Tuboscope Do Brasil -MACAE-  
Avenida Amaral Peixoto s/n°, km 164.5 - Barrio Imboassica  
Macaé - RJ - CEP 27.920-340 - Tel.: 0055 222-773-0600 - Fax: 0055 222-773-0606

Tuboscope do Brasil Río de Janeiro  
R. Bartolomeu Portela N° 10 Apto. 302 Botafogo  
Río de Janeiro - CEP 22.290 - 190 - Tel.: 0055 21 2244 3770 - Fax: 0055 21 22443931

Tuboscope San Mateo: Tel.: 0055 273763 - 2268  
Rodovia Othavanno Daurte Santos - S/N° - Caixa Postal 53  
Barrio Carapina - San Mateos - ES. CEP.: 29930-000  
Castillo: 0055-22-9833-4714 / Sr. Jadiso: 0055-27-9988-2578

## • División Inspección no Destructiva

Inspección y recuperación de elementos de la columna de perforación.

Inspección de componentes del equipo de perforación.

Inspección y recuperación de tubing y varillas de bombeo.

Inspección de OCTG y line pipe nuevo en fábricas de tubulares.

Inspección y reparación de Risers marinos.

Auditoría de fabricación.

Vendor services

## • División Brandt

Servicio de Locación Seca y Control de Sólidos.

Alquiler y venta de equipos de Control de Sólidos.

Zarandas primarias y secadoras.

Acondicionadores de Lodo.

Equipos Hidrociclónicos.

Centrífugas Decantadoras bifásicas trifásicas.

Centrífugas de Discos.

Screens para zarandas.

Agitadores de fondos de piletas.

Separadores de Gas.

Servicios de Waste management.

Dewatering.

Tratamiento de aguas.

Thermal Desorption.

Cuttings Slurrification and Injection.

Biorremediación y Land Farming.

Limpieza de Fondos de Tanques de Producción.

Vortex TM Centrifugal Dryer.

Transferencia de sólidos por sistemas de vacío.

Closed Lopp/Zero discharge.

Mantenimiento y Operación de Plantas de Fluidos de Perforación.

## • División Pipeline Services

Inspección in line y soluciones integrales para ductos.

## • División Gator Hawk

Prueba de hermeticidad de conexiones en pozo.

**Tuboscope**  
A Varco Company

# Indice de palabras clave (Key Words)

(Revistas N° 41 y 42)

## Castellano

Acuíferos (42 - 33/42).  
Acumulación aireada (42 - 5/11).  
Agua Subterránea, Extracción de (41 - 5/16).  
Aprovechamiento hidroeléctrico (42 - 33/42).  
Automatización (42 - 27/32).  
Biorremediación (42 - 5/11).  
Conexiones de acero (42 - 13/26).  
Control (42 - 27/32).  
Diseño sísmico (42 - 13/26).  
Energía hidráulica (42 - 33/42).  
Espacios verdes, valoración (41 - 21/36).  
Geología Ambiental (41 - 5/16).  
Hormigón premoldeado (42 - 13/26).  
Infiltración (42 - 33/42).  
Intercambio con el medio (42 - 27/32).  
Land-farming (42 - 5/11).  
Micro- regional (41 - 17/20).  
Mini centrales hidráulicas (42 - 33/42).  
Ordenamiento Territorial (41 - 17/20).  
Paneles Prefabricados de Hormigón Armado (42 - 13/26).  
Parámetros ambientales (41 - 21/36).  
Pastal, Mendoza, el (41 - 5/16).  
Peligros Geológicos (41 - 5/16).  
Rural (41 - 17/20).  
Subsidencia Superficial (41 - 5/16).  
Suelos, Licuefacción de (41 - 5/16).  
Terremoto de Caucete (1977) (41 - 5/16).  
Urbano (41 - 17/20).  
Vegetación ambientalmente activa, índice (41 - 21/36).  
Vegetación, Cálculo ambiental (41 - 21/36).  
Vegetación, Cálculo volumétrico (41 - 21/36).  
Vegetación/habitante, índice Volumétrico (41 - 21/36).

## Inglés

Aereation accumulation (42 - 5/11).  
Automatization (42 - 27/32).  
Bioremediation (42 - 5/11).  
Caucete Earthquake, 1977 (41 - 5/16).  
Control (42 - 27/32).  
El Pastal - Mendoza (41 - 5/16).  
Environmental Geology (41 - 5/16).  
Environmentally active vegetation index (41 - 21/36).  
Environmental parameters (41 - 21/36).  
Environment interchange (42 - 27/32).  
Geological Hazards (41 - 5/16).  
Green spaces value (41 - 21/36).  
Ground-Water Withdrawal (41 - 5/16).  
Hidraulic minor plants (42 - 33/42).  
Hidraulic power (42 - 33/42).  
Hydroelectrical utilization (42 - 33/42).  
Infiltration (42 - 33/42).  
Land-farming (42 - 5/11).  
Micro-regional (41 - 17/20).  
Microbial behavior (42 - 5/11).  
Precast concrete (42 - 13/26).  
Precast reinforced concrete panels (42 - 13/26).  
Rural (41 - 17/20).  
Seismic design (42 - 13/26).  
Shallow Subsidence (41 - 5/16).  
Soil Liquefaction (41 - 5/16).  
Steel conections (42 - 13/26).  
Territorial arrangement (41 - 17/20).  
Urban (41 - 17/20).  
Vegetation ambiental calculation (41 - 21/36).  
Vegetation/inhabitant volumetric index (41 - 21/36).  
Vegetation volumetric calculation (41 - 21/36).  
Water bearings (42 - 33/42).



**Petrolera Santa Fe S.R.L.** trabajando en  
equipo con  
**Liderazgo y Responsabilidad en la protección del Medio  
Ambiente,**  
ha obtenido el **Certificado de Calidad Hídrica**  
en las operaciones del Yacimiento Tupungato Refugio.

Siguiendo el proceso de mejora continua  
hemos iniciado un Sistema de Gestión Ambiental  
trabajando en conjunto con la Dirección de Saneamiento  
y Control Ambiental de la Provincia de Mendoza.

**“La Mejor Manera de Generar las  
Transformaciones que la Sociedad Necesita es  
con la Suma de Todos”**

## **OFERTA DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNCUIYO**

- ✓ **MAESTRIA EN LOGISTICA** (Colaboran: Ecole Superieure Internationale de Logistique, Centre D'enseignement et de Recherche en Logistique, Ecole Nationale d'Ingenieurs de Metz, Université de Metz, Universidad de Santiago - Chile y Universidad Politécnica de Valencia - España).  
e-mail: doctorado.  
e-mail: logistk@raiz.uncu.edu.ar - web: www.uncu.edu.ar/master\_log
- ✓ **ESPECIALISTA EN INGENIERIA AMBIENTAL Y MAESTRIA EN INGENIERIA AMBIENTAL** (Auspicia: UNESCO y P.H.I., colabora Universidad Federico Santa María, Valparaíso - Chile).  
e-mail: ingamb@raiz.uncu.edu.ar - web: www.uncu.edu.ar/master\_mia
- ✓ **MAESTRIA EN TECNOLOGIA DE LA INFORMACION EN FABRICACION - CONTROL DE PROCESOS, ROBOTICA** (Colabora: Universidad Politécnica de Madrid, España; EUIT de Telecomunicación).  
e-mail: master.tif@raiz.uncu.edu.ar - web: www.uncu.edu.ar/master\_tif
- ✓ **MASTER IN INTERNATIONAL BUSSINESS** (en conjunto con la Facultad de Ciencias Económicas de la UNCuyo y de la Ecole Française de Ponts et Chaussées de Francia).
- ✓ **MASTER EN PETROLEUM ENGINEERING** (a distancia con la Universidad Heriot Watt de Edimburgo, UK).  
e-mail: amontes@raiz.uncu.edu.ar - web: www.uncu.edu.ar/master\_mip
- ✓ **DOCTORADO EN INGENIERIA** (Colaboran: Universidades Nacionales de San Luis, San Juan, Córdoba y La Plata; Universidad Politécnica de Madrid y Universidad Politécnica de Cataluña, España; Universidad de Maryland, USA; Universidad Católica de Chile; UFZ de Leipzig, Alemania y Universidad Central de Venezuela).  
e-mail: doctorado.ingenieria@cediac.uncu.edu.ar - http: //cediac.uncu.edu.ar/doctorado.htm  
web: www.cediac.uncu.edu.ar/doctorado.htm
- ✓ **MAESTRIA EN CALIDAD Y GESTION DE EMPRESAS** con Profesores de Pontificia Universidad Católica de Chile.  
e-mail: fing@raiz.uncu.edu.ar - web: www.uncu.edu.ar/master\_cge
- ✓ **MAESTRIA EN GESTION AMBIENTAL** acreditada ante CONEAU.  
e-mail: fing@raiz.uncu.edu.ar - web: www.uncu.edu.ar/master\_gam

I.S.S.N. 0326-1220



Impreso en Mendoza, República Argentina

Se terminó de imprimir el 27 de diciembre de 2004 en **INCA EDITORIAL Cooperativa de Trabajo Ltda.**  
F. Moreno 2164 - 5500 Mendoza - Telefax 54-261 - 4259161-4290409 - E.mail: incasterio@slatinos.com.ar

