

# Rumbos Tecnológicos

 Universidad Tecnológica Nacional  
Facultad Regional Avellaneda

Publicación de la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva

ISSN (versión impresa): 1852-7698 (versión en línea): 1852-7701. Volumen 2. Septiembre 2010



# Rumbos Tecnológicos

Publicación de la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva

**Rector de la Universidad  
Tecnológica Nacional**

Ing. Héctor Carlos Brotto

**Decano**

Ing. Jorge Omar Del Gener

**Secretario de Ciencia, Tecnología e  
Innovación Productiva**

Mgr. Ing. Lucas Gabriel Giménez

Volumen 2. Número 1.

Septiembre de 2010

ISSN (versión impresa): 1852-7698

ISSN (versión en línea): 1852-7701

Registro de Propiedad Intelectual: 803207

*Director*

*Dr. Isaac Marcos Cohen*

*Comité Editorial*

*Ing. Adriana Beatriz García*

*Lic. Rut Vieytes*

*Ing. Luis Muraca*

*Asesor*

*Lic. José A. Valentini*

*Colaboración Técnica*

*Victoria Senia*

*Diseño y Diagramación*

*Lic. Marina De Giobbi*

*Propietario*

*Facultad Regional Avellaneda*

*Av. Mitre 750 (CP 1870)*

*Avellaneda,*

*Provincia de Buenos Aires,*

*Argentina.*



Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Avellaneda

*Toda información, opinión o juicio vertidos en los trabajos publicados en Rumbos Tecnológicos es responsabilidad de sus autores y no constituye toma de posición por parte de la Facultad Regional Avellaneda. Se permite la reproducción parcial de los contenidos de esta publicación, previa solicitud a su Director.*

## ÍNDICE

Editorial .....	5
Nota del Director.....	7

### Artículos de investigación

- Optimización de la durabilidad de los pavimentos asfálticos a partir de un correcto control de calidad. .... 9  
*Autor:* Hugo Daniel Bianchetto
- Estudio sobre la optimización de las condiciones de producción en reactores de <sup>156</sup>Eu por activación de samario. .... 33  
*Autores:* María del Carmen Alí Santoro, María Celeste Fornaciari Ilijadica e Isaac Marcos Cohen.
- Modelos empíricos en la deshidratación osmótica de papas..... 57  
*Autores:* Patricia A. Della Rocca y Rodolfo H. Mascheroni.
- Nueva solución tecnológica para la provisión de energía eléctrica a poblados rurales mediante la utilización del acoplamiento capacitivo. .... 67  
*Autores:* Alejandro Cassinotti, Guillermo Cassinotti, Leonardo Melo, Juan Carlos Pitman, Pablo Rouca y Ariel Baez
- Polinomio consolidador de indicadores de calidad universitaria. .... 89  
*Autores:* Lucas Gabriel Giménez, Julián Vela, Christian Karlovich, Sebastián Giménez y Diego Iglesias.
- Aplicación de residuos de polímeros como aporte al desarrollo de modelos constructivos ecológicos. .... 95  
*Autores:* Adriana Beatriz García y Juan Pablo Mazzeo

### Notas técnicas

- La recolección de los residuos sólidos urbanos mediante camiones y las consecuencias físicas que padecen sus operarios..... 111  
*Autores:* Miguel Ángel Risetto, Alejandro Jaromezuk, Héctor Federico Vives, Juan José Balgac, Ana María Vives y Walter Gurrera.
- Armadura mínima de tracción en secciones de hormigón armado solicitadas a flexión.....127  
*Autor:* Eduardo Velenik Velleni

Instrucciones para los Autores .....	149
--------------------------------------	-----



## EDITORIAL

“Cuando se publicó mi anterior volumen de cuentos, *The Times* encabezó su comentario con el título *Lo Mismo de Siempre*. Ello, por supuesto, iba dicho en sentido despectivo, pero yo no lo he tomado de tal manera. Así, pues no he tenido inconveniente en usar ese título para la presente colección que brindo al público lector”. Las palabras del párrafo precedente pertenecen a William Somerset Maughan y fueron escritas más de medio siglo atrás, en ocasión de la edición del que fuera su último volumen de cuentos.

La presentación del segundo número de *Rumbos Tecnológicos* deja abierta la oportunidad de formular una reflexión que tiene mucho de paralelo. Desde la generación de la idea inicial para la elaboración de una publicación, nuestro propósito fue la construcción de un producto de calidad, que garantizara su nivel a través del sistema de arbitraje, que interesara al lector a partir de la variedad y la riqueza de los temas a ser tratados y que fuera un mecanismo adecuado para la difusión de la labor de nuestros investigadores, siendo a la vez abierta a los trabajos de otras fuentes. Cumplir en cada número con tales ambiciosos objetivos implica nada menos que llevar a feliz término lo mismo de siempre, con todo el valor que ello representa.

Hace sólo un año veíamos que se cristalizaba nuestro proyecto; hoy, la aparición de un nuevo número de *Rumbos Tecnológicos* nos permite verificar que estamos transitando un camino. Un camino donde la pretensión de brindar lo mismo de siempre sólo será reemplazada por la de ofrecer aún más.

*Ing. Jorge Omar Del Gener*  
*Decano*



## NOTA DEL DIRECTOR

El número de Rumbos Tecnológicos que hoy llega al lector contiene seis artículos de investigación y dos notas técnicas. De estas ocho contribuciones, dos fueron escritas como parte de trabajos finales en sendas carreras de posgrado, mientras que las restantes tuvieron origen en proyectos de investigación y desarrollo ejecutados en el seno de la Universidad Tecnológica Nacional.

Es oportuno hacer referencia a la trascendencia de la labor que sostiene a estas investigaciones, como lo prueban dos ejemplos que se mencionarán a continuación. En relación con la generación comunitaria rural, las presentaciones del grupo de trabajo merecieron el segundo puesto en el Segundo Concurso Técnico-Científico Internacional Biel Light + Building, realizado en Buenos Aires en noviembre de 2007, y el primer puesto en el Décimo Tercer Encuentro Regional Iberoamericano de CIGRE (International Council on Large Electric Systems), celebrado en Iguazú, en mayo de 2009. Adicionalmente, la presentación de la aplicación de residuos de polímeros para el desarrollo de modelos constructivos mereció el primer puesto en la categoría Proyectos de Investigación de la Feria de Proyectos de Ciencia y Tecnología 2010, llevada a cabo en junio, en la Facultad Regional Buenos Aires.

Quienes estamos vinculados a Rumbos Tecnológicos agradecemos a todos los autores la elección de nuestra publicación como medio para la difusión de sus trabajos.

*Dr. Isaac Marcos Cohen*



## OPTIMIZACIÓN DE LA DURABILIDAD DE LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS A PARTIR DE UN CORRECTO CONTROL DE CALIDAD

**Hugo Daniel Bianchetto**

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Avellaneda, Av. Ramón Franco 5050 (1874) Villa Domínico, Prov. de Buenos Aires, Argentina

*Correo electrónico:* [hbianchetto@fra.utn.edu.ar](mailto:hbianchetto@fra.utn.edu.ar)

Recibido el 28 de abril de 2010; aceptado el 30 de junio de 2010.

### Resumen

En pavimentación asfáltica, el término “durabilidad” está relacionado con la capacidad de las capas bituminosas de mantener sus propiedades deseables durante su periodo de servicio.

Los factores que tienden al deterioro son variados: diseño inadecuado, tráfico imprevisto o no controlado, materiales y procesos constructivos incorrectos y agentes meteorológicos. Los efectos son múltiples, destacándose la pérdida de adherencia árido-ligante, el envejecimiento y las fallas por fatiga, que acotan la vida útil y conllevan implicancias económicas, medioambientales, de confort y de seguridad.

El instrumento disponible por la tecnología para retardar los daños es el control de calidad, que debe ejercerse desde el proyecto hasta varios años después de inaugurada la vía.

En este trabajo se analizan los causales de daños prematuros en los pavimentos asfálticos, sus consecuencias y, especialmente, los beneficios que otorga una supervisión eficiente de los procesos productivos. Se consultó la bibliografía que versa sobre la temática, se compilaron las investigaciones realizadas por el autor en la materia y se repasaron casos reales en los cuales el autor participó. Los resultados demuestran cuali y cuantitativamente las ventajas de efectuar un adecuado control de calidad, herramienta poderosa e imprescindible para prolongar el tiempo de prestación de los caminos.

**Palabras clave:** pavimentos asfálticos, control de calidad, durabilidad, deterioros, vida útil

### Abstract

In asphalt paving, the term “durability” is related to the capacity of bituminous layers to maintain their desirable properties during the period in service.

Diverse factors tend to deterioration: inadequate design, unexpected or not controlled traffic, incorrect material, wrong constructive processes and meteorological agents. The effects are multiple, specially the loss of adhesion binder-aggregate, the aging and the fatigue failure, which limit the life utility and cause economic, environmental, comfort and security consequences.

The instrument available by technology to slow down the damages is quality control, which must be exerted from the project to several years after the road outset.

In this work the causes of premature damages in asphalt pavements and their consequences are analyzed, as well as the benefits that an efficient supervision of the

constructive processes grants. Bibliography concerning this thematic was consulted, investigations made by the author in the matter were compiled and real cases with his own participation were reviewed. The results demonstrate the qualitative and quantitative advantages obtained by a suitable quality control as a powerful and essential tool to prolong the life utility of roads.

**Keywords:** asphalt pavements, quality control, durability, damages, life utility

## Introducción

La Norma IRAM ISO 9000:2000, actualizada en el año 2008, expresa que la calidad es el “grado en el que un conjunto de características inherentes cumple con los requisitos”, indicando a su vez que un requisito es la “necesidad o expectativa establecida, generalmente implícita u obligatoria”.

La definición permite suponer que, debido a tal “necesidad”, habrá un límite que deberá alcanzar el elemento cuya calidad se pretende verificar (Merchán Gabaldón, 1995). Cualquier producto que no respete este nivel debería ser, por definición, desechado.

Hacia la primera mitad del siglo XX, el control de calidad consistía en aceptar los productos que estaban dentro de las normas establecidas y rechazar los que no las cumplían; se verificaban materiales, productos y servicios mediante la inspección y el control en laboratorio o campo, pero no se buscaban ni se eliminaban las causas del error. Después de la Segunda Guerra Mundial se desarrollaron métodos estadísticos, buscando los orígenes de los defectos.

Actualmente se utiliza la “gestión de la calidad”, que plantea un objetivo de *calidad total*, basándose en la colaboración de todos los componentes de la empresa para conseguir la filosofía de “cero defectos”: la calidad se plantea, entonces, como una estrategia empresarial, por lo que se ha convertido en un elemento fundamental para el aumento de competitividad de la oferta productiva; esta realidad obliga a la administración pública a definir y aplicar una política adecuada de calidad y a las empresas a mejorarla continuamente para asegurar su supervivencia a largo plazo.

En la industria de la construcción, las carreteras han constituido el sector más postergado en admitir la importancia de la calidad y en implantar este nuevo concepto mediante la aplicación de un sistema de aseguramiento de la calidad. La razón principal es que, a diferencia de los emplazamientos industriales fijos, las obras viales son, por naturaleza, nómades y de corta duración; además, es importante mencionar que la cultura oral que prevalece en esta profesión es un hábito perjudicial que demoró la adaptación al carácter de las nuevas modalidades.

Etimológicamente, y ateniéndose a la definición aportada por los diccionarios y al significado frecuente que se le otorga, podría decirse que “control de calidad” es “la comprobación de las cualidades de un producto”. En el ámbito ingenieril, la palabra “control” suele ser sinónimo de supervisión, inspección o auditoría. En particular, en la ingeniería de caminos, dicho control está fuertemente ligado a la ejecución de una serie de ensayos y de actuaciones concretas que tienden a corroborar el proceso productivo y el estado final del producto terminado, es decir, de la obra.

El alcance de las normas y las especificaciones para las obras de carreteras es un motivo de discusión permanente, especialmente durante la ejecución de los trabajos y

más aún cuando surgen situaciones conflictivas en las cuales se ponen en consideración intereses contrapuestos entre el constructor y el encargado de la supervisión.

Fernández del Campo (2004) expresaba que “la calidad puede valorarse de muy distintas formas y en algunos casos es difícil tener criterios puramente objetivos e independientes”. También afirma que es imprescindible “la labor y la formación de ingenieros responsables y el análisis inteligente de todo lo que influye en cada caso”. Es interesante analizar estos conceptos: el hecho de tener criterios objetivos e independientes hace suponer que todos y cada uno de los actores que participan en una obra vial (comitente, contratista, subcontratistas, supervisores) deben anteponer sus ambiciones netamente personales en pos de lograr que la obra se ejecute “en tiempo y forma”, atendiendo a las reglas del buen arte, es decir, respetando la calidad durante todos los procesos productivos, las dimensiones proyectadas y el plazo estipulado de ejecución, garantizando de tal modo la vida útil en servicio y las condiciones de confort y de seguridad previstas. En este juego de intereses individuales y colectivos, en el cual aparecen cuestiones no sólo técnicas y económicas sino también morales y éticas, es donde el encargado de la supervisión debe officiar a modo de árbitro imparcial y equilibrado, velando por la concreción final y correcta de la obra.

En 2002, Gonzalo Perera, maestro de inspectores viales en Argentina, ejemplificaba en unas pocas frases cómo debería llevarse a cabo el control de calidad durante los procesos productivos: “El inspector de obras debe controlar la correcta ejecución del proyecto. En sus manos se halla la responsabilidad de que el mismo se plasme en la calidad con que fue concebido.... La vida útil considerada en el proyecto debe estar garantizada por la correcta ejecución. Las previsiones normales para su mantenimiento, conservación y mejoramiento no deben ser alteradas por una deficiente ejecución”.

Una carretera es una obra en la cual intervienen materias primas de diversos orígenes, que debe respetar un proyecto que atiende a una infinidad de aspectos propios de la finalidad directa de la obra vial a ejecutar y también detalles complementarios de diversa índole (por ejemplo: señalizaciones, recaudos ambientales y de seguridad, desvíos durante la etapa constructiva, obras hidráulicas conexas, etc.) y que debe plasmarse a través de procesos constructivos de disímil complejidad y envergadura, desde la limpieza del terreno hasta la compactación y el librado al tránsito de la carpeta de rodamiento. Es decir, se trata de un conjunto concatenado de etapas que no deberían valorarse aisladamente, sino de una forma coordinada según sus influencias en el producto terminado final.

También conviene efectuar algunas consideraciones acerca de las incidencias económicas que en una obra puede llegar a tener el control de calidad. En este punto, el problema debería plantearse a la inversa: cuál es el perjuicio (en costos y en tiempos) de no efectuarse una supervisión adecuada. Es posible que una mala ejecución signifique menor vida útil, con la necesidad de mayores tareas de mantenimiento y de rehabilitación; pero también puede conllevar a deficientes condiciones de confort y de seguridad para el usuario, difícilmente cuantificables en dinero (¿Cuánto vale, en términos monetarios, la tranquilidad y la comodidad del conductor?... ¿Qué costo tiene, si es que moralmente puede ponderarse, una vida humana, más allá de lo que estipulen los nomencladores de las compañías de seguros?). Por eso deben implementarse sistemas de control de calidad cuyo nivel de exigencia contemplen, en primera instancia, ese compromiso entre costo y beneficio, aunque en general su incidencia en el precio final de la obra es mínimo comparado con las ventajas que se obtienen; es decir, difícilmente un ejercicio contable

podrá determinar que la calidad es onerosa si se tienen en cuenta convenientemente las utilidades derivadas de una carretera bien construida, si se considera que el presupuesto de una obra incluye las tareas que se realizan durante su construcción y durante toda su vida útil, y si se acepta que un camino es un bien público y no un mero producto rentable de consumo.

## **El control de calidad en la Ingeniería Vial**

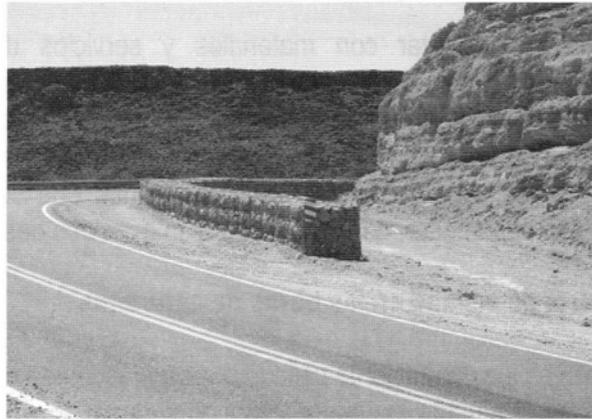
### **Modalidades que se aplican. El caso argentino**

Hasta hace unos años, las reparticiones viales eran las que tomaban a su cargo las tareas de contralor, ya fuera con equipos de inspección propios o a través de contratos con empresas consultoras. Mediante este esquema, la relación comitente-inspección-contratista estaba rígidamente delimitada: el comitente encomendaba al contratista la ejecución de una obra, la cual era controlada por un grupo de inspección encargado de interpretar y hacer cumplir las pautas de aceptación o rechazo establecidas en los pliegos, proponer o evaluar en primera instancia modificaciones y verificar las mediciones para las certificaciones. En ciertas obras de complejidad superior, compuestas por varios tramos o lotes, era usual disponer de un equipo de inspección por cada unidad y una supervisión general.

Últimamente, en nuestro país se ha establecido una nueva forma de contralor, mediante la cual se otorga a la empresa constructora la responsabilidad de efectuar un autocontrol de calidad de sus procesos constructivos. Tal tendencia se sustenta en las experiencias europeas y norteamericanas y se aplica en las modalidades de las obras por concesión o con financiamiento privado, como los "Contratos de Recuperación y Mantenimiento" ("C.Re.Ma."; Figura 1), que inducen a la empresa constructora a interesarse especialmente en la calidad del producto ejecutado. Esto se debe a que ella misma tendrá a cargo la explotación económica del camino (por el sistema de peaje) durante una determinada cantidad de años y porque al finalizar la concesión deberá entregar la vía a la repartición cumpliendo ciertos parámetros estructurales y de regularidad superficial que serán corroborados mediante una evaluación técnica del estado del camino.

El comitente, sin embargo, no se desentiende de la calidad, pues cuenta con órganos de control que realizan una especie de fiscalización activa.

El mecanismo posee su lógica, dado que la concesionaria necesita tener la carretera en buenas condiciones durante todo el período del contrato para no recibir sanciones (indefectiblemente económicas) de parte de la administración.



**Figura 1. Malla C.Re.M.A. 131, Ruta Nacional N°40, Neuquén**

La materialización de un sistema adecuado de control de calidad es una herramienta poderosa para la gestión eficaz, no sólo de la calidad del producto que se fabrica, sino también para las operaciones de negocios de las empresas y para el prestigio de las reparticiones públicas, pues permite mejorar los ingresos y la credibilidad. Este concepto está bien arraigado en los países del mundo desarrollado. Pero en las naciones en vías de desarrollo el control de calidad sigue siendo visto, en general, más un obstáculo que una ayuda a la producción. Tal afirmación es especialmente aplicable a la industria vial, aun cuando existe una larga tradición en la supervisión de obras de caminos en la Argentina. Probablemente, como afirmaban la ONU y la Organización Mundial de Comercio en 1996, el mayor inconveniente radica en que muchos organismos no son totalmente conscientes de las ventajas económicas y técnicas que derivan de elaborar productos y ofrecer servicios de alta calidad. Es decir, la calidad se considera un "objetivo deseable socialmente", pero erróneamente se la ve nociva desde el punto de vista de la rentabilidad.

Una circunstancia adicional que se plantea a la hora de implementar un sistema de aseguramiento de la calidad en la industria caminera es el de la aparición de nuevas tecnologías, a las que comúnmente se las designa como "de última generación". Un ejemplo cercano es la relativamente reciente irrupción en el mercado de los asfaltos modificados con polímeros y de las nuevas tipologías de mezclas bituminosas derivadas de su uso: muchos profesionales y técnicos de las empresas contratistas y funcionarios de las reparticiones públicas eran reticentes a tener que adoptar modalidades de trabajo distintas a las que habitualmente practicaban, como por ejemplo aumentar las temperaturas de mezclado y compactación hasta valores impensados para las mezclas tradicionales (170 °C o incluso más), emplear secuencias de compactación diferentes o tomar recaudos extremos en el manipuleo, el almacenaje y el bombeo del asfalto en planta, además de las dificultades que surgen de trabajar con mezclas abiertas o de pequeño espesor; más aún, desconfiaban de la real utilidad de estas mezclas que, además, son más caras que las convencionales, y temían no cumplir con los de los objetivos previstos para la obra y con los requisitos de calidad. Fue necesario persuadir y demostrar la factibilidad de construcción y las ventajas que se obtienen con estos pavimentos. Afortunadamente, el uso de estas tecnologías se ha tornado en la actualidad una alternativa habitual en Argentina.

Por último, es necesario admitir que en los países en desarrollo, como el nuestro, las empresas deben enfrentarse a muchas dificultades, entre ellas, carecer de

infraestructura suficiente y contar con materiales y servicios de mantenimiento y calibración de calidad incierta. En muchos casos, la principal preocupación es la producción cuantitativa, aunque eso signifique no respetar las especificaciones técnicas. Por eso deben extremarse los recaudos, exhortando a las contratistas a que entiendan y apliquen efectivamente los conceptos de gestión de calidad que suelen pregonar pero que, incongruente y peligrosamente, a menudo soslayan e incluso desalientan.

### **Las etapas del control de calidad en las obras de carreteras**

En las obras viales los controles de calidad pueden resumirse en estudios, ensayos, mediciones u observaciones sobre los materiales y el equipamiento a emplear, el proceso constructivo y el producto terminado. Esta secuencia suele seguirse, en mayor o en menor medida, en la construcción de caminos, pero tendiendo a efectuar conformidades o desaprobaciones parciales sin analizar el concepto de calidad derivado de la integración de todos los procesos comprendidos.

Muchos ejemplos pueden avalar lo antedicho. Uno de ellos es el criterio de aceptación o rechazo de un material dado (pongamos por caso, el agregado grueso para una mezcla bituminosa tipo "base granular asfáltica") que no cumple con un determinado requisito (por ejemplo, Desgaste Los Ángeles < 30) estipulado en el pliego de condiciones técnicas de la obra, en tanto que, contrariamente, el producto final (la mezcla bituminosa) satisface plenamente los requerimientos del pliego, demostrando que es escasamente susceptible al parámetro incumplido, pues durante la elaboración en planta, la carga, el transporte, la extensión y la compactación, el árido demuestra no sufrir los efectos del desgaste y, además, por el hecho que, en su etapa de servicio tal mezcla no estará sujeta a la acción directa del tránsito por constituir una capa de base y no una carpeta de rodamiento. Ante tal disyuntiva y a sabiendas que en la región donde se localiza la obra sería difícil conseguir áridos con un desgaste inferior al exigido... ¿Cuál debería ser la actitud de la supervisión de las obras?.

La premisa que debe regir a toda tarea de inspección es que la obra se ejecute "en tiempo y forma"; en tal sentido, permitiendo a la contratista emplear el material en cuestión, controlando minuciosamente la mezcla que con él se fabrica y corroborándose que se cumple con las demás características prescriptas, no se estará degradando la calidad final de la base y, además, será posible proseguir con el plan de trabajos e inversiones previstos. A cambio del permiso otorgado, la empresa podría comprometerse, por ejemplo, a incrementar el espesor de dicha capa o a emplear un filler de mejor calidad en la capa superior, favoreciéndose las condiciones estructurales y de rodamiento.

En las tareas previas, el control de calidad está relacionado con la búsqueda y la explotación de yacimientos y canteras de materiales pétreos y suelos y la selección de proveedores de materiales de fabricación industrial (ligante asfáltico, filleres, aditivos) el establecimiento y el mantenimiento del obrador (acopio de agregados; ubicación, implantación y funcionamiento de las instalaciones fijas, como las plantas de trituración de áridos, de elaboración de hormigón y de mezclas asfálticas, tanques de almacenamiento, talleres, laboratorio, etc.) el replanteo topográfico, la revisión del plan de trabajos e inversiones y la verificación de las fórmulas de trabajo (estabilizados, mezclas bituminosas, hormigones). En esta fase preliminar deberán verificarse los métodos constructivos, especialmente si se prevé utilizar procedimientos, tipologías de materiales o maquinaria no habituales o novedosos (Bianchetto, 2005a).

Durante la ejecución de las obras es posible que deban repetirse algunas de las intervenciones enunciadas en las etapas previas, especialmente si se produce algún cambio en las características o en el origen de algunos de los materiales, o se cambia alguna planta elaboradora. A estas actividades deben sumarse las que corresponden al proceso constructivo propiamente dicho: ejecución de desmontes y terraplenes; capas de suelo (mezcla de materiales en cancha, caballetes, transporte, perfilado, compactación); cunetas y desagües; obras de arte; ejecución de capas estructurales granulares, bituminosas y de hormigón (elaboración, transporte, extendido, compactación, calibración de plantas).

El control sobre el producto terminado se materializa en la verificación de cotas (nivelación topográfica y determinación del espesor de las capas), terminación o regularidad superficial y algunos otros parámetros particulares como la resistencia mecánica, la densidad y el espesor del pavimento; además, controles específicos sobre obras complementarias, como la señalización vertical y horizontal, las barandas y elementos de seguridad, iluminación, parqueización, etc.

El control de calidad durante las tareas de mantenimiento, rehabilitación y mejoras comprende todas o varias de las actividades antes mencionadas, dependiendo de la magnitud y la importancia de los trabajos a efectuarse y teniendo en cuenta que se trata de actuaciones sobre una obra pre-existente. La gestión de la conservación del camino es una fase fundamental para asegurar las condiciones de serviciabilidad (que comprenden el estado funcional y la capacidad estructural del pavimento y la seguridad de los usuarios) y prolongar su vida útil (Figura 2).



Figura 2. Trabajos de rehabilitación: fresado, sellado de fisuras y recapado con mezcla asfáltica

## El concepto de durabilidad en pavimentación asfáltica

El concepto tradicional de “durabilidad” en las mezclas asfálticas se asocia a dos factores que tienden a su degradación: el envejecimiento del asfalto y la pérdida de adherencia árido-ligante por efecto del agua.

El envejecimiento de un ligante bituminoso convencional obedece a dos causas fundamentales: la oxidación y la pérdida de los compuestos más livianos por volatilización; en los asfaltos modificados con polímeros debe incluirse también la descomposición de su estructura molecular, ya sea por entrecruzamiento de cadenas o por escisiones en el reticulado polimérico. Las elevadas temperaturas de elaboración y los agentes climáticos (especialmente el calor, el aire y las radiaciones solares) son los principales responsables de este factor de deterioro.

La pérdida de adherencia entre los áridos y la película de ligante que los recubre ("desenvuelta" o "*stripping*") se debe a los efectos del agua en la interfase y su ocurrencia suele responder a problemas de afinidad físico-química entre el material pétreo y el bituminoso.

Una acepción ampliada del significado del término "durabilidad" considera la resistencia ante otras variables intervinientes que atentan contra la vida útil de los pavimentos: fatiga (cargas del tránsito y sollicitaciones térmicas), que se traduce en fisuras y en deformaciones; pérdida de la resistencia al deslizamiento superficial por exudaciones de ligante o por pulimento de los áridos; desprendimientos de partículas por excesiva textura superficial debido a subcompactación, a segregaciones térmicas y granulométricas o a la incidencia de clavos y cadenas de neumáticos en vialidad invernal; disminución de la porosidad en pavimentos drenantes y de la macrotextura en microaglomerados y Stone Mastic Asphalt, etc.

En esta presentación se expondrán los resultados y los corolarios de algunas investigaciones llevadas a cabo en los últimos años por el autor en la Universidad Tecnológica Nacional y en la Universidad Nacional de La Plata, con el fin de optimizar la durabilidad de las mezclas bituminosas para pavimentación, lo cual equivale a garantizar como mínimo la vida útil prevista en el proyecto y, por ende, administrar criteriosamente los fondos asignados, mejorar las condiciones de seguridad vial y utilizar racionalmente los recursos naturales que se emplean.

## **Experiencias relacionadas con la adopción de controles de calidad para la optimización de la resistencia al envejecimiento y de la adherencia árido-ligante. Metodologías empleadas, resultados y discusión**

### **Optimización de la resistencia al envejecimiento**

El envejecimiento de las mezclas asfálticas se debe, fundamentalmente, a la degradación del ligante bituminoso. En un orden cronológico, comienza durante la fabricación del aglomerado en las plantas asfálticas cuando el efecto del "choque térmico" con los áridos calientes provoca la volatilización de los componentes livianos; inmediatamente después se inicia la oxidación, favorecida por el pequeño espesor de la lámina de asfalto que recubre a los áridos y por su exposición en un ambiente donde coexisten altas temperaturas y aire. Las causas de envejecimiento prematuro o "a corto plazo" se prolongan durante el transporte, el extendido y la compactación. Luego, durante su vida de servicio en el pavimento, continúa un envejecimiento "a largo plazo" por acción de la temperatura ambiente, el aire y las radiaciones solares.

La estructura molecular del asfalto está compuesta predominantemente por carbono e hidrógeno, con pequeñas cantidades de sulfuros, nitrógeno y oxígeno que constituyen formas heterocíclicas y cuya presencia da origen a los denominados “centros de reacción activa”. Otros elementos presentes en el asfalto, como los metales de transición níquel y vanadio, pueden actuar como catalizadores de la reacción de oxidación que da como resultado la formación de compuestos de mayor peso molecular y el consiguiente endurecimiento del material.

La temperatura de mezclado en la planta elaboradora es crítica, pues influye en el aumento de consistencia del ligante; la tasa de reacción de oxidación, por encima de los 93 °C, se duplica cada 14° C, y la volatilización de las fracciones ligeras está asimismo facilitada por el incremento de temperatura. Los tiempos de mezclado y de permanencia de la mezcla en caliente hasta su compactación también coadyuvan al envejecimiento prematuro, que actúa en detrimento de las cualidades deseables del asfalto.

Para la resistencia al envejecimiento a corto plazo deben tomarse ciertos recaudos; en especial, existen tres medidas sencillas y notablemente beneficiosas: controlar las temperaturas de producción; optimizar los tiempos de ejecución; e incorporar filleres activos, en especial los de origen cálcico.

Un estudio efectuado en la Facultad Regional Avellaneda de la Universidad Tecnológica Nacional permitió evaluar la influencia que la temperatura de fabricación ejerce sobre el envejecimiento a corto plazo, en una mezcla asfáltica densa para pavimento urbano (Bianchetto y Asurmendi, 2007). Se variaron las temperaturas de elaboración (135° C y 160° C) y además se consideró la inclusión o no de cal como filler (en una proporción de 1% en peso de la mezcla). Para la experiencia se dispuso de una planta asfáltica discontinua, con un tiempo promedio de 3 horas entre la carga del camión en planta y el inicio de la compactación en el frente de obra. Las muestras se tomaron “a cola de terminadora”, antes de la extensión de la mezcla.

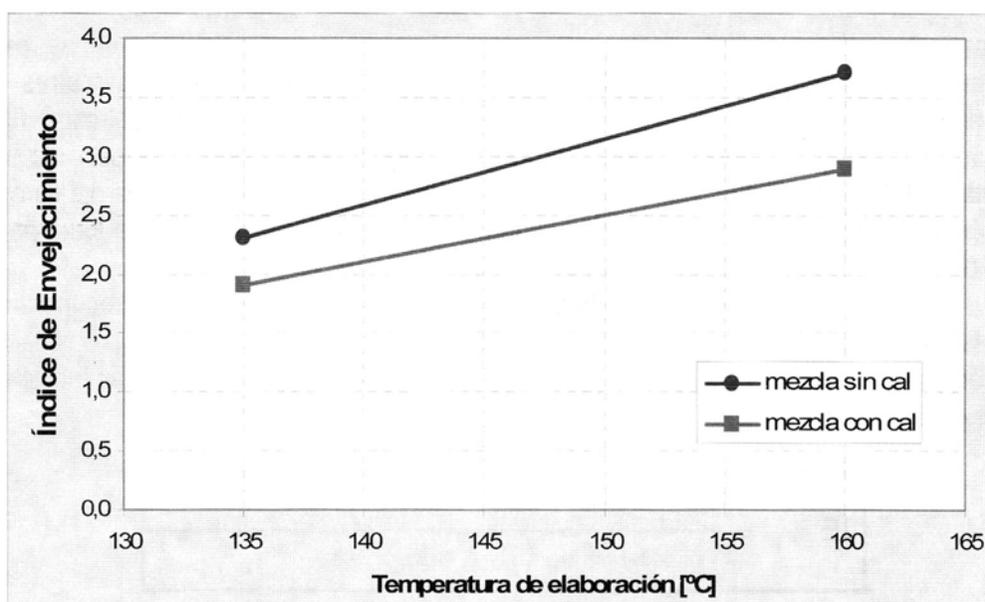
Se estudió el perfil de viscosidades del asfalto virgen y de los asfaltos recuperados de las mezclas mediante destilación controlada, y las variaciones de algunas propiedades mecánicas de las mezclas. Entre los parámetros considerados se alude al Índice de Envejecimiento, IE:

$$IE = \frac{\text{Viscosidad rotacional } (\eta) \text{ a } 60^{\circ}\text{C, ligante envejecido en mezcla}}{\text{Viscosidad rotacional } (\eta) \text{ a } 60^{\circ}\text{C, ligante virgen}}$$

Tomando como variable la consistencia, se obtuvieron resultados cuali-cuantitativos que denotan la importancia del control de las temperaturas de mezclado. Se observa claramente en la Tabla 1 cómo el asfalto “envejece” (endurece, aumenta su consistencia, ya sea medida como “penetración” o como “viscosidad”) según aumenta la temperatura de elaboración; el parámetro IE sintetiza tales cambios y su evolución está graficada en la Figura 3.

**Tabla 1. Resultados de ensayos sobre los ligantes en estudio, evolución del envejecimiento**

Ligante asfáltico Origen	Penetración [mm/10]	$\eta$ [Poise]		IE
		60 °C	135 °C	
Virgen, muestra de acopio	57	2500	4.5	1.0
Recuperación controlada, mezcla elaborada a 135 °C, con cal	38	4800	6.0	1.9
Recuperación controlada, mezcla elaborada a 135 °C, sin cal	30	5650	6.5	2.3
Recuperación controlada, mezcla elaborada a 160 °C, con cal	28	7200	6.9	2.9
Recuperación controlada, mezcla elaborada a 160 °C, sin cal	21	9360	7.7	3.7



**Figura 3. Influencia de la temperatura de elaboración y del contenido de cal en el IE del asfalto, después de envejecimiento a corto plazo de las mezclas**

La Tabla 2 muestra la variación de parámetros mecánicos de probetas Marshall moldeadas con las mezclas en estudio; para analizar lo referente a la influencia de la temperatura de fabricación, véanse los resultados de las muestras N°1 y N°3, en especial la “relación estabilidad/fluencia” que es indicadora de la rigidización por endurecimiento del ligante.

Tabla 2. Resultados de ensayos Marshall de las mezclas en estudio

Muestra N°	Temperatura elaboración [°C]	Adición de cal	Ensayo Marshall		
			Estabilidad [kg]	Fluencia [mm]	Relación E/F [kg/cm]
1	135	SI	1214	2.90	4190
2	135	NO	1300	2.90	4480
3	160	SI	1300	2.65	4910

Respecto de la importancia de acotar los tiempos de los procesos constructivos para disminuir los riesgos de envejecimiento prematuro, la Figura 4 (Asurmendi y Bianchetto, 2007) describe la evolución del IE según el tiempo de permanencia en caliente para la mezcla sin cal elaborada a 135°C, representativa de lo que sucede durante el transporte, la extensión y la compactación. El valor inicial (IE ~1,6) se debe exclusivamente a la fabricación de la mezcla. Luego, hay un aumento cuasi lineal que ofrece un dato de interés para la casuística presentada: el IE se duplica con menos de 4 horas de permanencia de la mezcla a elevada temperatura.

Los beneficios que aporta la incorporación a las mezclas de un filler cálcicos como la cal, en lo relativo a resistencia al envejecimiento, se pueden evaluar también en las Tablas 1 y 2 y en la Figura 4: a igual temperatura de elaboración, la mezcla con cal (apenas el 1% en peso del total de la mezcla) envejece menos que aquella que no la tiene, hecho manifestado por su menor endurecimiento y en un valor más bajo de la relación “estabilidad-fluencia”.

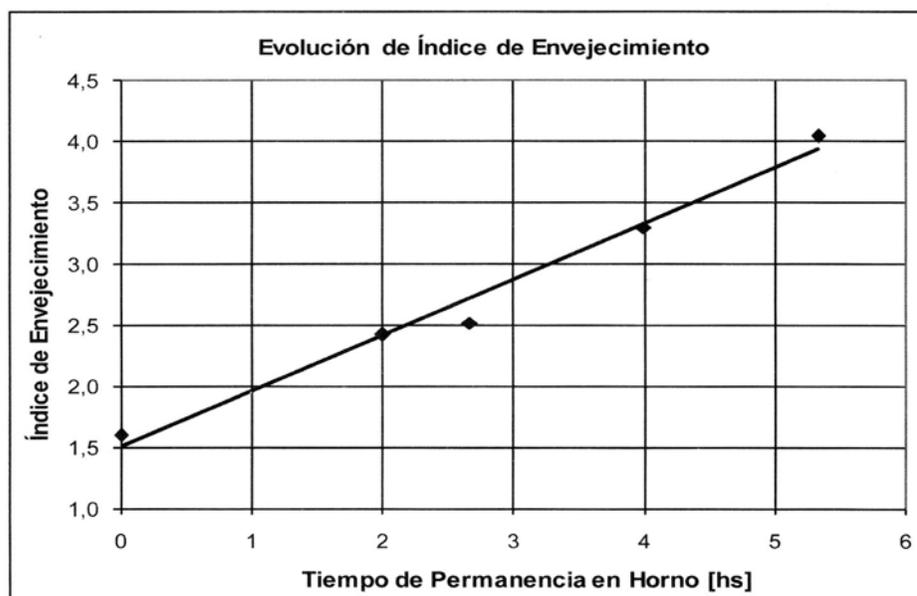


Figura 4. Evolución del IE en laboratorio según el tiempo de permanencia de la mezcla en estado caliente a temperatura constante (corresponde a la mezcla fabricada a 135°C)

Desde un punto de vista más funcional e integral, los estudios efectuados empleando el Método Universal de Caracterización de Ligante, UCL<sup>®</sup>, de la Universidad Politécnica de Cataluña (Bianchetto, 2005b; Bianchetto *et al.*, 2007) permiten un análisis cuali-cuantitativo de las ventajas de un empleo racional en las mezclas bituminosas de filleres cálcicos como la cal. El procedimiento, directo y sencillo, está basado en la aplicación del ensayo Cántabro; evalúa las propiedades funcionales del ligante determinando el grado de cohesión que proporciona a una mezcla patrón y cómo esta cualidad varía con la temperatura, la acción del agua y el envejecimiento. Esta tecnología constituye una novedosa herramienta para clasificar y cotejar distintos asfaltos para una determinada obra de pavimentación, diferenciando el comportamiento de los ligantes, incluso de aquellos que poseen propiedades similares según la caracterización tradicional. En el presente trabajo se la utiliza para evaluar cómo influyen el envejecimiento y la susceptibilidad térmica en la cohesión. Se elaboró una mezcla patrón con granulometría de áridos comprendida entre los tamices N°4 y N°30 y un asfalto convencional caracterizado como 70/100 por penetración o CA-10 por viscosidad, moldeándose probetas Marshall con un contenido de ligante de 4,5% en peso y obteniéndose vacíos del orden de 28%. Se adicionó cal hidratada como filler, en proporciones variables de concentración volumétrica  $C_v$  en relación con su concentración crítica  $C_s$ ; según los clásicos y vigentes estudios de Ruiz (1947); para que la mezcla no se rigidice en exceso y se torne peligrosamente frágil,  $C_v$  no debería superar a  $C_s$ .

Con distintas temperaturas de ensayo (desde  $-10^{\circ}\text{C}$  hasta  $70^{\circ}\text{C}$ ) y diferentes tiempos de envejecimiento en laboratorio (0, 2 y 7 días, a  $80^{\circ}\text{C}$  en horno con ventilación forzada), se llevó a cabo el desarrollo experimental (Figura 5).

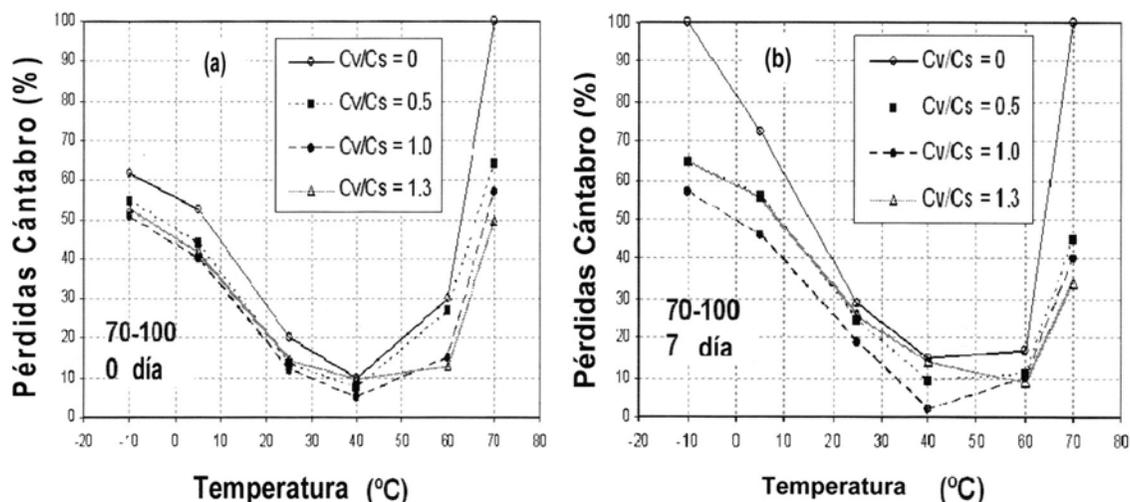


Figura 5. Curvas de Estado, mezclas patrón con asfalto convencional y cal. Efecto del contenido de filler sobre pérdidas por disgregación a 0 días (a) y 7 días (b) de envejecimiento en laboratorio

Las probetas UCL se ensayaron según el método Cántabro (Pérez Jiménez y Miró Recasens, 1993), sometiéndolas a 300 vueltas en el tambor de Los Ángeles sin esferas y determinándose su pérdida porcentual de masa; con los resultados obtenidos se graficaron las "Curvas de Estado", que permiten evaluar cómo influyen las variables consideradas en la cohesión de las mezclas.

En rigor, al considerar conjuntamente la resistencia al envejecimiento y la susceptibilidad térmica, fue posible definir, para cada mezcla patrón evaluada, el denominado *Haz de Curvas de Estado*, en el cual cada curva representa la variación con la temperatura de las pérdidas por disgregación en el ensayo Cántabro para cada grado de envejecimiento considerado. Se muestran en la Figura 5 las Curvas de Estado para la mezcla patrón con proporciones variables de cal, para 0 y 7 días de envejecimiento, simulando los efectos a corto y largo plazo, respectivamente.

En la mezcla sin filler las pérdidas se incrementaron con el envejecimiento, especialmente a temperaturas bajas; para más de 50°C las pérdidas disminuyeron con el envejecimiento, debido a que el ligante endurece y puede soportar mayores temperaturas antes de su ablandamiento. Además, se manifestó el efecto beneficioso de la incorporación de cal cuando no se sobrepasa la concentración crítica ( $C_v/C_s \leq 1$ ).

Una forma de evaluar las consecuencias del envejecimiento sobre las mezclas en servicio a bajas temperaturas se muestra en la Figura 6 (Pérdidas al Cántabro vs. Concentración de Filler) ensayadas a -10°C, temperatura extrema pero habitual en nuestro invierno austral, especialmente en la región cordillerana. Se observa cómo disminuyen las pérdidas por disgregación a medida que se incorpora cal, efecto que progresa hasta una concentración igual a la crítica, pues al producirse sobrefillerización ( $C_v > C_s$ ) las pérdidas vuelven a aumentar. Nótese además que las probetas elaboradas con contenido óptimo de cal ( $C_v/C_s = 1$ ) y envejecidas a 2 días e incluso a 7 días, sufren menos disgregación que las probetas no envejecidas (0 días) pero sin filler ( $C_v/C_s = 0$ ). Véase además que las probetas sin cal no soportan la sollicitación del ensayo Cántabro cuando están envejecidas (100 % de pérdidas por disgregación), mientras que en iguales condiciones de envejecimiento las probetas con contenido óptimo de cal exponen un comportamiento aceptable (60 % de pérdidas, límite propuesto en el método Cántabro para la aceptación del ligante), lo que equivale a decir que el asfalto no era apto para emplear en la mezcla sin cal a -10 °C, pero pasa a ser aceptable cuando se adiciona cal de manera racional.

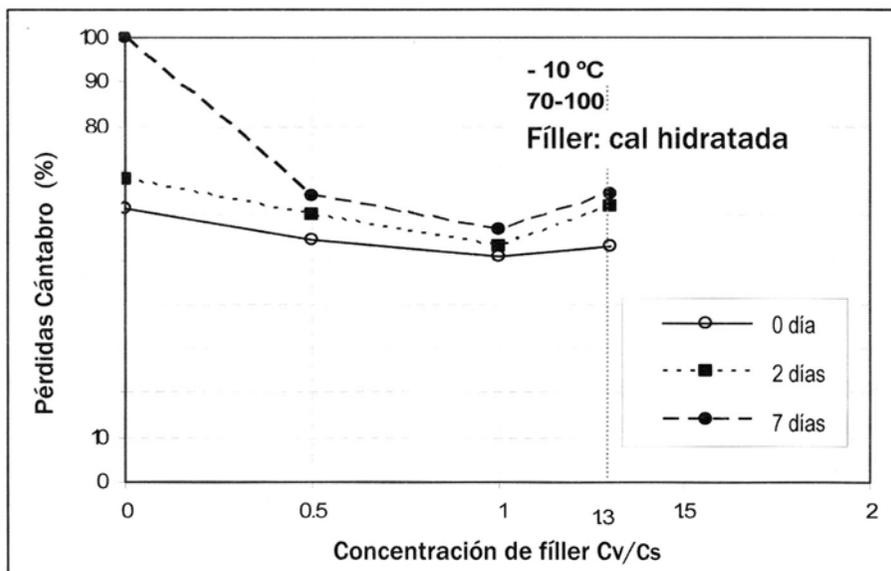
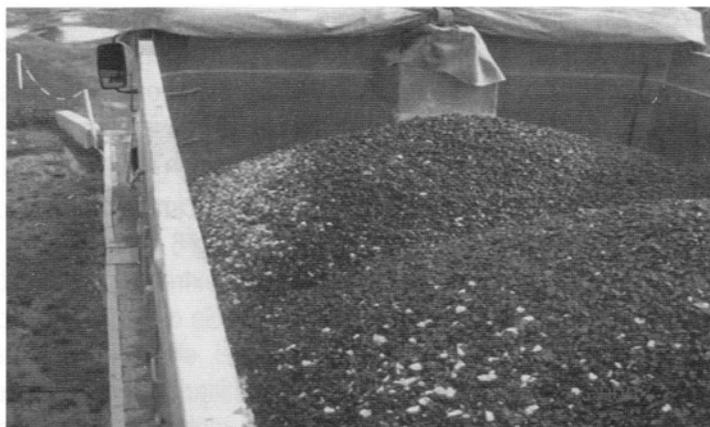


Figura 6. Pérdidas en ensayo Cántabro vs. concentración de filler: mezclas patrón con asfalto 70-100 y cal, ensayadas a -10°C, con 0, 2 y 7 días de envejecimiento en laboratorio

Las experiencias exhibidas demuestran la importancia de considerar la adición de cal en la fórmula de las mezclas asfálticas y, consecuentemente, a extremar los controles durante su fabricación en cuanto a dotación y también a homogeneidad, pues un mal funcionamiento de los mecanismos de conducción de los silos o un mezclado deficiente pueden conllevar una mala distribución en la mezcla (Figura 7).



**Figura 7. Mezclado deficiente de filler en concreto asfáltico**

En la puesta en obra también es de decisiva importancia el control de calidad para evitar el envejecimiento prematuro.

Durante el transporte la mezcla puede comenzar a sufrir inconvenientes que serán condicionantes de su durabilidad: almacenamiento a elevada temperatura, segregación granulométrica, segregación térmica, etc., que inducen problemas de heterogeneidad en la superficie (mayor exposición a los agentes atmosféricos) o favorecen el envejecimiento debido a tiempos elevados entre elaboración y descarga en obra. Se denomina segregación granulométrica a las variaciones de uniformidad de los materiales por traslado o movimiento diferenciado de los mismos y, en esta etapa de transporte, puede aparecer por una carga inadecuada con montículos elevados, en especial en mezclas con granulometría continua y tamaños máximos de áridos superiores a  $\frac{1}{2}$ ". Por su parte, se llama segregación térmica a las variaciones de temperatura entre diferentes sectores de la mezcla asfáltica; en el transporte tal situación se da en los laterales de la caja del camión y en la parte superior, especialmente cuando no se toman recaudos para mantener la temperatura. La carga en varios montículos, una cubierta protectora apropiada y tiempos acotados de transporte, disminuyen tales riesgos.

En el extendido se pueden mantener, magnificar o atenuar los problemas de segregaciones granulométricas y térmicas, además de aparecer otros factores influyentes en la durabilidad relacionados con las paradas del equipo, el arrastre o la falta de material, la nivelación, etc. Varios controles importantes deben hacerse sobre las operaciones de la terminadora, entre ellas: velocidad, continuidad, provisión de mezcla a la tolva, distribución lateral con el sinfín, precompactación y nivelación. La pavimentadora se debe mantener en permanente movimiento y a velocidad constante; esto implica buena coordinación con la planta asfáltica y la flota de camiones de transporte. La cubeta del tornillo distribuidor debe estar siempre con mezcla, en lo posible por encima del eje del sinfín, para evitar segregaciones de agregados o de mástico.

Durante las operaciones de terminación de la capa asfáltica pueden aparecer segregaciones por déficit de compactación. Una densificación correcta, acompañada de una terminación plana de la superficie y pendientes apropiadas, aseguran una capa con regularidad superficial, con los vacíos previstos en el proyecto y la evacuación eficiente del agua: tales condiciones favorecen la resistencia del pavimento ante los factores que atentan contra su durabilidad. Deben controlarse el estado de los equipos de compactación, el peso final con lastre, la presión de inflado de neumáticos, la limpieza de neumáticos y rodillos metálicos, la secuencia y el número de pasadas de la compactación, la temperatura de la mezcla y del ambiente, la operación de los equipos (velocidades y trayectorias) y su protección del frío y del viento. Asimismo y por razones similares, es muy importante verificar que las operaciones manuales y mecánicas de resolución de juntas y bordes se materialicen de acuerdo a las reglas del buen arte. Y una vez concluida la puesta en obra, deben controlarse las densidades y espesores de mezcla y la nivelación de la superficie.

Los efectos del envejecimiento sobre las capas bituminosas superficiales son variados, e incluyen fisuras, grietas, pérdidas de mástico e incluso, en casos extremos, desintegración total. Las Figuras 8 y 9 ilustran en parte lo antedicho.



Figura 8. Fisuras por fatiga en pavimento envejecido



Figura 9. Deterioro generalizado en pavimento envejecido

### Optimización de la adherencia árido-ligante

Un factor de suma importancia a tener en cuenta para asegurar una mayor durabilidad de una mezcla asfáltica es la adherencia árido-ligante, que puede definirse como la capacidad de un ligante para permanecer fijado a un árido recubriéndolo sin ningún riesgo de desplazamiento, aun en presencia de agua o tráfico; tal propiedad permite al asfalto recubrir a los agregados pétreos con una fina película y aportar cohesión al conjunto.

Ciertas circunstancias pueden generar la pérdida de esta propiedad, provocando la desenvuelta o "stripping". La vinculación entre árido y ligante se produce debido a un proceso de índole físico-química (Khandal, 1996).

Entre los factores de tipo físico que condicionan la adhesividad se destacan el grado de limpieza, la textura y la porosidad de las partículas inertes, y la viscosidad, la tensión superficial y el espesor de la película del ligante.

Desde el punto de vista químico interesa especialmente la polaridad o carga superficial del ligante y del árido; dicha propiedad tiene directa relación con la naturaleza de ambos materiales. Los asfaltos poseen carga negativa, lo que origina problemas fundamentalmente con los agregados electronegativos provenientes de rocas con alto contenido de sílice, como el granito. En cambio, los áridos básicos con altos contenidos en óxidos alcalinos y alcalinotérreos y bajos contenidos en sílice, como los calizos, son menos hidrofílicos y tienen una mayor afinidad con el ligante bituminoso; de todos modos, y debido a la baja polaridad de los asfaltos, puede que existan algunos inconvenientes de adhesividad aún con estos áridos.

Existen ensayos específicos que analizan la adherencia árido-ligante en las mezclas asfálticas: los que evalúan directamente la adhesividad de los agregados con el asfalto y aquellos que estudian funcionalmente la pérdida de adherencia en las mezclas bituminosas. Tales verificaciones son valiosas, pero en caso de no cumplirse con algunos de los requisitos no son determinantes a la hora de exigir una solución adecuada.

En este trabajo se exponen investigaciones y experiencias prácticas efectuadas sobre este tema (Bianchetto *et al.*, 2004) y se detalla una metodología simple de control de calidad para establecer, cuando fuese necesario, la proporción de aditivo mejorador de adherencia a incorporar. Para ello, se emplearon combinadamente ensayos intrínsecos de adherencia árido-asfalto o "de compatibilidad" (es decir, que examinan la respuesta del par árido-ligante, independientemente de la composición de la mezcla); y ensayos mecánicos sobre probetas Marshall de las mezclas asfálticas a analizar. Se pretende así evaluar las consecuencias de la pérdida de adherencia por la acción conjunta del agua y la temperatura ("ensayos funcionales").

Entre los ensayos de compatibilidad, el más utilizado para evaluar la adhesividad entre los áridos gruesos y el ligante es el descrito en la Norma ASTM D-3625 (adhesividad a los áridos de los ligantes bituminosos en presencia de agua), que consiste en apreciar visualmente si partículas de árido envueltas con ligante bituminoso se mantienen cubiertas por el mismo; luego de un período de 10 minutos de inmersión en agua en ebullición; se exige que más del 95 % de las partículas permanezcan perfectamente envueltas al final del ensayo.

Otro método muy efectivo es el AASHTO-182 modificado; consiste en preparar una muestra de árido grueso envuelto con ligante y someterla a inmersión estática en agua durante un lapso de 16 a 18 horas a una temperatura igual a la del punto de ablandamiento del asfalto más 5° C, estimándose finalmente el porcentaje de partículas que permanecen recubiertas con ligante. Como en el ensayo anterior, el resultado se considera positivo si tal porcentaje es superior a 95. La Figura 10 ilustra un ensayo con áridos graníticos con resultado negativo, lo cual indica la necesidad de adicionar un producto mejorador de adherencia para asegurar la permanencia de la película de ligante sobre los agregados durante la vida útil del pavimento.



**Figura 10. Ensayo de adherencia AASHTO-182 modificado, árido granítico-ligante, sin la incorporación de aditivo mejorador. Obsérvese el escaso recubrimiento de los agregados pétreos luego del ensayo**

En lo concerniente a los agregados finos, la prueba más empleada es el ensayo Rieddel-Weber (Norma española NLT 355), que consiste en someter una muestra, de 0.5 gramos de árido envuelto con ligante, a la acción de un hervido suave de soluciones de carbonato sódico de concentraciones molares crecientes. El resultado se informa como un índice (de adhesividad Riedel-Weber) que es el número correspondiente a la dilución de concentración molar menor que haya producido el desplazamiento total del ligante que recubre las superficies de las partículas de la muestra ensayada. Cuando el desplazamiento total del ligante se produce con agua destilada, el Índice de Adhesividad es cero; por el contrario, si no hay desplazamiento del ligante con la solución de concentración molar más alta, el índice toma el valor 10. El valor mínimo exigido es 4, que suele lograrse con cierta facilidad.

Entre los ensayos funcionales, quizás el más conocido sea el de "Estabilidad Marshall Remanente" (VNE-32), en el cual se dejan sumergidas las probetas Marshall en un baño de agua a 60 °C durante 24 horas y luego se determina su estabilidad, comparándose el resultado con el obtenido en las probetas Marshall ensayadas convencionalmente, exigiéndose valores de estabilidad remanente superiores a 80 %. También es de uso el ensayo de Inmersión-Compresión (NLT-162) con probetas moldeadas estáticamente a densidad prefijada y sometidas a compresión simple; se cotejan resultados de probetas sometidas a inmersión en agua caliente durante un tiempo prefijado con otras no sumergidas, requiriéndose valores de resistencia conservada superiores a 75 %. Otro ensayo con fines similares a los anteriores es el de Tracción Indirecta por Compresión Diametral, en seco y tras inmersión; este método tiene la ventaja adicional de poder aplicarse a testigos extraídos del camino (NLT-346).

Una alternativa interesante la proporciona el ya descrito Método Universal de Caracterización de Ligantes, UCL®. Las probetas son ensayadas en seco y tras inmersión; las pérdidas adicionales en esta última condición son debidas al efecto del agua sobre la adhesividad del par árido-betún.

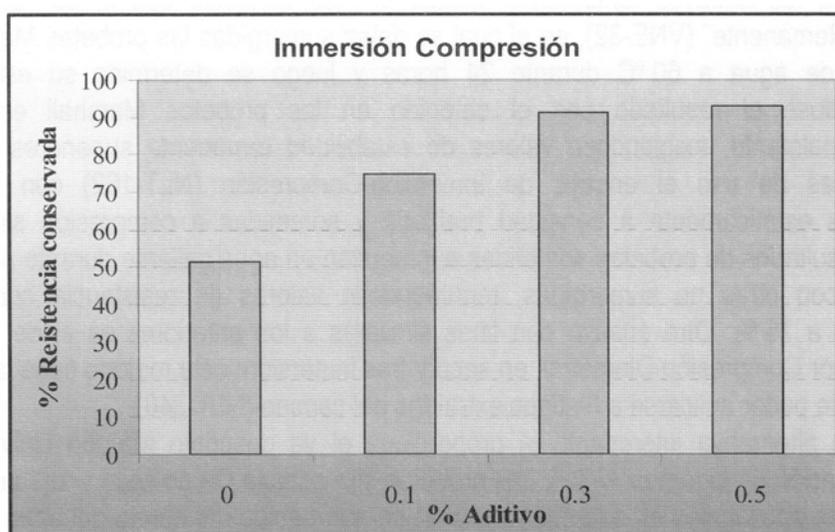
Los agregados pétreos utilizados en buena parte del país están compuestos mayoritariamente por granito y cuarzodiorita y, por ende, no poseen una buena afinidad con los asfaltos; por tal motivo las especificaciones han comenzado a exigir la adición de

un agente promotor de la adherencia. El problema es que tales prescripciones suelen indicar un porcentaje de producto a incorporar (por ejemplo, 0,5 % en peso del asfalto) pero sin tener en cuenta que tal dotación puede llegar a ser exigua o excesiva y, en ambos casos, no llegar a cumplir cabalmente con el rol que se le asignó, llegándose en ocasiones a causar efectos colaterales desfavorables. La falta de indicaciones acerca de cómo incorporar dicho producto al asfalto es otro déficit de las normativas, pues un contenido heterogéneo también puede mermar su efectividad.

En el ejemplo que se reporta a continuación se manifiesta claramente la importancia de verificar el contenido óptimo de mejorador de adherencia y de atender las cuestiones inherentes al ingreso del aditivo dentro del seno del ligante. Se trata de una mezcla densa con agregados graníticos y un asfalto CA-20, en principio sin mejorador de adherencia, que verifica la exigencia en el ensayo de adhesividad Riedel-Weber para áridos finos, pero que no cumple con la adhesividad para áridos gruesos (Hervido de Texas y AASHTO 182 modificado); además, la estabilidad Marshall Remanente, el ensayo de Inmersión-Compresión y la relación de Tracción Indirecta en seco y tras inmersión arrojan valores inferiores a los habitualmente prescritos como mínimos, en tanto que las pérdidas al Cántabro tras inmersión son del 100 %. Para definir el contenido porcentual óptimo de aditivo se realizó una batería de ensayos de compatibilidad y funcionales cuyos resultados se resumen en Tabla 3 y Figuras 11 a 15.

**Tabla 3. Ensayos de compatibilidad árido grueso-ligante**

% Aditivo	0	0.1	0.3	0.5
AASHTO 182 modificado, Recubrimiento [%]	<< 95	< 95	100	100
ASTM D-3625 (Hervido), Recubrimiento [%]	< 95	~ 95	e/ 95 y 100	100



**Figura 11. Estabilidad Remanente vs. Porcentaje de aditivo**

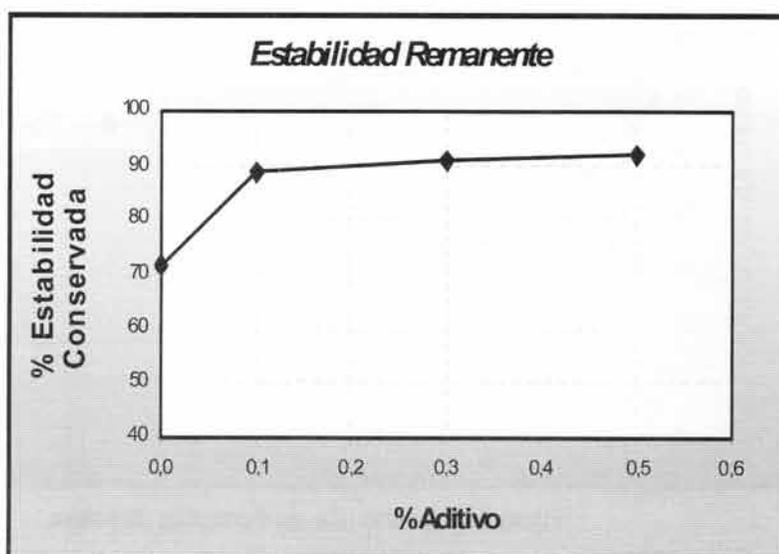


Figura 12. Resistencia conservada vs. Porcentaje de aditivo

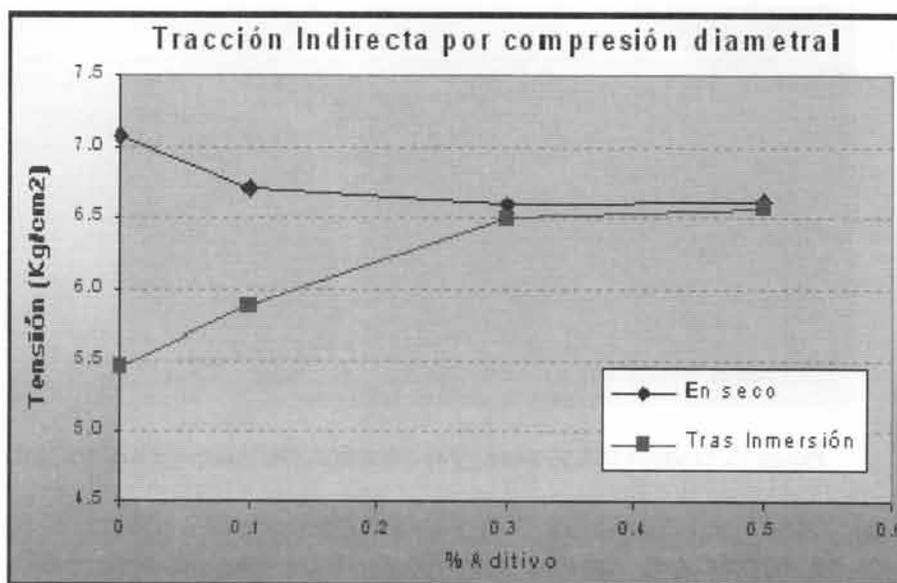


Figura 13. Tracción Indirecta (en seco y tras inmersión) vs. Porcentaje de aditivo

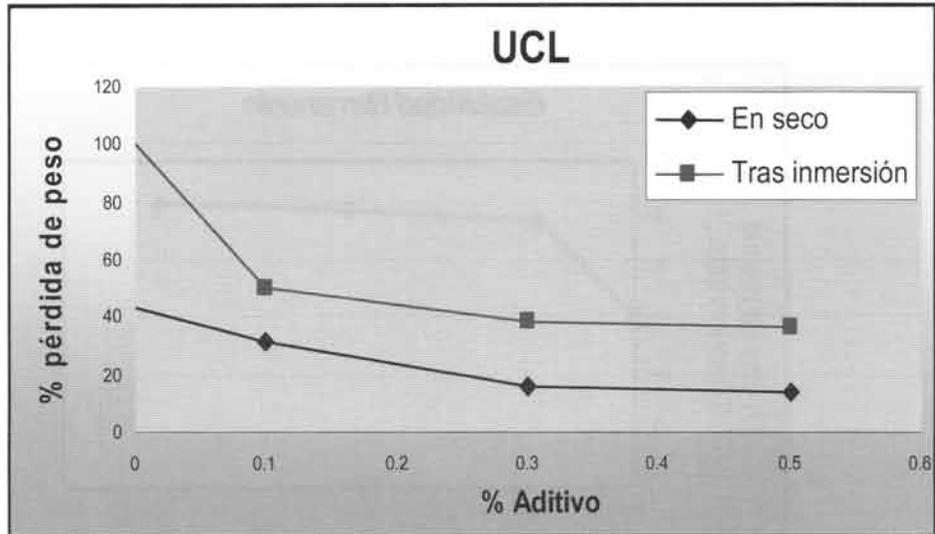


Figura 14. Pérdidas UCL vs. Porcentaje de aditivo

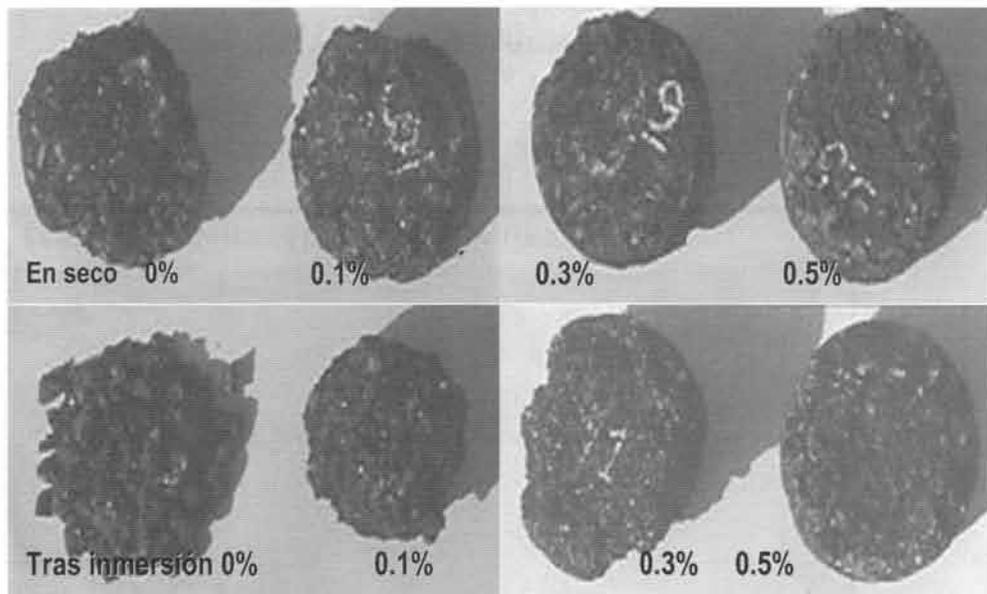


Figura 15. Ensayos UCL en seco y tras inmersión. Mezclas con diferentes % de aditivo

La Tabla 3 permite apreciar la falta de recubrimiento de los áridos al efectuar los ensayos sin mejorador de adherencia (la Figura 10 pertenece al ensayo AASHTO 182 modificado) y cómo se manifiestan las mejoras a medida que se incrementa la proporción de aditivo. Según estas pruebas de compatibilidad, con 0,3 % de aditivo sería suficiente para garantizar una adecuada adherencia.

Las probetas para los ensayos de estabilidad Marshall "tras inmersión" fueron sumergidas previamente en agua a 60 °C durante 72 horas (en lugar de las 24 horas normalizadas), de manera de potenciar los efectos nocivos que esta ejerce sobre la adhesividad del par árido-betún. El mejorador de adherencia tiene un efecto benéfico sobre la estabilidad remanente en las mezclas, el cual se ve atenuado ya a partir del 0,1 % de adición en peso respecto al asfalto. La Figura 11 ilustra sobre esta evolución.

Las probetas para el ensayo de compresión estática fueron elaboradas a densidad prefijada con un 95 % de la densidad aparente de referencia Marshall. El ensayo, tanto para probetas en seco como tras inmersión en agua a 60 °C (también a 72 horas), se ejecutó a 25 °C. En este caso, el efecto del aditivo se hace ostensible hasta la muestra con 0,3 % de dotación, punto a partir del cual los valores resultantes se estabilizan (Figura 12).

También el mejorador tiene un efecto benéfico sobre la resistencia a compresión diametral de las mezclas tras inmersión (Figura 13), que se atenúa al superar el 0,3 % de aditivo, tendiéndose luego a valores asintóticos. En las probetas en seco se experimenta una leve disminución inicial de la resistencia, atribuible a la pérdida de consistencia del ligante debido a la incorporación del aditivo, hasta adquirir valores similares que las probetas tras inmersión a partir de 0,3 % de dotación de mejorador.

Finalmente, la evaluación mediante el método UCL permite apreciar cómo, al incrementar el porcentaje del promotor de adherencia, se minimizan las pérdidas en peso de material, especialmente en el ensayo tras inmersión (Figuras 14 y 15). Al igual que en las situaciones anteriores, el efecto del aditivo decrece a partir de la incorporación de 0,3 % de producto en peso respecto del ligante asfáltico.

Las consecuencias de la falta de adherencia entre los áridos y el ligante comprenden desde los desprendimientos aislados de partículas hasta la pérdida sectorial de material, pudiéndose provocar baches que comprometen seriamente la funcionalidad del camino y que, por lo tanto, acotan su durabilidad (Figura 16).

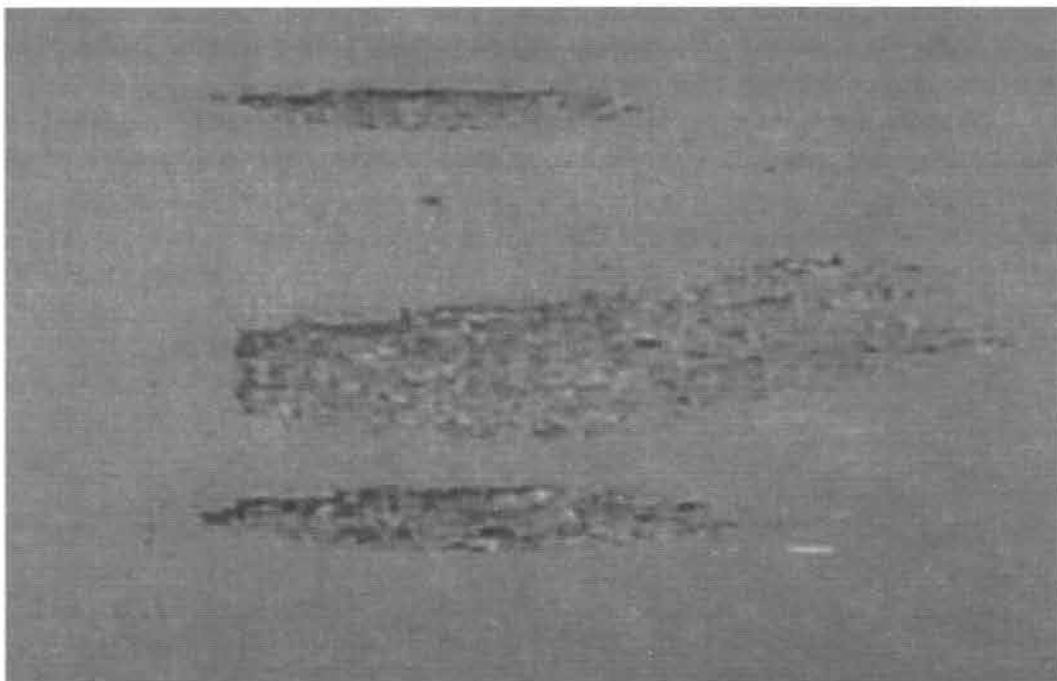


Figura 16. Desprendimientos sectoriales de pavimento por déficit de adherencia árido-ligante

## Conclusiones

Los estudios, ensayos e investigaciones efectuados han permitido ponderar cualitativa y cuantitativamente los efectos de un efectivo control de calidad y de la adopción de una serie de recaudos a la hora del diseño, la elaboración y la puesta en obra de una mezcla asfáltica en caliente para uso vial.

Se ha hecho hincapié en varios aspectos: controlar las temperaturas de producción de la mezcla; optimizar los tiempos de ejecución, es decir, acotar al máximo el lapso que media desde la carga del camión en planta y el comienzo de la compactación en el frente de obra; incorporar racionalmente filleres activos, en particular los de origen cálcico y muy especialmente la cal hidráulica comercial, pues dotan a la mezcla de una mayor resistencia al envejecimiento y de una mejor adherencia árido-ligante; considerar la posibilidad de incorporación de aditivo mejorador de adherencia, especialmente si se dispone de áridos graníticos, dosificando criteriosamente a partir de ensayos específicos pertinentes e incorporando el producto al asfalto de manera homogénea; evitar durante el transporte y el extendido los factores que propenden a la segregación granulométrica y a la segregación térmica de la mezcla, pues inducen a problemas de heterogeneidad en la superficie, con mayor exposición al envejecimiento y a la disgregación de materiales, y controlar que se efectúen correctamente las operaciones de compactación, de terminación de juntas y bordes y la nivelación de la superficie.

Algunos de los resultados obtenidos son reveladores de lo antedicho. En especial, se demostró que una mezcla elaborada con adición racional de cal y envejecida a largo plazo ofrece un mejor comportamiento que otra elaborada sin cal y apenas envejecida a corto plazo; y que una mezcla potencialmente disgregable pasa a ser apta, debido a una adecuada incorporación de aditivo mejorador de adherencia.

Adicionalmente, se expusieron argumentos acerca de los beneficios que reporta el control de calidad sobre los procesos productivos en lo referente a la durabilidad de las mezclas asfálticas.

## Referencias

- Asurmendi, A.; Bianchetto, H. (2007). "Simulación en laboratorio del envejecimiento de mezclas bituminosas y de los beneficios que se obtienen por efecto de la adición racional de filleres cálcicos". *XIV Congreso Iberoamericano del Asfalto, La Habana, Cuba*, en soporte magnético (CD).
- Bianchetto, H.; Nosetti, R.; Daguerre, L. (2004). "Propuesta metodológica para la evaluación de la adherencia árido-ligante en mezclas asfálticas. Un ejemplo de aplicación". *XXXIII Reunión del Asfalto, Mendoza, Argentina*, p. 459-474.
- Bianchetto, H. (2005a). *Supervisión y control de calidad de los procesos constructivos de mezclas asfálticas*. Apuntes del Curso de Postgrado en Ingeniería de Transportes, Orientación Vial. Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires.
- Bianchetto, H. (2005b). *Criterios de diseño de mezclas bituminosas para pavimentos tendientes a optimizar su resistencia al envejecimiento. Influencia del tipo de ligante y del relleno mineral*. Tesis Doctoral de la Universidad Politécnica de Cataluña, España.
- Bianchetto, H.; Asurmendi, A. (2007). "Influencia de la temperatura de elaboración y del contenido de cal en la resistencia al envejecimiento de mezclas densas convencionales: un caso real". *XIV Congreso Iberoamericano del Asfalto, La Habana, Cuba*, en soporte magnético (CD).
- Bianchetto, H.; Miró Recasens, R.; Martínez, A.; Pérez Jiménez, F. (2007). "Effect of calcareous fillers on bituminous mix aging". *Transportation Research Record (TRR) Nr. 1998, Journal of the Transportation Research Board (TRB) of the National Academies, Washington D.C., EE.UU.*, p. 140-148.
- Centro de Comercio Internacional (ONU-OMC) (1996). *Sistemas ISO 9000 de Gestión de la Calidad. Directrices para las Empresas de Países en Desarrollo (2ª edición)*. ONU-OMC, Suiza.
- Fernández del Campo, J. A. (2004). *Procedimientos y Normativa sobre Calidad*. Apuntes del Curso de Posgrado de Mezclas Bituminosas, Universidad Politécnica de Cataluña, España.
- Khandal, P. (1996). "Field and laboratory investigation of stripping in asphalt pavements: state of the art report". *Transportation Research Record (TRR) Nr.1454, Journal of the Transportation Research Board (TRB) of the National Academies, Washington D.C., EE.UU.*, p. 36-47.
- Merchán Gabaldón, F. (1995). *Manual de control de calidad total en la construcción con normas de la Unión Europea y normas americanas*. Dossat 2000, España.
- Perera, G. (2002). *Experiencias en el Control de Calidad de Obras Viales*. Apuntes del Curso de Posgrado "Construcción y Procesos Constructivos", Maestría en Ingeniería Vial. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata.
- Pérez Jiménez, F.; Miró Recasens, R. (1993). "Characterization procedure of asphalt binders with the Cantabro Test. UCL® Method". *5th Eurobitume Congress, Estocolmo, Suecia, Vol.1A*, p. 209-213.
- Ruiz, C. (1947). "Sobre las propiedades mecánicas del sistema filler-betún". *Segunda Reunión del Asfalto, Buenos Aires, Argentina*, p. 25-52.



## ESTUDIO SOBRE LA OPTIMIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE PRODUCCIÓN EN REACTORES DE $^{156}\text{Eu}$ POR ACTIVACIÓN DE SAMARIO<sup>1</sup>

María del Carmen Alí Santoro<sup>1</sup>, María Celeste Fornaciari Ilijadica<sup>2</sup>, Isaac Marcos Cohen<sup>\*3,4</sup>

<sup>1</sup> Comisión Nacional de Energía Atómica, Centro Atómico Ezeiza, Presbítero González y Aragón N° 15 (B1802AYA) Ezeiza, Provincia de Buenos Aires, República Argentina.

<sup>2</sup> Comisión Nacional de Energía Atómica e Instituto de Tecnología Nuclear Dan Beninson, Centro Atómico Ezeiza, Presbítero González y Aragón N° 15 (B1802AYA) Ezeiza, Provincia de Buenos Aires, República Argentina.

<sup>3</sup> Instituto de Tecnología Nuclear Dan Beninson, Centro Atómico Ezeiza, Presbítero González y Aragón N° 15 (B1802AYA) Ezeiza, Provincia de Buenos Aires, República Argentina.

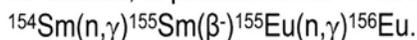
<sup>4</sup> Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Avellaneda, Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, Ramón Franco 5050, Avellaneda, Buenos Aires, Argentina.

*\* Autor a quien la correspondencia debe ser dirigida  
Correo electrónico: icohen@fra.utn.edu.ar*

Recibido el 23 de febrero de 2010; aceptado el 14 de mayo de 2010

### Resumen

Se evalúan los factores que influyen en la producción de reacciones de doble captura neutrónica, con énfasis en los elementos de las tierras raras. Se presenta, como modelo de estudio, la producción de  $^{156}\text{Eu}$  mediante la secuencia:



Las condiciones experimentales más favorables para la determinación cuantitativa del  $^{156}\text{Eu}$  consisten, básicamente en: irradiación de masas pequeñas de óxido de samario durante el lapso de operación continua más alto posible en un reactor nuclear, en la posición de mayor flujo disponible; acondicionamiento para la medición en el menor tiempo de decaimiento compatible con las normas de protección radiológica y con el funcionamiento adecuado de los equipos de medición y, finalmente, medición con absorbedores de plomo, para mejorar la geometría de medición.

**Palabras clave:** Eu-156, doble captura neutrónica, elementos de las tierras raras.

---

<sup>1</sup> Artículo basado en el Trabajo Especial de M. C. Alí Santoro, para optar al grado de Especialista en Radioquímica y Aplicaciones Nucleares (Instituto de Tecnología Nuclear Dan Beninson, Universidad Nacional de General San Martín)

## Abstract

The factors that influence the production of double neutron capture reactions, with emphasis in the rare earths elements. As a model of study, the production of  $^{156}\text{Eu}$  by the sequence:  $^{154}\text{Sm}(n,\gamma)^{155}\text{Sm}(\beta^-)^{155}\text{Eu}(n,\gamma)^{156}\text{Eu}$  is presented. The experimental conditions more favourable for the quantitative determination of  $^{156}\text{Eu}$  consist, basically, of: irradiation of small masses of samarium oxide for the highest possible space of continuous operation of a nuclear reactor, in the position of the greatest flux available; conditioning for the measurement at the lowest decay time compatible with the standards of radiological protection and the adequate functioning of the measuring equipment, and, finally, measurement with lead absorbers, in order to improve the geometry of measurement.

**Keywords:** Eu-156, double neutron capture, rare earths elements

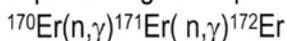
## Introducción

Las reacciones nucleares que ocurren cuando un material es sometido a irradiación en un reactor son de importancia, para el experimentador, en la comprensión del proceso global y en la producción de radioisótopos para un determinado fin. Para el operador del reactor la importancia radica, fundamentalmente, en las secciones eficaces involucradas y en su eventual incidencia sobre la reactividad. Entre las reacciones posibles, las de captura radiativa son las que tienen mayor importancia, pues el valor de sus secciones eficaces es corrientemente notablemente mayor que el de las restantes reacciones.

En muchas ocasiones, productos de reacciones primarias se caracterizan por poseer secciones eficaces inusualmente altas. Además de la absorción de neutrones que su presencia conlleva, la nueva captura neutrónica puede conducir a la formación de otros nucleidos. La doble captura neutrónica no es un fenómeno extraordinario. Los productos de tales reacciones pueden constituir interferencias en análisis por activación [Cohen y colaboradores, 1976]. Algunas reacciones de doble captura neutrónica han sido empleadas para la producción de algunos radionucleidos como el  $^{188}\text{W}$ , ampliamente utilizado en medicina nuclear a través del generador  $^{188}\text{W}/^{188}\text{Re}$  [Knapp, 2001].

Muchos de los isótopos de los elementos de las tierras raras presentan secciones eficaces de dimensiones suficientes como para inducir la producción de radionucleidos por doble captura neutrónica. Las posibilidades de detección de los productos de doble captura dependen primariamente de sus características y de las de los radionucleidos formados por reacción primaria, cuya actividad es normalmente varios órdenes mayor.

Aun cuando muchas reacciones de doble captura parecerían suficientemente estudiadas, la literatura registra discrepancias e inconsistencias en el valor de las secciones eficaces involucradas. Un ejemplo ilustrativo es la secuencia de reacciones de captura que se originan a partir del  $^{170}\text{Er}$ . Las reacciones son:



Los datos de secciones eficaces para ambas reacciones, según tres ediciones consecutivas de una de las tablas de nucleidos más conocidas, Karlsruhe Nuklidkarte [Seelmann-Eggebert y colaboradores, 1981; Pfennig y colaboradores, 1995; Magill y colaboradores, 2006] son:

Para la reacción  $^{170}\text{Er}(n,\gamma)^{171}\text{Er}$ : 5,7 b, 6 b y 8 b, respectivamente.

Para la reacción  $^{171}\text{Er}(n,\gamma)^{172}\text{Er}$ : 280 b, 370 b y 370 b, respectivamente.

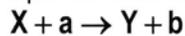
Más allá del hecho de que los valores de sección eficaz para la reacción primaria varían en alrededor de 25 %, una situación significativa se da con respecto a la reacción de doble captura: un cambio importante en el valor recomendado (280 b a 370 b) entre las dos primeras ediciones mencionadas y luego la reproducción del valor de la segunda edición en la tercera, a pesar de que el dato para la reacción primaria cambia sustancialmente. Puesto que la actividad del producto de doble captura depende del producto de los dos valores de sección eficaz, se produce una inconsistencia en el par de valores tabulados.

Este tipo de situaciones es relativamente frecuente y permite inferir que resulta necesario efectuar la redeterminación de muchos de los datos hasta ahora aceptados.

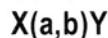
Ya se ha mencionado que estudios de esta naturaleza no son simples. En el presente trabajo se evaluarán los factores que influyen en la producción de reacciones de doble captura, con énfasis en los elementos de las tierras raras, a partir de un modelo de estudio: el caso  $^{154}\text{Sm}(n,\gamma)^{155}\text{Sm}(\beta^-)^{155}\text{Eu}(n,\gamma)^{156}\text{Eu}$ .

## Consideraciones generales: las reacciones nucleares

Las reacciones nucleares son procesos que implican la transformación de un núcleo por acción de una partícula subatómica, donde aparecen un nuevo núcleo y otra partícula (también puede ser un fotón de alta energía, o más de una partícula). En forma general, el proceso de una reacción nuclear puede expresarse en la forma:



donde X e Y representan, respectivamente, al núcleo blanco y al nuevo núcleo, mientras que a y b denotan a la partícula incidente y a la partícula producida en la reacción. La representación corriente para reacciones como la esquematizada es:



## La ecuación general de activación

La llamada ecuación general de activación está referida a una reacción nuclear simple, donde por irradiación de un núcleo (1) con partículas x aparece un nuevo núcleo (2) que puede ser estable o radiactivo. La velocidad de formación de (2) es proporcional al número de átomos de (1) y al flujo de partículas incidentes,  $\phi_x$ . Puede suponerse, en forma válida, que  $N_1$  permanece constante durante todo el proceso de irradiación, pues sólo una mínima parte de los núcleos presentes llega a transformarse por la reacción nuclear. La relación de proporcionalidad es:

$$\frac{dN_2}{dt} \propto N_1 \phi_x$$

La constante de proporcionalidad es la llamada sección eficaz ( $\sigma$ ), constante que varía para cada reacción nuclear y que depende del tipo de partículas incidentes y su energía. La sección eficaz, que es una medida de la probabilidad de la reacción nuclear, tiene dimensiones de superficie, debido a que puede interpretarse como el área efectiva que presenta el núcleo blanco a la partícula incidente. Las unidades usuales para su expresión es el barn (b) y sus submúltiplos;  $1\text{b} = 10^{-24}\text{cm}^2$ .

Si (2) es radiactivo, la ecuación anterior se convierte en:

$$\frac{dN_2}{dt} = N_1\sigma\phi_x - \lambda_2 N_2$$

Su resolución conduce a la expresión general:

$$N_2 = \frac{N_1\sigma\phi}{\lambda_2} (1 - e^{-\lambda_2 t})$$

y, en términos de actividad, a  $A_2 = N_1\sigma\phi (1 - e^{-\lambda_2 t})$ , ecuación general de activación, que expresa la evolución de la actividad del producto en función del tiempo de irradiación del precursor.  $N_1\sigma\phi$  es la máxima actividad obtenible, que se denomina actividad a saturación.

La Figura 1 representa el crecimiento de la actividad para tiempos de irradiación medidos en períodos del producto. Puede verse que, para tiempos de irradiación cortos, el crecimiento es casi lineal, para luego amortiguarse, tendiendo asintóticamente a la actividad a saturación.

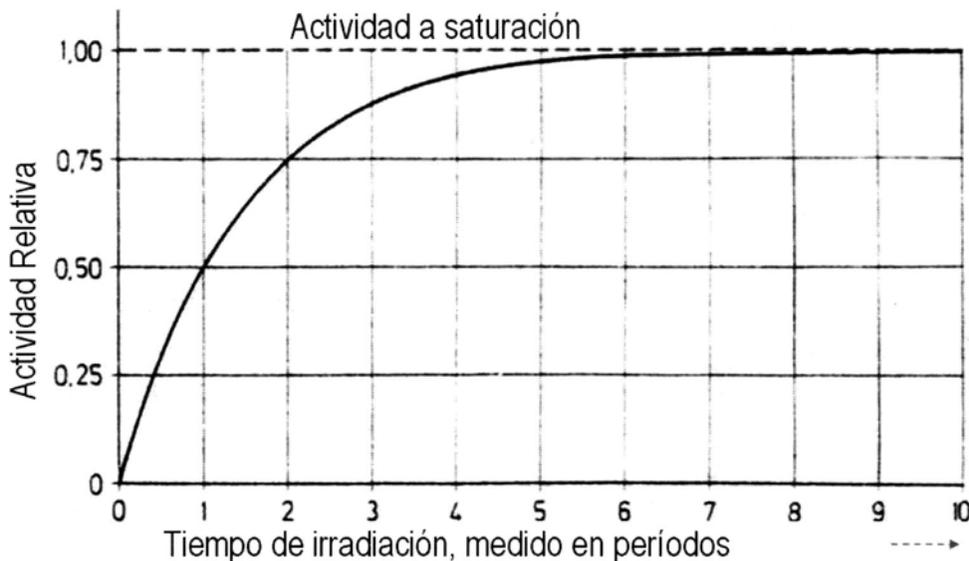


Figura 1. Evolución de la actividad en función del tiempo de irradiación.

La ecuación general de actividad representa, como se ha dicho, el caso más simple de activación mediante una reacción nuclear directa.

## Partículas y reacciones

Aun cuando pueden utilizarse núcleos pesados para producir reacciones nucleares, preferentemente se emplean con este fin neutrones o partículas nucleares, de carga positiva. De esta forma, protones, deuterones, partículas alfa y, menos frecuentemente, núcleos de  $^3\text{He}$ , son las partículas incidentes para la inducción de reacciones nucleares.

En un reactor, las reacciones nucleares son inducidas con neutrones. Mientras que las partículas cargadas deben ser aceleradas para vencer la repulsión coulombiana del núcleo cargado positivamente, los neutrones no tienen tal limitación. De hecho, los llamados neutrones térmicos, es decir, los neutrones que sólo poseen la energía de

agitación térmica del medio, son las partículas más a menudo usadas en la producción de reacciones nucleares. Una de las razones descansa en el hecho de que las secciones eficaces para las reacciones  $(n,\gamma)$ , conocidas como reacciones de captura radiante, inducidas por neutrones térmicos, son notablemente más altas que las que se encuentran para otro tipo de reacciones, originadas por neutrones de mayor energía o por partículas cargadas. Se suma además otro hecho favorable, y es que los reactores nucleares son fuentes importantes de disponibilidad de neutrones, con altos flujos y con la posibilidad de irradiación simultánea de numerosas muestras.

### Reacciones de doble captura neutrónica

Tanto la existencia de altos flujos de neutrones térmicos como las altas secciones eficaces inducen la generación de reacciones singulares, solamente originadas en reactores nucleares, que son conocidas como reacciones de doble captura. El proceso se resume, esquemáticamente, en la reacción que un radionucleido, formado por una reacción de captura inicial, puede sufrir al capturar a su vez un nuevo neutrón. Se establece de esta forma una competencia entre la velocidad de desaparición del precursor, a causa de su propia transformación radiactiva, y la probabilidad de captura de un nuevo neutrón, con la consiguiente producción de otra especie radiactiva.

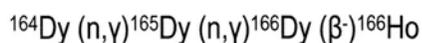
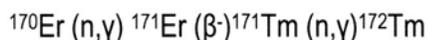
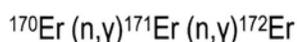
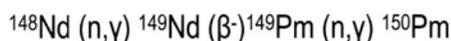
En general, los productos de las reacciones de doble captura deben ser considerados en el inventario radiactivo originado por la irradiación, especialmente cuando su periodo de semidesintegración es mayor que el de los radionucleidos generados por captura directa.

### Reacciones de doble captura neutrónica en elementos de las tierras raras

Muchos isótopos de los elementos de las tierras raras presentan altos valores de secciones eficaces para reacciones  $(n,\gamma)$ , por lo que son ideales para el estudio de este tipo de procesos.

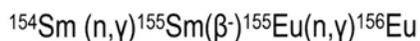
Es necesario considerar en este caso dos situaciones diferentes: en primer lugar, las reacciones de doble captura directa, donde el producto de la primera es el blanco para la siguiente y, en segundo lugar, los procesos indirectos en donde la doble captura sigue al decaimiento de un producto primario.

A continuación se indican algunos ejemplos de estos tipos de reacciones:



La característica común en estas reacciones es que al menos una de las secciones eficaces involucradas en la generación del producto final es inusualmente alta. Aun estas condiciones, el radionucleido formado por doble captura tendrá actividades varios órdenes de magnitud menor que las actividades del producto (o de los productos) de la reacción primaria. Por tal razón, no es inmediata la predicción de su detección.

Un caso de activación donde se reúnen características favorables para la identificación del producto de una doble captura neutrónica es:



Las secciones eficaces para las reacciones  $^{154}\text{Sm} (n,\gamma)^{155}\text{Sm}$  y  $^{155}\text{Eu}(n,\gamma)^{156}\text{Eu}$  son, respectivamente, 7,5 b y 3900 b [Magill y colaboradores, 2006]. La conjunción de los valores de secciones eficaces y de las características nucleares de los productos permite inferir que el  $^{156}\text{Eu}$  puede llegar a ser identificado y medido en condiciones relativamente favorables. Por este motivo se decidió que la investigación sobre su formación por doble captura resultaba adecuada como modelo para un estudio general.

## El modelo de estudio

Tal como ha sido mencionado en el párrafo anterior, se plantea la producción de  $^{156}\text{Eu}$  a partir de reacciones nucleares de doble captura sobre samario.

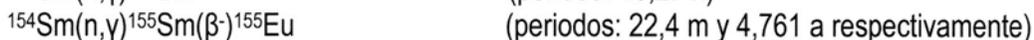
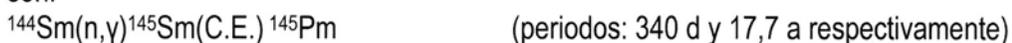
Los isótopos estables de samario se indican en la Tabla 1, junto con sus abundancias isotópicas y sus secciones eficaces de captura. Los datos nucleares que siguen fueron extraídos de la Tabla de Nucleidos de Magill y colaboradores (2006) a no ser que se indique lo contrario.

Tabla 1. Isótopos estables del samario, abundancias isotópicas y secciones eficaces de captura.

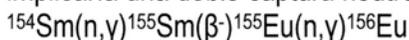
Isótopo	Abundancia Isotópica (%)	Sección eficaz (b)
Sm-144	3,07	1,6
Sm-147	14,99	56
Sm-148	11,24	2,4
Sm-149	13,82	40100
Sm-150	7,38	102
Sm-152	26,75	206
Sm-154	22,75	7,5

Puede verse que el samario, como elemento, es un fuerte absorbedor de neutrones. Su sección eficaz promedio es 5600 b.

Las reacciones de captura sobre samario que conducen a nucleidos radiactivos son:



El  $^{155}\text{Eu}$ , en razón de su elevada sección eficaz de captura (3900 b) podría inducir a su vez la formación de  $^{156}\text{Eu}$ , de forma tal que sería posible producir una secuencia que implicaría una doble captura neutrónica, según:

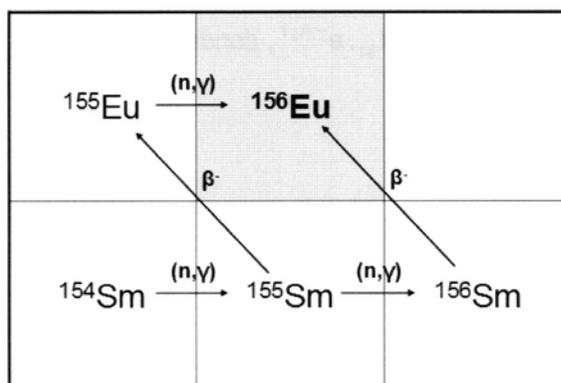


El  $^{156}\text{Eu}$  es un emisor  $\beta^-$  de 15,2 d de periodo; sus principales energías gamma e intensidades se indican en la Tabla 2. Los datos fueron extraídos de las tablas de Schötzig y Schrader (1998).

Tabla 2. Principales energías de las transiciones gamma del  $^{156}\text{Eu}$ , en orden de intensidad decreciente

Energía (keV)	Intensidad (%)
811,77	9,7
88,97	8,4
1230,71	8,0
1153,67	6,8
1242,42	6,6
646,29	6,3
723,47	5,4
1065,14	4,9
1154,08	4,7
1079,16	4,6
1965,95	3,9

El esquema general de producción del  $^{156}\text{Eu}$  es:



De este modo, la formación de  $^{156}\text{Eu}$  puede esquematizarse asignando números simples a cada uno de los nucleidos involucrados, en la siguiente forma:

- 1:  $^{154}\text{Sm}$
- 2:  $^{155}\text{Sm}$
- 3:  $^{155}\text{Eu}$
- 4:  $^{156}\text{Sm}$
- 5:  $^{156}\text{Eu}$

No se han encontrado datos en la literatura sobre la producción de  $^{156}\text{Sm}$  a partir del  $^{155}\text{Sm}$ . Por tal razón, es posible suponer que la sección eficaz para esta reacción es baja.

De esta forma, el esquema de reacción simplificado pasa a ser:

1(n,γ)2(β-)3(n,γ)5

Suponiendo consumo despreciable del blanco durante la irradiación, las correspondientes ecuaciones diferenciales para la producción son:

$$\frac{dN_2}{dt} = \sigma_{12} \phi N_1 - \lambda_2 N_2$$

$$\frac{dN_3}{dt} = \lambda_2 N_2 - (\lambda_3 + \sigma_{35} \phi) N_3$$

$$\frac{dN_5}{dt} = \sigma_{35} \phi N_3 - \lambda_5 N_5$$

Sistemas de este tipo han sido descriptos, por ejemplo, por Melcer (2006). Su solución es:

$$N_2(t) = k_{21} (1 - e^{-\lambda_2 t}), \text{ donde } k_{21} = \frac{\sigma_{12} \phi N_1}{\lambda_2}$$

$$N_3(t) = k_{31} + k_{32} \cdot e^{-\lambda_2 t} + k_{33} \cdot e^{-\Lambda_3 t}, \text{ donde:}$$

$$k_{31} = \frac{N_1 \phi \sigma_{12}}{(\lambda_3 + \sigma_{35} \phi)}$$

$$k_{32} = \frac{N_1 \phi \sigma_{12}}{(\lambda_2 - \lambda_3 - \sigma_{35} \phi)}$$

$$k_{33} = \frac{\lambda_2 N_1 \phi \sigma_{12}}{(\lambda_3 + \sigma_{35} \phi)(\lambda_3 - \lambda_2 \sigma_{35} \phi)}$$

$$\Lambda_3 = \lambda_3 + \sigma_{35} \phi$$

$$N_5(t) = k_{51} - k_{52} \cdot e^{-\lambda_2 t} - k_{53} \cdot e^{-\Lambda_3 t} + k_{55} \cdot e^{-\lambda_5 t}, \text{ donde:}$$

$$k_{51} = \frac{N_1 \phi^2 \sigma_{12} \lambda_2 \sigma_{35}}{\lambda_2 \lambda_3 \lambda_5 + \lambda_2 \lambda_5 \sigma_{35} \phi}$$

$$k_{52} = \frac{N_1 \lambda_2 \sigma_{12} \sigma_{35} \phi^2}{\lambda_2 (\lambda_2 - \lambda_5) (\lambda_2 - \lambda_3 - \sigma_{35} \phi)}$$

$$k_{53} = \frac{N_1 \lambda_2 \sigma_{12} \sigma_{35} \phi^2}{(\lambda_3 + \sigma_{35} \phi)(\lambda_3 - \lambda_2 + \sigma_{35} \phi)[\lambda_3 - \lambda_5 + \sigma_{35} \phi]}$$

$$k_{55} = \frac{N_1 \lambda_2 \sigma_{12} \sigma_{35} \phi^2}{\lambda_5(\lambda_2 - \lambda_5)(\lambda_5 - \lambda_3 - \sigma_{35} \phi)}$$

La evolución temporal de las actividades generadas es muy simple, puesto que, al no existir relaciones genéticas madre-hija, cada nucleido decae según su periodo de semidesintegración.

Es oportuno mencionar que la predicción de la actividad de  $^{156}\text{Eu}$  que puede obtenerse para una masa determinada, en función del tiempo de irradiación, es importante tanto en valor absoluto (actividad suficiente para ser detectada) como en forma relativa (actividad detectable en relación con las actividades de los otros nucleidos que podrían originarse por irradiación de samario).

La revisión de los datos nucleares primarios puede orientar, en primera instancia, acerca de las interferencias que los productos de activación directa tendrían sobre la medición del  $^{156}\text{Eu}$ :

- El  $^{155}\text{Sm}$  se descarta como interferencia, dado su corto periodo. Efectivamente, unas pocas horas serían suficientes para su decaimiento prácticamente total.
- La consideración del período relativamente largo del  $^{151}\text{Sm}$  no sería suficiente como para desprestigiar su formación, incluso en tiempos de irradiación del orden de horas o días, pues su sección eficaz es muy alta. De todas formas, la eventual interferencia que ocasionaría sería mínima, pues es un emisor  $\beta^-$  de energía baja ( $\beta_{\text{max}} = 0,1 \text{ MeV}$ ) y, además, su único fotón  $\gamma$  es de muy baja energía (22 keV).
- Aun a pesar de la relativamente baja abundancia isotópica de su precursor, la formación de  $^{145}\text{Sm}$  (y, consecuentemente, de  $^{145}\text{Pm}$ ) no puede descartarse. Sin embargo, ambos son emisores  $\gamma$  de bajas energías (61 keV y 72 keV) que no deberían interferir en la medición, siempre que sus actividades no sean altas.
- La mayor interferencia, para tiempos cortos de decaimiento, surgiría del  $^{153}\text{Sm}$ . Es posible predecir actividades altas de este nucleido, por cuya razón sería necesario aguardar varios periodos para que su decaimiento permita la medición en geometrías cercanas al detector. La energía gamma más intensa, que es también la más alta que emite el  $^{153}\text{Sm}$ , es 103 keV.
- Finalmente, el  $^{155}\text{Eu}$  será la interferencia mayor en el largo plazo. La esperanza razonable es que su actividad no sea demasiado elevada y que los picos de alta energía del  $^{156}\text{Eu}$  puedan detectarse aun en su presencia. En este caso, la energía más elevada (y también más intensa) es 105 keV.

La Tabla 3 muestra las actividades de los productos principales de activación del samario y de  $^{156}\text{Eu}$  que se obtendrían según cálculo luego de una irradiación de 48 hs, con una masa de 10 mg, a un flujo puramente térmico de  $4 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ .

**Tabla 3. Actividades, según cálculo, que se obtendrían por irradiación, durante 48 horas, de 10 mg de samario a un flujo puramente térmico de  $4 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ .**

Nucleido	Actividades (Bq)
$^{153}\text{Sm}$	$3,89 \times 10^{10}$
$^{155}\text{Sm}$	$2,35 \times 10^9$
<b><math>^{156}\text{Eu}</math></b>	<b><math>2,72 \times 10^6</math></b>
$^{155}\text{Eu}$	$1,83 \times 10^6$
$^{151}\text{Sm}$	$4,40 \times 10^5$
$^{145}\text{Sm}$	$1,22 \times 10^5$

La producción de  $^{156}\text{Eu}$  es fuertemente dependiente del tiempo de irradiación (Figura 2). Así, por ejemplo, pueden verse, en las Tablas 4, 5 y 6 las variaciones de la actividad con respecto al tiempo de irradiación para  $^{155}\text{Sm}$ ,  $^{155}\text{Eu}$  y  $^{156}\text{Eu}$ . Mientras que el  $^{155}\text{Sm}$  llega rápidamente a saturación, la relación entre actividades de  $^{155}\text{Eu}$  y  $^{156}\text{Eu}$  experimenta significativos cambios en dimensión, tal como puede apreciarse en los datos de la Tabla 7. Así, pasa de 0.083, para 3 horas de irradiación, a 1,5, cuando el tiempo de irradiación es 48 horas. Las dimensiones de estas relaciones podrían cambiar si la sección eficaz para la reacción de captura sobre  $^{155}\text{Eu}$  no fuera la tabulada, pero el aspecto importante es que la tendencia sería la misma.

**Tabla 4. Evolución de la actividad de  $^{155}\text{Sm}$  para diferentes tiempos de irradiación de 10 mg de samario, a un flujo puramente térmico de  $4 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ .**

Tiempo irradiación (h)	3	6	12	18	32	40	48
<b>Actividad (Bq)</b>	$2,34 \times 10^9$	$2,35 \times 10^9$					

**Tabla 5. Evolución de la actividad de  $^{155}\text{Eu}$  para diferentes tiempos de irradiación de 10 mg de samario, a un flujo puramente térmico de  $4 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ .**

Tiempo irradiación (h)	3	6	12	18	32	40	48
<b>Actividad (Bq)</b>	$9,64 \times 10^4$	$2,13 \times 10^5$	$4,47 \times 10^5$	$6,80 \times 10^5$	$1,22 \times 10^6$	$1,53 \times 10^6$	$1,83 \times 10^6$

**Tabla 6. Evolución de la actividad de  $^{156}\text{Eu}$  para diferentes tiempos de irradiación de 10 mg de samario, a un flujo puramente térmico de  $4 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ .**

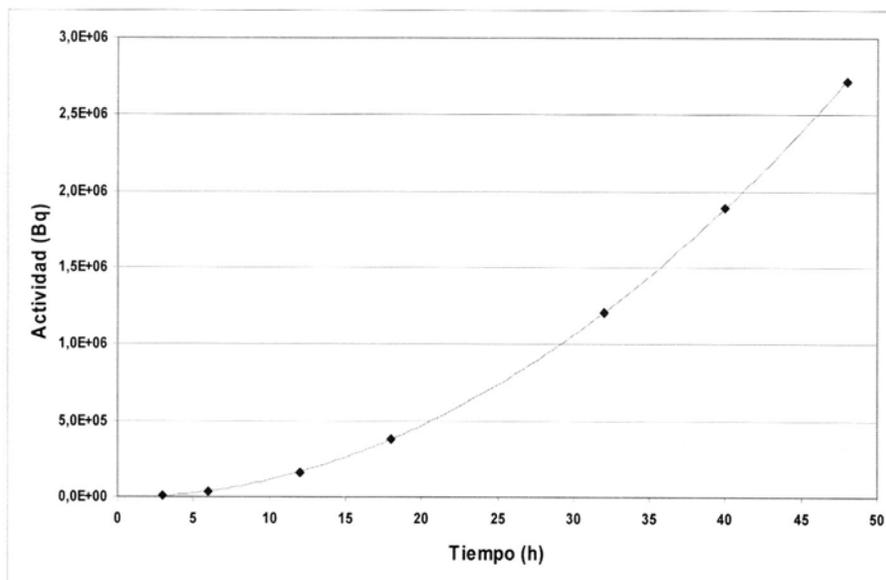
Tiempo irradiación (h)	3	6	12	18	32	40	48
Actividad (Bq)	$7,96 \times 10^3$	$3,77 \times 10^4$	$1,64 \times 10^5$	$3,78 \times 10^5$	$1,21 \times 10^6$	$1,89 \times 10^6$	$2,72 \times 10^6$

**Tabla 7. Evolución de la relación de actividades  $^{156}\text{Eu}/^{155}\text{Eu}$  para diferentes tiempos de irradiación, a un flujo puramente térmico de  $4 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ .**

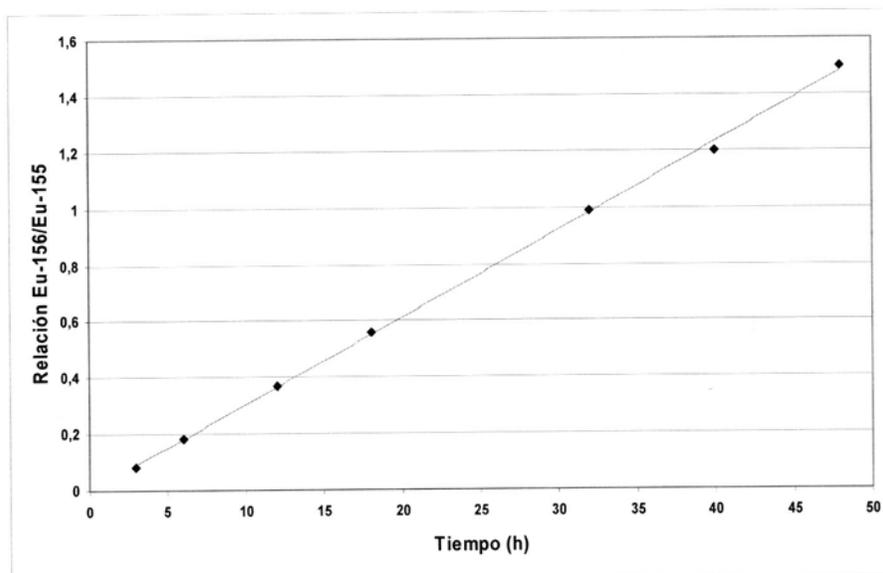
Tiempo irradiación (h)	3	6	12	18	32	40	48
Relación $^{156}\text{Eu}/^{155}\text{Eu}$	0,083	0,18	0,37	0,56	0,99	1,2	1,5

**Tabla 8. Tiempo necesario para que las actividades de  $^{153}\text{Sm}$  y  $^{156}\text{Eu}$  se igualen para diferentes tiempos de irradiación, a un flujo puramente térmico de  $4 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ .**

Tiempo irradiación (h)	3	6	12	18	32	40	48
T(días)/ $A^{153}\text{Sm} = A^{156}\text{Eu}$	41,3	38,4	35,8	34,3	32,1	31,2	30,5



**Figura 2. Evolución de la actividad de  $^{156}\text{Eu}$  para diferentes tiempos de irradiación de 10 mg de samario, a un flujo puramente térmico de  $4 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ . Puede verse la notable diferencia de esta curva con respecto a la de una activación simple.**



**Figura 3. Evolución de la relación de actividades  $^{156}\text{Eu}/^{155}\text{Eu}$  para diferentes tiempos de irradiación, a un flujo puramente térmico de  $4 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ .**

Es posible apreciar, a partir de los datos indicados en la Tabla 3, que la principal interferencia para la detección del  $^{156}\text{Eu}$  es el  $^{153}\text{Sm}$ , cuya actividad calculada es tres órdenes de magnitud superior. En principio, sería posible aguardar su decaimiento, dada la diferencia en periodos. Sin embargo, la relación de actividades tan alta lleva a pensar que el lapso necesario deber ser forzosamente grande. En la Tabla 8 se muestra el tiempo necesario para que las actividades de  $^{153}\text{Sm}$  y  $^{156}\text{Eu}$  se igualen, en función del tiempo de irradiación.

Se puede observar que el tiempo necesario para llegar a actividades iguales de ambos nucleidos es menor cuanto mayor es el tiempo de irradiación. Aun en estas condiciones, debe destacarse que, en términos operativos, sería necesario esperar dos períodos del  $^{156}\text{Eu}$  para alcanzar una condición ideal, inclusive para 48 horas de irradiación. Es cierto también que, como se mencionó en la frase anterior, la condición buscada tiene características de ideal, puesto que sería posible intentar la medición de  $^{156}\text{Eu}$  en presencia de actividades algo mayores de  $^{153}\text{Sm}$ , en razón de la menor energía de sus emisiones gamma. Debe tenerse presente también que las actividades generadas al cabo de 48 horas de irradiación podrían implicar restricciones para su manejo, desde el punto de vista de la protección radiológica.

La discusión se ha centrado hasta ahora en las características nucleares del samario. Es necesario también considerar los aspectos químicos involucrados en un proceso real. En dos laboratorios de CNEA se disponía de óxido de samario de pureza espectrográfica, procedentes de los laboratorios Johnson Matthey & Co., Limited; London. Los correspondientes certificados, emitidos en la década de los '60, contenían especificaciones mínimas con respecto a sus impurezas, aun cuando podría esperarse que los contenidos de otros elementos de las tierras raras fueran relativamente altos, dada la muy marcada similitud entre sus comportamientos químicos. En la misma situación se encontraban escandio e itrio, pertenecientes al mismo grupo en la tabla periódica de los elementos.

La Tabla 9 ilustra, a modo de ejemplo, las impurezas consignadas en un certificado más moderno del mismo proveedor [Pedreira y colaboradores, 2006].

**Tabla 9. Impurezas consignadas en un certificado de óxido de samario procedente de Jonhson Matthey & Co. [Pedreira y colaboradores, 2006]\*.**

Elemento	Concentración (ppm)
Sc	5,89 ± 0,03
Y	3,37 ± 0,02
La	3,79 ± 0,08
Ce	7,91 ± 0,12
Pr	4,85 ± 0,15
Nd	10,9 ± 0,33
Gd	12,6 ± 0,41
Eu	7,45 ± 0,11
Tb	13,9 ± 0,39
Dy	14,7 ± 0,66
Ho	7,95 ± 0,28
Er	6,97 ± 0,39
Tm	1,15 ± 0,08
Yb	4,86 ± 0,07
Lu	7,92 ± 0,31

*\* La inconsistencia en el número de cifras significativas se debe a los datos originales.*

Haciendo una traslación un tanto arbitraria al caso en estudio, sería posible predecir que las concentraciones de las impurezas de otros elementos de las tierras raras en la droga patrón de Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub> están acotadas entre 5 y 15 ppm.

En la Tabla 10 se observan las posibles reacciones de captura que se podrían producir a partir de las impurezas contenidas en la muestra de Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Se indican sólo las más relevantes, desde las constantes nucleares, sobre todo de su periodo de semidesintegración.

**Tabla 10. Posibles reacciones de captura que se podrían producir a partir de las impurezas contenidas en la muestra de  $\text{Sm}_2\text{O}_3$ .**

Reacciones Nucleares	Periodo
$^{45}\text{Sc}(n,\gamma)^{46}\text{Sc}$	83,82 d
$^{139}\text{La}(n,\gamma)^{140}\text{La}$	40,272 h
$^{140}\text{Ce}(n,\gamma)^{141}\text{Ce}$	32,50 d
$^{146}\text{Nd}(n,\gamma)^{147}\text{Nd}$	10,98 d
$^{151}\text{Eu}(n,\gamma)^{152}\text{Eu}$	13,33 a
$^{153}\text{Eu}(n,\gamma)^{154}\text{Eu}$	8,8 a
$^{152}\text{Gd}(n,\gamma)^{153}\text{Gd}$	239,47 d
$^{159}\text{Tb}(n,\gamma)^{160}\text{Tb}$	73,2 d
$^{169}\text{Tm}(n,\gamma)^{170}\text{Tm}$	128,6 d
$^{168}\text{Yb}(n,\gamma)^{169}\text{Yb}$	32 d
$^{174}\text{Yb}(n,\gamma)^{175}\text{Yb}$	4,2 d
$^{176}\text{Lu}(n,\gamma)^{177}\text{Lu}$	6,71 d

Es difícil establecer a priori la influencia de estas impurezas en la eventual detección de  $^{156}\text{Eu}$ . El panorama global muestra que, tanto desde las características nucleares de la matriz como las de las posibles impurezas, no resulta posible asegurar el éxito de las experiencias tendientes a su determinación.

## Parte Experimental

La droga de samario empleada para el estudio fue  $\text{Sm}_2\text{O}_3$  (polvo) de pureza espectrográfica (Jonhson Matthey & Co., Limited; London). Las irradiaciones se llevaron a cabo en el Reactor RA-3, mientras que las mediciones y la adquisición de datos en el laboratorio del grupo Radioquímica Básica de Datos Nucleares; ambos se encuentran en el Centro Atómico Ezeiza.

El reactor RA-3 es un reactor tipo pileta, refrigerado y moderado con agua liviana. Los valores típicos de flujo neutrónico en las posiciones seleccionadas en el presente trabajo para la irradiación operando el reactor a su máxima potencia, 10 MW térmicos, se muestran en la Tabla 11. Los datos corresponden a mediciones y cálculos realizados durante los meses de marzo y abril de 2009 y fueron suministrados por el sector Física del reactor RA-3 vía comunicación personal.

Es importante destacar que los cálculos de activación que se describieron en la sección anterior se realizaron considerando un flujo térmico de  $4 \times 10^{13} \text{ n.cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . El reactor RA-3 puede alcanzar flujos del orden de  $10^{14} \text{ n.cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , situación que favorecería mucho la formación del radionucleido de interés (Al tratarse de un producto de doble captura, su actividad depende del flujo al cuadrado, a diferencia del resto de las reacciones que se producirán en la muestra). Sin embargo, estas posiciones de irradiación

no se encuentran usualmente disponibles para este tipo de ensayos, ya que se reservan para la producción de radioisótopos. Las estimaciones de actividades obtenidas se realizaron teniendo en cuenta las condiciones reales de irradiación, en las posiciones accesibles.

**Tabla 11. Valores aproximados de las componentes del flujo del reactor en las posiciones de irradiación.**

Posición	Flujo térmico	Flujo epidérmico	Flujo rápido
B5-4X	$2,7 \times 10^{13} \text{ n.cm}^{-2}\text{s}^{-1}$	Sin datos	Sin datos
D6-4X	$5,7 \times 10^{13} \text{ n.cm}^{-2}\text{s}^{-1}$	$2,3 \times 10^{12} \text{ n.cm}^{-2}\text{s}^{-1}$	$1,1 \times 10^{13} \text{ n.cm}^{-2}\text{s}^{-1}$

Se utilizaron dos técnicas diferentes para el acondicionamiento de la muestra a irradiar. En primera instancia, las muestras fueron pesadas y selladas en recipientes de polietileno de 1,5 cm de diámetro y 0,8 cm de altura y luego colocadas en cápsulas de aluminio (canes) para su irradiación en las cajas del reactor. Esta estrategia fue empleada en el caso de las irradiaciones cortas (hasta 6 h). Al momento de realizar irradiaciones más largas fue necesario cambiar el contenedor de la muestra y se optó por usar un envoltorio de papel aluminio de aproximadamente 1,5 cm de lado. El detalle de las irradiaciones efectuadas se indica en la Tabla 12.

Las muestras irradiadas en polietileno fueron medidas directamente y las irradiadas en aluminio fueron trasvasadas a idénticos recipientes, previamente tarados. De esta manera se aseguró consistencia en las geometrías de medición.

Las mediciones se realizaron con un sistema de medición por espectrometría gamma de alta resolución, que consta de un detector de radiación de estado sólido, de germanio intrínseco (GeHP) marca ORTEC, de 67 cm<sup>3</sup>, con una resolución de 2,0 keV en el pico de 1332,5 keV de <sup>60</sup>Co y una eficiencia de 18 % respecto a un cristal de NaI(Tl) de 3" x 3", a una distancia de 25 cm para la misma transición. El sistema de detección se completa con una fuente de alta tensión ORTEC 660, un amplificador ORTEC 672 y un módulo conversor analógico digital y analizador multicanal ORTEC 919E.

Los datos se procesaron utilizando el software de adquisición, representación y análisis de espectros GammaVision versión 5.3, de la firma ORTEC.

**Tabla 12. Detalles de las Irradiaciones.**

Código de Irradiación Interno	Masa de Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (mg)	Tiempo de irradiación (h)	Posición
R19	10,5	6	D6-4X
R20	10,5	6	B5-4X
R27	2,7	48	D6-4X
R28	3,2	48	B5-4X

En la primera experiencia (irradiaciones R19 y R20), de carácter exploratorio, el análisis se concentró preferentemente en la muestra irradiada en la posición B5-4X, que permitía realizar mediciones más cortas y presentaba resultados semejantes a la irradiada en D6-4X.

Debido al alto tiempo muerto, aun en geometrías alejadas del detector, sólo fue posible medir las muestras correspondientes al primer par de irradiaciones al cabo de 26 días de decaimiento. A partir de allí, se efectuó el seguimiento diario de las mediciones.

Durante los primeros días, se observó que, a pesar del tiempo de decaimiento, el pico de 103,18 keV del  $^{153}\text{Sm}$  presentaba un alto conteo. Posteriormente, se encontró que la presencia de impurezas, en especial  $^{169}\text{Yb}$ ,  $^{175}\text{Yb}$  y  $^{152}\text{Eu}$ , imposibilitaba medir la muestra en geometrías cercanas al detector.

Aun en mediciones largas se presentaban serias dificultades para identificar al nucleido de interés. Las eficiencias pobres, debidas a las geometrías alejadas del detector, sumadas al tiempo transcurrido (más de dos periodos del  $^{156}\text{Eu}$ ) hacían que los picos de  $^{156}\text{Eu}$  apenas llegaran a detectarse.

Con el objeto de subsanar los problemas descriptos se recurrió al empleo de un absorbedor de plomo de 3,2 mm de espesor, lo que permitió atenuar las bajas energías, entre las que se encontraban el pico de 105,31 keV del  $^{155}\text{Eu}$ , algunos del  $^{152}\text{Eu}$  y la mayor parte de los picos del  $^{169}\text{Yb}$ . De esta forma disminuyó sensiblemente el tiempo muerto y se eliminó una buena parte de las interferencias. Esta estrategia permitió la identificación y la cuantificación del  $^{156}\text{Eu}$ , aunque con estadística relativamente pobre.

Sobre la base de los resultados de estas primeras experiencias, se decidió efectuar las nuevas irradiaciones utilizando una menor masa de  $\text{Sm}_2\text{O}_3$ , aumentando considerablemente, en cambio, el tiempo de irradiación. Igualmente, se resolvió medir las muestras bajo plomo (de ser necesario con espesor mayor) y minimizar así el tiempo de decaimiento. En estas condiciones fue posible realizar la primera serie de mediciones al cabo de 6 días de decaimiento. El blindaje utilizado, en este caso, fue de 6,7 mm de espesor de pared y 8,3 mm de base con el agregado de una placa de plomo de 10 mm de espesor en la base.

## Resultados y Discusión

Los resultados muestran que el factor limitante en la determinación del  $^{156}\text{Eu}$  se encuentra, antes que en la relación de actividades de los productos de activación del samario, en las interferencias que se generan a partir de las impurezas de la droga.

En la Tabla 13 se observa el listado de los radionucleidos identificados en las sucesivas mediciones, junto con sus características más importantes. Se encuentran entre ellos los provenientes de impurezas, varios de los cuales tienen periodos más largos que el del  $^{156}\text{Eu}$ . Por tal razón, un mayor tiempo de decaimiento sólo contribuiría a empeorar la situación, con relación a su medición.

Es evidente que plantear la separación radioquímica del  $^{156}\text{Eu}$  es una alternativa cargada de dificultades, en razón de que, con la única excepción del  $^{65}\text{Zn}$ , las interferencias tienen comportamiento químico análogo. Tampoco representaría solución alguna con respecto a las impurezas de  $^{152}\text{Eu}$ , (que se encuentran entre las más

relevantes) y de  $^{154}\text{Eu}$ . Por otra parte, es importante destacar que la droga utilizada está entre las de más alta pureza que puede encontrarse en el mercado.

Así delineado el problema, la única solución viable resulta ser la que se ensayó en el presente trabajo, es decir, la medición con absorbedores de plomo interpuestos entre la muestra y el detector.

En las Figuras 4 y 5 se muestran, a modo de ejemplo, los espectros de la irradiación R28, en el primer caso con la muestra directamente enfrentada al detector y en el segundo con atenuación mediante absorbedor de plomo. Se indican los picos principales del  $^{156}\text{Eu}$  y el pico de 103,18 keV del  $^{153}\text{Sm}$ . También se presenta, en la Figura 6, un detalle de la zona de los espectros correspondiente a las bajas energías (hasta aproximadamente 280 keV) donde puede apreciarse el efecto de atenuación del plomo. Puede verse que el absorbedor de plomo permitió medir la muestra a una geometría más cercana al detector, con un tiempo de decaimiento, en términos de períodos de  $^{153}\text{Sm}$ , notablemente menor.

Una medida cualitativa sobre el cambio de condiciones de medición que implica el uso de un absorbedor de plomo está representada en la Figura 7, en donde se muestra una curva de eficiencia relativa, calculada a partir de los picos de  $^{152}\text{Eu}$  medidos en la muestra. El máximo de esta curva se sitúa en alrededor de 490 keV; el pico de 244,70 keV introduce una distorsión significativa en la forma de la curva y en su regresión, mientras que el pico de 121,78 keV, el más intenso del  $^{152}\text{Eu}$ , no llega a registrar cuentas.

Una evaluación cuantitativa de la situación descrita se muestra en la Tabla 14, en donde se comparan las velocidades de conteo del pico de 1408,01 keV del  $^{152}\text{Eu}$ , a 10 cm (mejor geometría posible) y en contacto con el absorbedor de plomo de 3,2 mm apoyado sobre el detector. La velocidad de conteo favorece a esta última medición en una relación de 13, referencia muy importante porque muchos de los picos de  $^{156}\text{Eu}$  son aún de mayor energía.

**Tabla 13. Listado de los radionucleidos, identificados en las sucesivas mediciones, junto con sus características más importantes.**

<b>Nucleido</b>	<b>Energía, keV (intensidad, %)</b>
<b><sup>46</sup>Sc</b> Periodo: 83,82 d	889,28 (99,98); 1120,55 (99,98)
<b><sup>65</sup>Zn</b> Periodo: 244,3 d	770,64 (0,003); 1115,54 (50,6)
<b><sup>147</sup>Nd</b> Periodo: 10,98 d	275,37 (0,8); 531,02 (13,1)
<b><sup>153</sup>Sm</b> Periodo: 46,27 h	69,67 (4,65); 75,42 (0,233); 83,37 (0,211); 89,63 (0,156); 97,43 (0,755); 103,18 (29,23); 151,62 (0,0115); 172,85 (0,0716); 539,1 (0,0206)
<b><sup>152</sup>Eu</b> Periodo: 13,33 a	121,78 (28,58); 244,7 (7,58); 271,135 (0,073); 295,94 (0,447); 315,173 (0,0507); 329,43 (0,128); 344,28 (26,5); 351,67 (0,009); 367,79 (0,861); 411,12 (2,234); 416,052 (0,1106); 443,96 (3,148); 482,3 (0,033); 488,68 (0,419); 494,9 (0,015); 503,47 (0,149); 520,23 (0,0536); 534,248 (0,043); 563,99 (0,489); 586,26 (0,459); 656,49 (0,14); 671,151 (0,023); 678,62 (0,471); 688,67 (0,857); 719,35 (0,278); 764,9 (0,215); 778,9 (12,94); 794,78 (0,0246); 867,37 (4,245); 901,186 (0,092); 919,33 (0,427); 926,32 (0,278); 930,584 (0,073); 990,2 (0,0309); 1005,27 (0,646); 1085,87 (10,21); 1089,74 (1,727); 1112,07 (13,64); 1212,95 (1,422); 1249,94 (0,188); 1299,14 (1,623); 1348,09 (0,0169); 1408,01 (21); 1457,64 (0,502); 1528,1 (0,281); 1769,09 (0,0088)
<b><sup>154</sup>Eu</b> Periodo: 8,8 a	247,93 (6,91); 401,26 (0,19); 467,84 (0,061); 478,27 (0,22); 557,58 (0,268); 582,01 (0,889); 591,76 (4,96); 625,25 (0,318); 676,6 (0,157); 692,42 (1,792); 723,3 (20,11); 756,8 (4,54); 815,51 (0,516); 845,39 (0,588); 850,64 (0,242); 873,19 (12,2); 880,61 (0,081); 892,78 (0,515); 904,08 (0,893); 996,26 (10,23); 1128,56 (0,318); 1140,71 (0,24); 1246,15 (0,869); 1494,05 (0,7); 1537,82 (0,053); 1596,49 (0,1788)
<b><sup>155</sup>Eu</b> Periodo: 4,761 a	86,55 (30,7); 105,31 (21,2)
<b><sup>160</sup>Tb</b> Periodo: 72,3 a	298,88 (14,9); 880,3 (21,1); 965,29 (30,1); 1179,04 (26,1)
<b><sup>169</sup>Yb</b> Periodo: 32,0 d	109,78 (17,5); 118,19 (1,87); 130,52 (11,31); 177,21 (22,2); 197,96 (35,8); 261,08 (1,71); 307,74 (10,05); 386,673 (0,00034); 494,36 (0,001486); 528,572 (0,000175)
<b><sup>175</sup>Yb</b> Periodo: 4,2 d	113,81 (3,87); 144,86 (0,672); 251,474 (0,084); 282,52 (6,13); 396,33 (13,2)

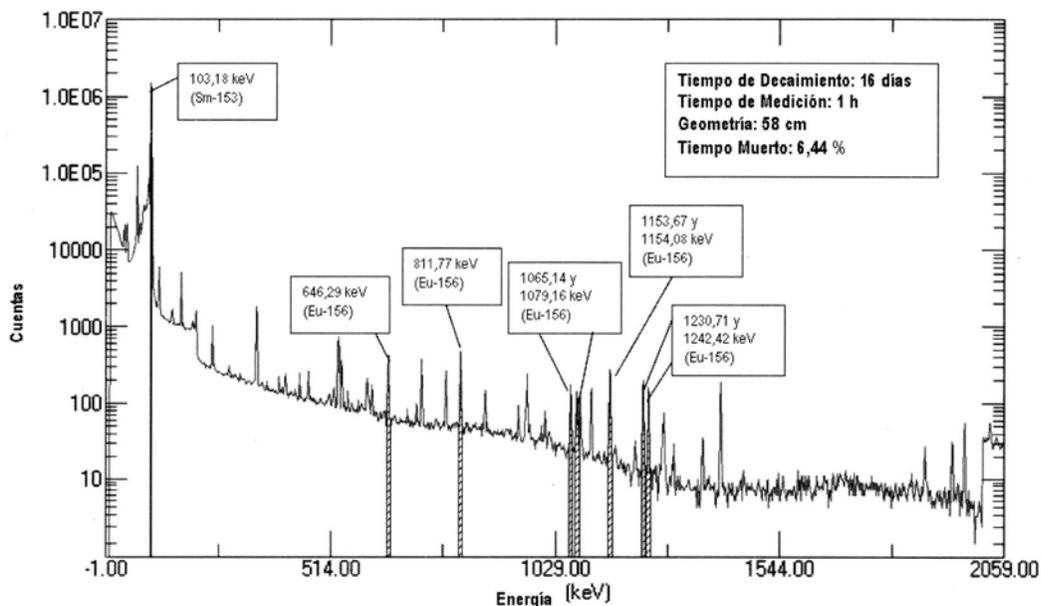


Figura 4. Espectro de medición correspondiente a la irradiación R28. Muestra enfrentada directamente al detector.

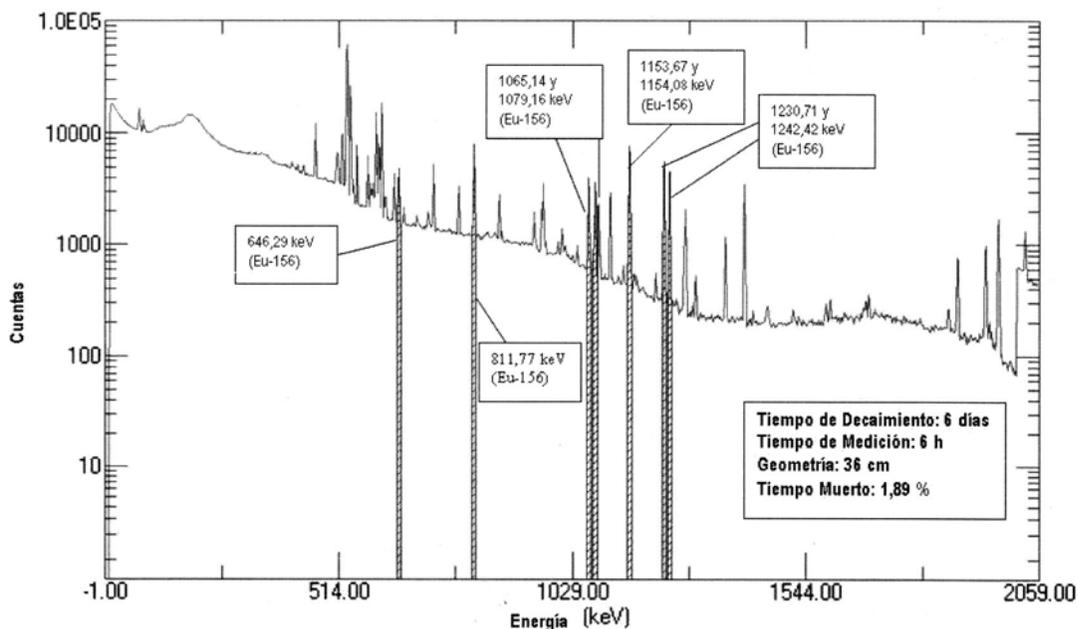


Figura 5. Espectro de medición correspondiente a la irradiación R28, con absorbedor de plomo interpuesto entre muestra y detector.

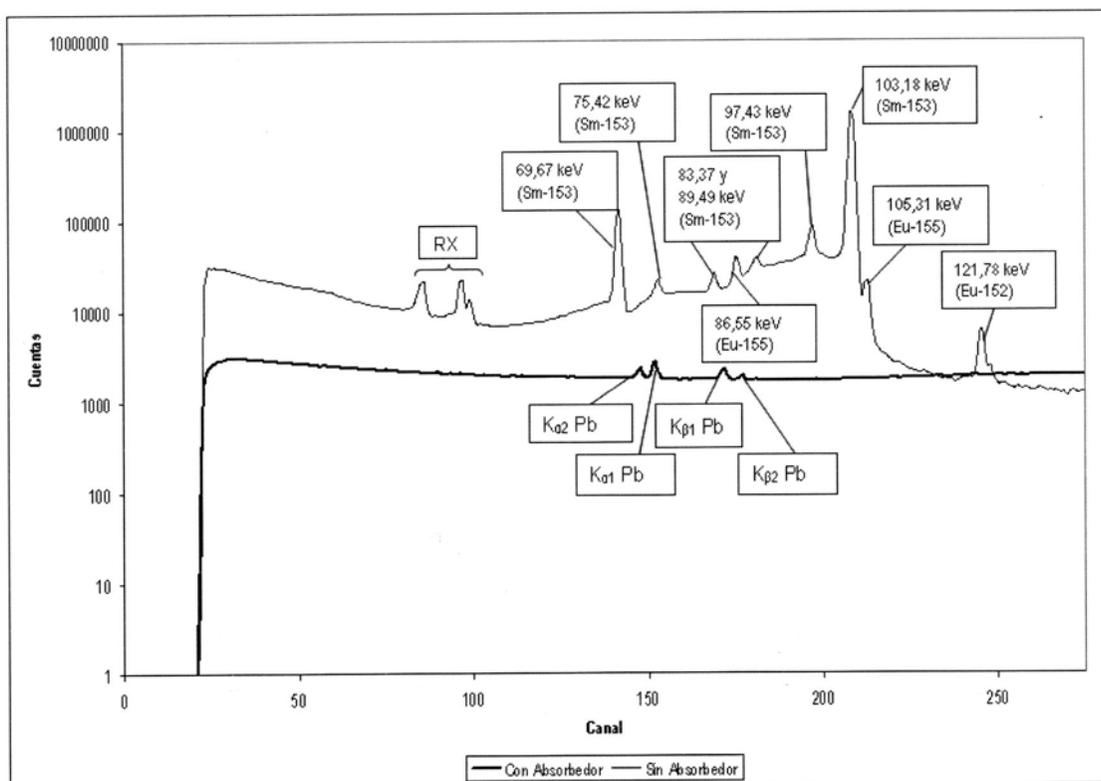


Figura 6. Comparación de los espectros en la zona correspondiente a las bajas energías. Puede observarse el efecto del absorbedor de plomo.

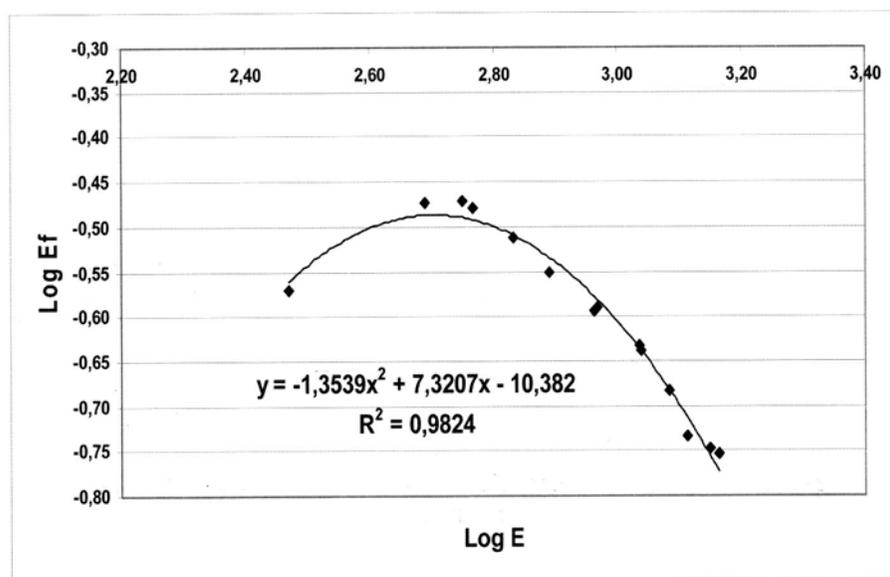


Figura 7. Curva de eficiencia relativa obtenida por medición de la muestra con un absorbedor de plomo de 3,2 mm (picos del  $^{152}\text{Eu}$ ).

**Tabla 14. Comparación de resultados de las mediciones de la muestra desnuda y con absorbedor de plomo. Energía de referencia: 1408,01 keV**

Condiciones de medición	Muestra desnuda	Medición con absorbedor de plomo
Velocidad de conteo, cuentas/h	5552	72613
Factor		13

La combinación entre tiempos de irradiación mayores (con menor masa de muestra), tiempos mínimos de decaimiento y uso de absorbedores de plomo para la medición brinda condiciones mucho más favorables para la determinación cuantitativa del  $^{156}\text{Eu}$ . A título de ejemplo, se indican en la Tabla 15 los conteos de varios picos del  $^{156}\text{Eu}$ , obtenidos por medición de una de las muestras irradiadas en la segunda serie de experiencias. En este caso la muestra se midió durante 6 horas, luego de un decaimiento de 8 días, a una geometría de 36 cm e interponiendo un absorbedor de plomo de 1,83 cm. El aspecto más favorable de este resultado es que la estadística de medición es enteramente adecuada para una medición con baja incertidumbre y permite inferir que bajo condiciones similares es posible ensayar la redeterminación de las constantes nucleares del  $^{156}\text{Eu}$  y las involucradas en su formación.

**Tabla 15. Conteo de algunos de los picos de  $^{156}\text{Eu}$  en la segunda experiencia de irradiación. Tiempo de irradiación: 48 h; tiempo de decaimiento: 8 d; tiempo de medición: 6 h; geometría: 36 cm con absorbedor de plomo de 1,83 cm.**

Picos (keV)	Conteo	Incertidumbre
646,29	11180	210
1065,14	13210	180
1079,16	12970	180
1153,53	30600	210
1154,08		
1230,71	21670	180
1242,42	17820	170

## Conclusiones

El estudio de la producción de  $^{156}\text{Eu}$  a partir de la activación de samario puede servir para la formulación de comentarios específicos con respecto a investigaciones de similar naturaleza.

- Como observación general, es difícil pensar que la producción de un radionucleido a partir de reacciones de doble captura pueda ser viable en un reactor de bajo flujo. La dependencia de la activación de esta clase de radionucleidos con el cuadrado del flujo neutrónico representa una condición que podría ser limitante o favorable, en función de los valores involucrados. Un reactor de alto flujo favorecería la inducción de actividades detectables en valor absoluto, y también implicaría una relación de actividades más favorable, con respecto a los radionucleidos producidos por reacción directa.
- Es imprescindible plantear y resolver las ecuaciones diferenciales para la activación de todas las especies vinculadas a la producción de un radionucleido por doble captura neutrónica, ya que la solución final puede apartarse significativamente, en cuanto a su dependencia temporal, con respecto a la ecuación general de activación. Se ha visto en este trabajo que la relación entre actividades estimadas de  $^{156}\text{Eu}$ , producido por captura sobre  $^{155}\text{Eu}$ , producto a su vez de una reacción de captura simple, registra una dependencia temporal que difícilmente podría haberse considerado a priori, sobre la base de sus periodos.
- En los casos que involucren a algún elemento de las tierras raras, las impurezas de los otros elementos de la misma familia puede representar un factor limitante, o hasta un impedimento insalvable, independientemente de las especies que se generen sobre los isótopos del elemento puro.
- Puesto que la vía de la separación radioquímica es de difícil aplicación, es necesario optimizar todas las variables que conduzcan a la determinación del radionucleido de interés por métodos puramente instrumentales. Se incluyen en este caso los factores temporales, específicamente los tiempos de irradiación y de decaimiento, y los que eventualmente podrían contribuir al establecimiento de condiciones de medición más favorables. En el presente trabajo, la medición empleando absorbedores de plomo representó una componente casi decisiva en la definición de la factibilidad de determinación cuantitativa del  $^{156}\text{Eu}$ .

En relación con el estudio de caso que se ha desarrollado en forma particular, han quedado delineadas las condiciones experimentales más favorables para la determinación cuantitativa del  $^{156}\text{Eu}$ . Ellas consisten, básicamente, en la irradiación de masas pequeñas de óxido de samario durante el lapso de operación continua más alto que se pueda tener (en el reactor RA-3, 120 horas) y en la posición de mayor flujo disponible; acondicionamiento para la medición en el menor tiempo de decaimiento que sea compatible con las normas de protección radiológica y con el funcionamiento adecuado de los equipos de medición y, finalmente, medición con absorbedores de plomo, para mejorar la geometría de medición.

Un aspecto sobre el cual no se efectuaron estudios específicos, pero que ha sido tenido en cuenta con relación a la proyección futura de estas investigaciones, es la estandarización, con respecto a la medición de las componentes térmica y epitérmica del flujo neutrónico. Puesto que la sección eficaz promedio del samario es muy elevada, podrían producirse efectos de apantallamiento del flujo en el interior de la muestra, que no

serían detectables si se usaran monitores externos. Por ello, se propone aquí la utilización de dos reacciones producidas sobre el mismo samario, que harían las veces de monitores internos. Ellas son:



Las secciones eficaces e integrales de resonancia para ambas reacciones guardan una relación, en cada caso de 14,4 y 4,3 [Blaaw, 2009] que haría posible la determinación de ambas componentes mediante un sistema simple de dos ecuaciones con dos incógnitas. Como factor favorable, debe señalarse que la proximidad en energías del  $^{153}\text{Sm}$  y del  $^{155}\text{Eu}$  haría posible su medición con prácticamente la misma eficiencia, reduciendo una fuente de incertidumbre. Debido a su muy alta diferencia en periodos y en actividades inicialmente formadas, tal medición podría hacerse en forma secuencial, es decir midiendo primeramente el  $^{153}\text{Sm}$  y aguardando su decaimiento para medir luego el  $^{155}\text{Eu}$ .

## Referencias

Blaaw, M. Sitio Oficial de  $k_0$ . (2009) [en línea]. Disponible en: [www.k0naa.org](http://www.k0naa.org) [Última consulta: diciembre 2009].

Cohen, I. M.; Korob, R. O.; Milá, M. I.; Rocca, H. C. (1976). "Interferencias por Doble Captura en Análisis por Activación". *Informe CNEA N° 416*. Comisión Nacional de Energía Atómica.

Knapp, F. F. (Jr). (2001). "Future Prospects for Medical Radionuclide Production in High Flux Isotope Reactor (HFIR) at the Oak Ridge National Laboratory (ORNL)". *Annals of Nucl. Med. Sci., Taiwan*, 14,109-118.

Magill, J.; Pfennig, G.; Galy, J. (2006) *Karlsruher Nuklidkarte*, Institut für Radiochemie, Forschungszentrum Karlsruhe GmbH.

Melcer, E. (2006). "Evolución Temporal de las Actividades Inducidas por Doble Captura Neutrónica en Isótopos de Erblio y Tulio". *Tesina en Ciencias Aplicadas* – Facultad Regional Buenos Aires, Universidad Tecnológica Nacional.

Pedreira, W.R.; Queiroz, C.A.; Abrão, A.; Rocha, S.M.; de Vasconcellos, M.E.; Boaventura, G.R.; Pimentel, M.M. (2006) "Trace Amounts of Rare Earth in High Purity Samarium Oxide by Sector Field Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry After Separation by HPLC". *Journal of Alloy and Compounds* 418, 247-250.

Pfennig, G.; Klewe-Nebenius, H.; Seelmann-Eggebert, W. (1995) *Karlsruher Nuklidkarte*, Institut für Radiochemie, Forschungszentrum Karlsruhe GmbH.

Seelmann-Eggebert, W.; Pfennig, G.; Münzel, H.; Klewe-Nebenius, H. (1981) *Karlsruher Nuklidkarte*, Institut für Radiochemie, Forschungszentrum Karlsruhe GmbH.

Schötzig, U.; Schrader, H. (1998). *Halbwertszeiten und Photonen-Emissionswahrscheinlichkeiten von häufig verwendeten Radionukliden*. 5<sup>ta</sup> Edición Ampliada, Physikalisch-Technische Bundesanstalt.

## MODELOS EMPÍRICOS EN LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE PAPAS<sup>1</sup>

Patricia A. Della Rocca\*<sup>1</sup>, Rodolfo H. Mascheroni<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Departamento de Ingeniería Química. Av. Medrano 951, (C1179 AAQ), Ciudad Autónoma de Buenos Aires, República Argentina

<sup>2</sup> Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos, CONICET La Plata y Universidad de La Plata, Calle 47 y 116, La Plata (B1900 AJJ), Buenos Aires, República Argentina

*\* Autor a quien la correspondencia debe ser dirigida.  
Correo electrónico: patriciadellarocca@gmail.com*

Recibido el 13 de mayo de 2010; aceptado el 2 de agosto de 2010

### Resumen

La deshidratación osmótica es una técnica de deshidratación parcial de alimentos ricos en agua que consiste en la inmersión de los mismos en soluciones acuosas de solutos (azúcares, otros edulcorantes, sales y mezclas de éstos) de alta presión osmótica. En el presente trabajo, los modelos empíricos (modelos de Peleg y Azuara) se ajustaron satisfactoriamente a los datos experimentales obtenidos en la deshidratación osmótica de papas inmersas en soluciones de sacarosa y sal. Las experiencias se llevaron a cabo en soluciones de distintas concentraciones de sacarosa (30%, 40% y 50% m/m) y la misma cantidad de sal, 10 % m/m.

**Palabras clave:** modelado secado, deshidratación osmótica, secado de papas, deshidratación de papas

### Abstracts

Osmotic dehydration is a technique for the partial dehydration of water rich foods that consists of the immersion in aqueous solutions of solutes (sugars, others sweeteners, salts or their mixtures) having high osmotic pressure. In the present work, the experimental data obtained in the osmotic dehydration of potatoes in sucrose and salt aqueous solutions were adjusted with empiric models (Peleg and Azuara models) in a satisfactory way. The experiences were carried out in different concentration solutions: sucrose (30%, 40% and 50% w/w) and the same salt concentration (10 % w/w).

**Key-words:** drying modeling, osmotic dehydration, drying of potatoes, dehydration of potatoes

---

<sup>1</sup> Trabajo realizado en el marco del Proyecto de Investigación y Desarrollo: Deshidratación de alimentos por métodos combinados: deshidratación osmótica y secado por microondas y aire caliente. Proyecto homologado por la Universidad Tecnológica Nacional, bajo el código 25/C107.

## Introducción

La deshidratación osmótica es una tecnología que se utiliza como pretratamiento en el secado de hortalizas. Presenta la ventaja de los bajos requerimientos energéticos y la fácil disponibilidad y bajo costo de algunos agentes osmóticos, como la sacarosa y la sal. Durante el proceso, se extrae parcialmente el agua de los alimentos (generalmente frutas o vegetales) al sumergirlos en una solución hipertónica. Como consecuencia de ello, se produce una contra-difusión simultánea de agua y solutos (Saputra, 2001). Se pueden reconocer tres flujos:

1. Flujo de agua del producto a la disolución
2. Flujo de solutos de la disolución al producto
3. Flujo de solutos solubles en el agua desde el producto a la disolución (azúcares, ácidos orgánicos, minerales y vitaminas)

Generalmente, este último flujo se desprecia para los efectos del modelado, puesto que aunque es importante en las características organolépticas del alimento, es muy pequeño si se lo compara con los otros dos flujos. La velocidad de transferencia de masa disminuye hasta alcanzar el equilibrio, en el que la tasa neta de transporte de masa resulta nula. La alta complejidad del proceso de transferencia de masa hace que la predicción sea difícil cuando se emplean modelos matemáticos fenomenológicos como los basados en la solución de la segunda Ley de Fick, ya que requieren determinadas suposiciones que en la práctica no son fáciles de alcanzar y que dependen de la determinación apropiada de las condiciones de equilibrio. Esta complejidad hace que se interprete la información experimental mediante modelos empíricos y semiempíricos los cuales son válidos solamente para reproducir condiciones semejantes a las experiencias de las que se obtuvieron los datos. Entonces, la metodología que se utiliza generalmente es la correlación directa de la pérdida de agua y la ganancia de sólidos con algunas variables del proceso o el planteamiento de un ajuste polinómico (Ochoa Martínez y Ayala Aponte, 2005). Estos métodos no permiten extrapolar más allá del rango experimental. Además necesitan de muchos parámetros, que por lo general pueden no tener un significado físico o no siempre generan un buen coeficiente de correlación (Parjoko et al., 1996). En cuanto a los modelos empíricos y semiempíricos se pueden utilizar Peleg y Azuara (Azuara et al., 1992, 1998) o se recurre al ajuste polinómico (Mujica-Paz et al, 2003 a y b, Rahman et al, 2001, Sablani y Rahman, 2003).

## Materiales y Métodos

### Preparación de las muestras

Se trabajó con papas, variedad Spunta. Se eligió esta variedad por resultar ideal para hervir o asar.

Las papas se pelaron y cortaron manualmente en cubos de 1 cm de lado. El exceso de humedad exterior se eliminó mediante secado rápido con papel tissue.

## Ensayos de deshidratación osmótica

Se prepararon soluciones con sacarosa y sal como solutos. Se trabajó variando la concentración de sacarosa en 30 %, 40 % y 50 % m/m (masa en masa) y la concentración de sal se mantuvo fija en 10 % m/m. La relación masa de solución a masa de papa fue de 4. La temperatura de trabajo fue de  $40 \pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$

### Descripción de la experiencia

Al inicio de la experiencia se trabajó con una masa de papa de 270 g y una masa de solución de 1080 g (relación masa de solución/masa de papa igual a 4). El sistema se colocó en un vaso de precipitado de 2 L y se agitó a 110 rpm. Se separaron 10 g de papa sin deshidratar para llevar a estufa y hacer humedad inicial. A intervalos de una hora se pesó la masa de papa total para analizar la variación del peso en el tiempo. Antes de cada pesada se retiraron las papas de la solución, se enjuagaron con agua destilada y se las secó con papel tissue. En cada intervalo se separaron 5 g de papa para determinar humedad y así poder luego elaborar la curva de humedad del producto versus tiempo. Las curvas de humedad se llevaron a cabo por triplicado. Se utilizó para las pesadas una balanza granataria, Marca Mettler, modelo P1210 y precisión 10 mg

### Determinación de humedad

El contenido de humedad se determinó a través de la pérdida de peso por desecación en estufa. Durante 2 h se las secó a  $70 \text{ }^\circ\text{C}$  y luego a  $104 \text{ }^\circ\text{C}$  por 72 h. En un principio el secado se realizó a menor temperatura, para evitar la pérdida abrupta de agua y la pérdida de material por proyección.

### Medición de la transferencia de masa

La evolución de la transferencia de masa con el tiempo se midió a través de la pérdida de peso (WR); el contenido de sólidos totales (TS) y la pérdida de agua (WL)

$$WR (\%) = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100 \quad (1)$$

donde

$m_i$ : masa inicial de muestra de papa fresca

$m_f$ : masa de muestra deshidratada osmóticamente a tiempo  $t$

$$TS (\%) = (m_s / m_0) \times 100 \quad (2)$$

$$H (\%) = 100 - TS (\%) \quad (3)$$

$m_s$ : masa de muestra seca

$m_0$ : masa de muestra fresca o inicial

$H (\%)$ : porcentaje de humedad

$m_s$ = masa de muestra seca;  $m_0$ = masa de muestra fresca o inicial;  $H (\%)$ = porcentaje de humedad

$$WL(\%) = 1 - \frac{TS^0}{100} - 1 - \frac{TS}{100} - 1 - \frac{WR}{100} \times 100 \quad (4)$$

WR = pérdida de peso;  $TS^0$  = contenido de sólidos totales iniciales

## Resultados y Análisis

Los datos experimentales obtenidos en las experiencias de deshidratación osmótica se ajustaron con los modelos empíricos de Peleg y de Azuara.

### Modelo de Peleg

Las curvas de pérdida de agua o de humedad en el producto se pueden modelar mediante la ecuación propuesta por Peleg (1998):

$$\frac{t}{H-H_i} = k_1 + k_2 t \quad (5)$$

donde:

t: tiempo

H: contenido de humedad a tiempo t

$H_i$ , contenido de humedad inicial

$k_1, k_2$ : parámetros del modelo.

El significado físico para ambos parámetros del modelo se puede obtener haciendo que  $t \rightarrow 0$  en la ecuación (5) y reordenando. Entonces se obtiene:

$$\frac{1}{k_1} = \frac{dH}{dt} \Big|_{t \rightarrow 0} \quad (6)$$

Podemos decir que  $k_1$  es inversamente proporcional a la velocidad inicial de transferencia de agua.

Por otra parte, si  $t \rightarrow \infty$ , podemos encontrar la relación del parámetro  $k_2$  con la humedad de equilibrio:

$$H_e = H_i + \frac{1}{k_2} \quad (7)$$

donde  $H_e$  es la humedad de equilibrio

En las Figuras 1 a 3 se muestra el ajuste de los datos experimentales al modelo de Peleg para las experiencias llevadas a cabo a distintas concentraciones de sacarosa en la solución deshidratante.

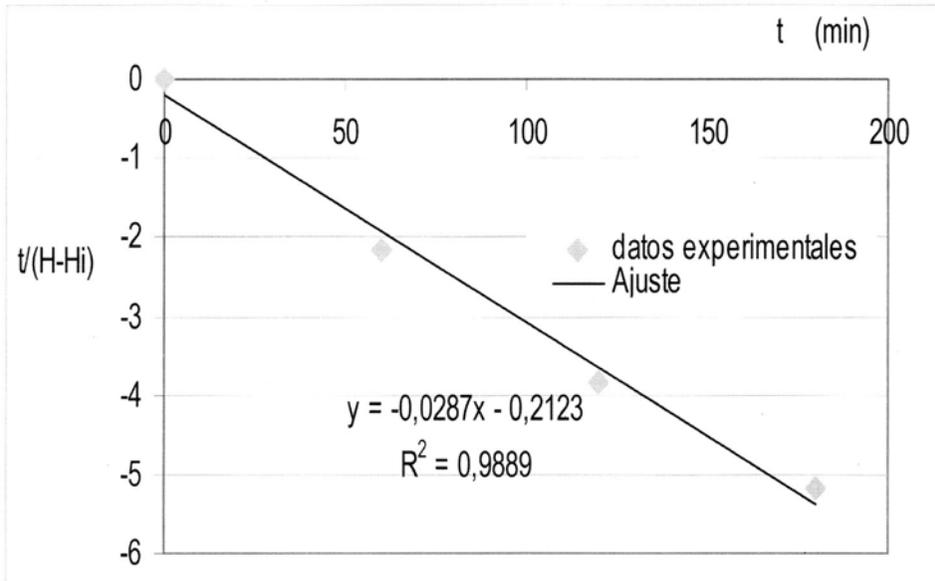


Figura 1. Ajuste de los datos experimentales al modelo de Peleg para la deshidratación osmótica de papas en solución de sacarosa al 50 % m/m y sal 10 % m/m

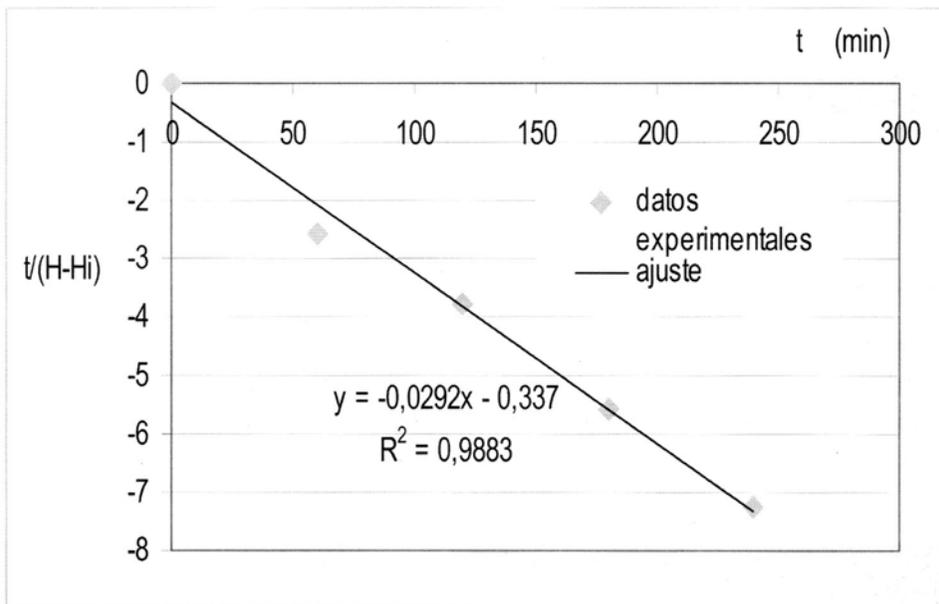


Figura 2. Ajuste de los datos experimentales al modelo de Peleg para la deshidratación osmótica de papas en solución de sacarosa al 40 % m/m y sal 10 % m/m

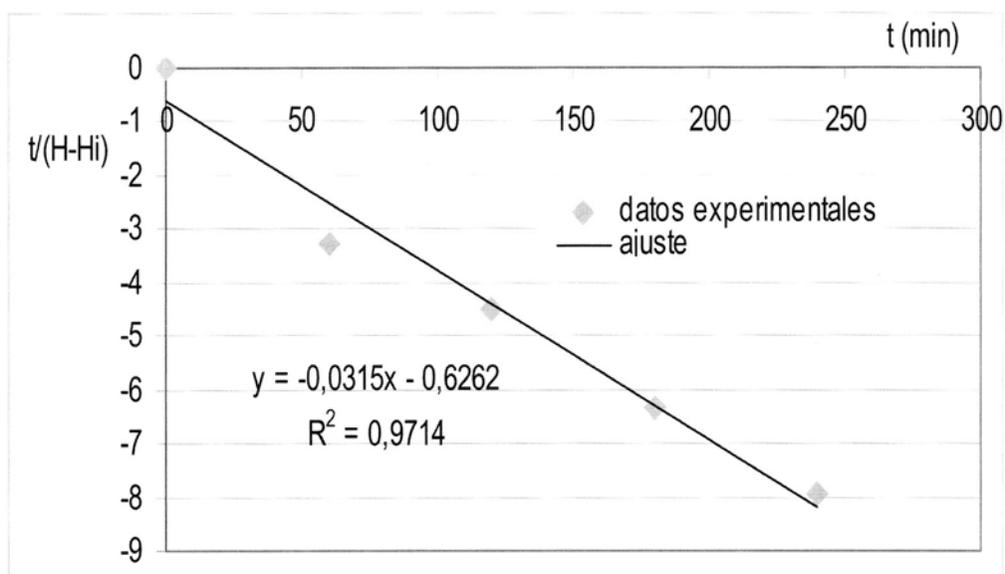


Figura 3. Ajuste de los datos experimentales al modelo de Peleg para la deshidratación osmótica de papas en solución de sacarosa al 30 % m/m y sal 10 % m/m

En la Tabla 1 se puede apreciar los valores de los parámetros  $k_1$  y  $k_2$  en las distintas experiencias y el coeficiente de correlación,  $R^2$

Tabla 1. Parámetros del modelo de Peleg ( $k_1$  y  $k_2$ ) y coeficiente de correlación,  $R^2$

% Sacarosa	% Sal	$k_1$	$k_2$	$R^2$
50	10	-0.2123	-0.0287	0.9889
40	10	-0.337	-0.0292	0.9883
30	10	-0.6262	-0.0315	0.9714

Empleando las ecuaciones (2) y (3) se estimaron las velocidades de transferencia y las humedades de equilibrio para las distintas concentraciones de sacarosa en la solución. En la Tabla 2 se presentan para las distintas soluciones ensayadas

Tabla 2. Velocidad de transferencia de masa y humedad de equilibrio

Solución	Velocidad de transferencia de masa	Humedad de equilibrio, $H_e$
Sacarosa 50% Sal 10 %	-4.71	43.36
Sacarosa 40% Sal 10 %	-2.97	44.05
Sacarosa 30% Sal 10 %	-1.59	46.55

A medida que la concentración de sacarosa aumenta, la velocidad de transferencia del agua hacia la solución incrementa, sin embargo, la humedad de equilibrio disminuye ya que egresa mayor cantidad de agua del producto.

En la Figura 4 se puede apreciar el ajuste del modelo de Peleg a la curva de humedad versus tiempo para la deshidratación de papas en solución de sacarosa al 40 % m/m y de sal al 10 % m/m

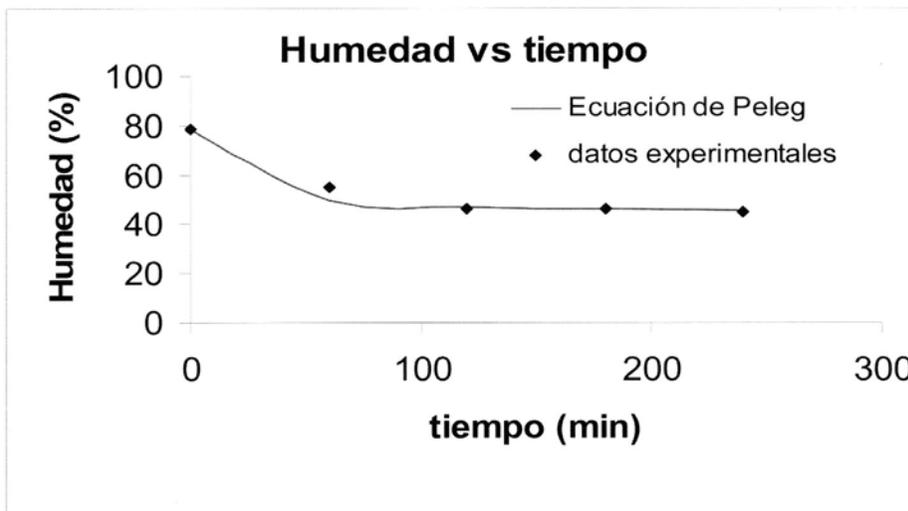


Figura 4. Curva de humedad versus tiempo. Ajuste de los datos con el modelo de Peleg para la deshidratación osmótica de papas; solución de sacarosa al 40 % m/m y de sal 10 % m/m

### Modelo de Azuara

Azuara modeló la pérdida de agua en la deshidratación osmótica a partir del balance de masa del agua. La ecuación requiere el ajuste de dos parámetros.

$$\frac{t}{WL} = \frac{1}{s_1 WL_\infty} + \frac{t}{WL_\infty} \quad (8)$$

donde:

$WL_\infty$  = Pérdida de agua a tiempo infinito

$s_1$  = constante de velocidad relativa a la pérdida de agua

Este modelo empírico tiene la ventaja de no requerir llegar al equilibrio para predecirlo y la desventaja de limitar su validez sólo al rango experimental para el que se obtuvieron los parámetros. También hay que tener en cuenta que el modelo no considera la forma, las dimensiones ni la estructura del material.

En las Figuras 5 a 7 se presentan los ajustes del modelo a los datos experimentales

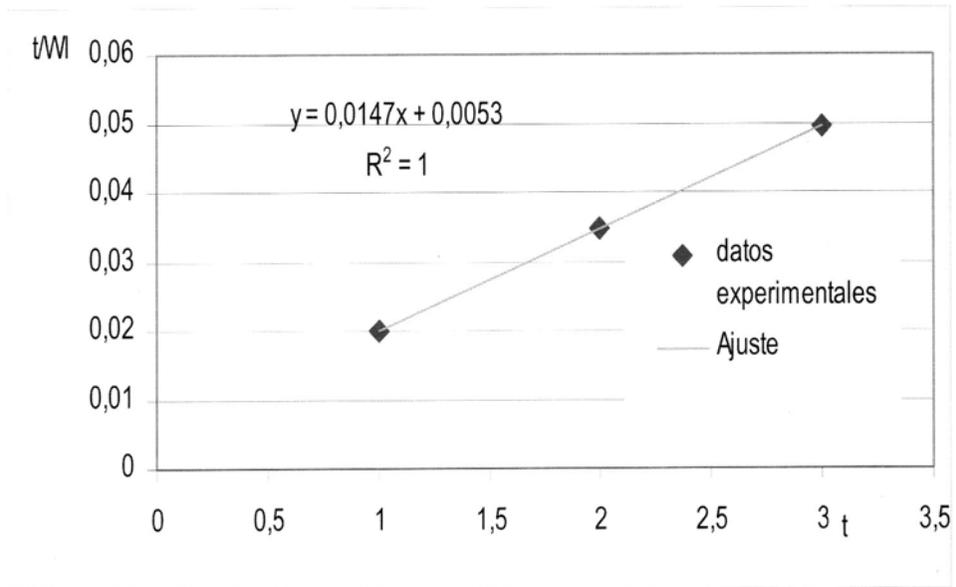


Figura 5. Ajuste del modelo de Azuara a la deshidratación de papas en solución de sacarosa al 50 % m/m y sal 10 % m/m

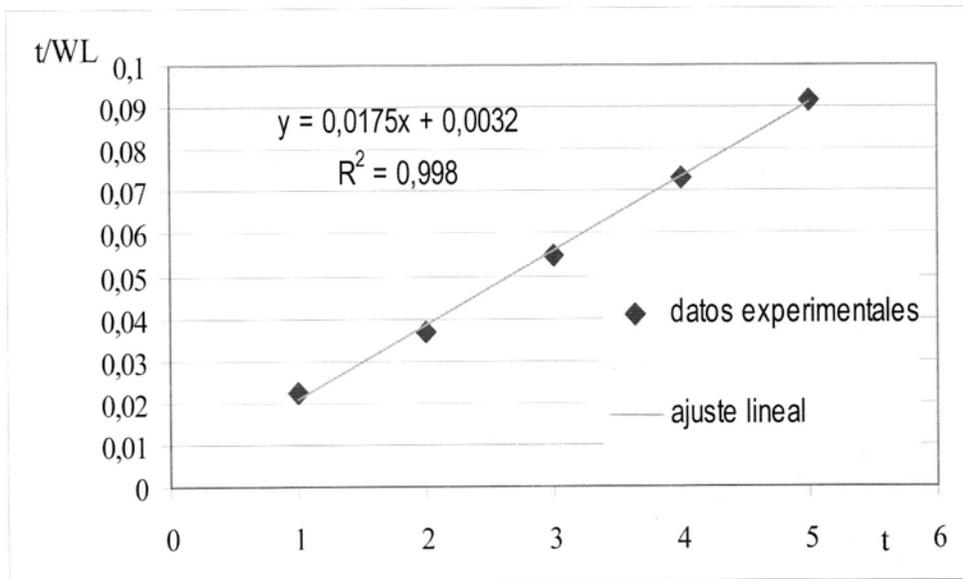


Figura 6. Ajuste del modelo de Azuara a la deshidratación de papas en solución de sacarosa al 40 % m/m y sal 10 % m/m

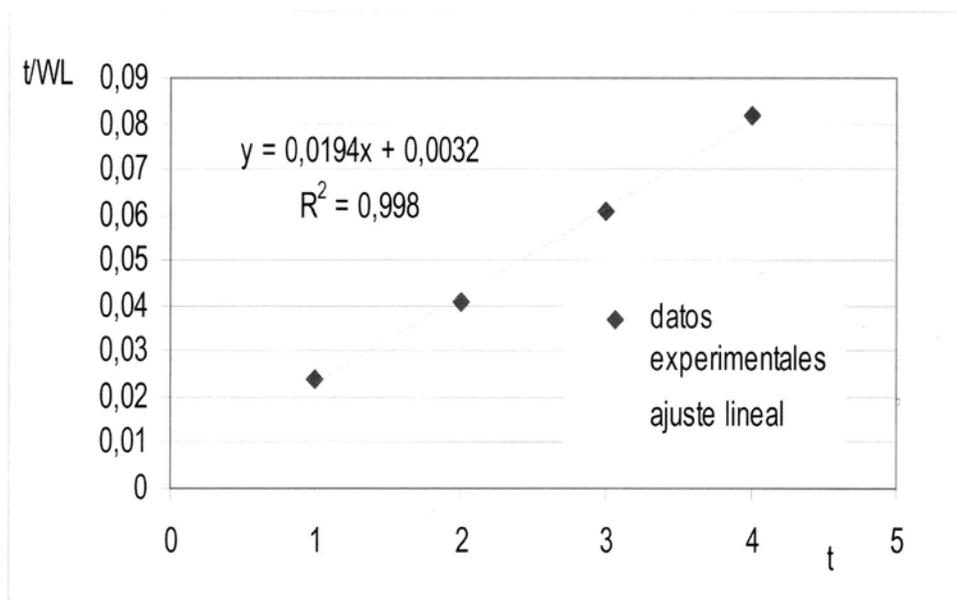


Figura 7. Ajuste del modelo de Azuara a la deshidratación de papas en solución de sacarosa al 30 % m/m y sal 10 % m/m

En la Tabla 3 se presentan los parámetros del modelo para las distintas soluciones ensayadas

Tabla 3. Parámetros del modelo de Azuara:  $WI_{\infty}$  y  $s_1$

Solución	$WI_{\infty}$	$s_1$
Sacarosa 50 % Sal 10 %	68.03	2.77
Sacarosa 40 % Sal 10 %	57.14	5.47
Sacarosa 30 % Sal 10 %	51.55	6.06

Los datos experimentales se ajustaron satisfactoriamente tanto con el modelo de Peleg como el de Azuara.

## Conclusiones

Se modeló la cinética de secado de papas por deshidratación osmótica. Los modelos empíricos de Peleg y Azuara ajustaron de manera satisfactoria los datos experimentales obtenidos en las experiencias llevadas a cabo en soluciones acuosas de distinta concentración en sacarosa (30 % m/m, 40 % m/m y 50 % m/m) e igual concentración en sal (10 %). Se pudo verificar que a medida que la concentración de sacarosa en la solución acuosa aumenta, la velocidad de transferencia del agua hacia la solución incrementa; sin embargo, la humedad de equilibrio disminuye, ya que egresa mayor cantidad de agua del producto. Los resultados obtenidos con los modelos anteriormente mencionados son válidos en las condiciones experimentales establecidas y pueden ser utilizados para el diseño y la optimización de variables de proceso.

## Referencias

Azuara, E., Beristain, C. I., y García, H. S. (1992) "Development of a mathematical model to predict kinetics of osmotic dehydration". *Journal of Food Science and Technology*, 29 (4), 239-242.

Azuara, E., Beristain, C. I., y Gutiérrez, G. F. (1998) "A Method for continuous kinetic evaluation of osmotic dehydration". *Lebensmittell-Wissenschaft und-Technologie*, 31, 317-321.

Mújica-Paz, H., Valdez-Fragoso, A., López Malo, A., Palou, E., y Welte-Chanes, J. (2003 a) "Impregnation of some fruits at vacuum pressure". *Journal of Food Engineering* 56, 307-314.

Mújica-Paz, H., Valdez-Fragoso, A., López Malo, A., Palou, E., y Welte-Chanes, J. (2003 b) "Impregnation and osmotic dehydration of some fruits: effect of the vacuum pressure and syrup concentration". *Journal of Food Engineering*, 57, 305-314.

Ochoa Martínez, C. I., y Ayala Aponte, A. (2005) "Modelos matemáticos de transferencia de masa en deshidratación osmótica". *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 4, (5), 330-342.

Parjoko, K. A., Rahman, M. S., Buckle, K. A., y Perera, C. O. (1996) "Osmotic dehydration kinetics of pineapple Hedges using palm sugar". *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, 29, 452-459.

Rahman, M.S., Sablani, S.S., Al-Ibrahim, M.A. (2001) "Osmotic dehydration of potato equilibrium kinetics." *Drying Technology* 19, (6), 1163-1176.

Sablani, S.S., Raman, M.S. (2003) "Effect of syrup concentration, temperature and sample geometry on equilibrium distribution coefficients during osmotic dehydration of mango". *Food Research International*, 36, 65-71.

Saputra, D. (2001) "Osmotic Dehydration of pineapple". *Drying Technology*, 19 (2), 415-425.

## NUEVA SOLUCIÓN TECNOLÓGICA PARA LA PROVISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A POBLADOS RURALES MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DEL ACOPLAMIENTO CAPACITIVO<sup>1</sup>

**Alejandro Cassinotti, Guillermo Cassinotti, Leonardo Melo\*, Juan Carlos Pitman, Pablo Rouca, Ariel Baez**

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Avellaneda, Av. Ramón Franco 5050, Avellaneda. Argentina.

*\*Autor a quien la correspondencia debe ser dirigida*

*Correo electrónico: lmelo@fra.utn.edu.ar*

Recibido el 4 de junio de 2010; aceptado el 22 de junio de 2010.

### Resumen

La energía eléctrica es un recurso esencial para el desarrollo de los pueblos y por ello es una preocupación constante de los países procurar apropiados sistemas de transmisión de energía eléctrica en alta tensión, que respondan eficiente y económicamente a las necesidades industriales y socio-económicas.

Las líneas que transportan la energía desde los centros de generación hacia las grandes cargas lo hacen recorriendo enormes distancias y pasando por las inmediaciones de zonas agrícolas y por muchas pequeñas poblaciones. Estas últimas se encuentran prácticamente aisladas e históricamente postergadas por vías de comunicación obsoletas y que, aun estando en las proximidades de las líneas, no justifican la instalación de estaciones de transformación convencionales para tan pequeños consumos.

Es frente a este reto del desarrollo moderno que la técnica del acoplamiento capacitivo viene a ser una alternativa, para el suministro eléctrico a estas pequeñas cargas aisladas y próximas a las líneas de transmisión en alta tensión.

Este trabajo muestra el desarrollo de un dispositivo capaz de obtener hasta 3,5 veces la potencia que actualmente logran aquellos que utilizan el hilo de guardia bajo el mismo principio. Adicionalmente se discutirán otras ventajas relevantes desde el punto de vista de instalación, mantenimiento e impacto ambiental.

**Palabras clave:** mercado eléctrico disperso, acoplamiento capacitivo, captación, electrificación rural, línea aérea, extra alta tensión.

### Abstract

Electricity is an essential resource for the development of people; thus, is a constant concern of countries to provide appropriate high voltage electrical transmission systems

---

<sup>1</sup> Trabajo parcialmente realizado en el marco del Proyecto de Investigación y Desarrollo: *Nueva solución tecnológica para captar energía eléctrica de las líneas de extra alta tensión utilizando el acoplamiento capacitivo*. Proyecto en trámite de homologación por la Universidad Tecnológica Nacional.

that can deal, in an efficient and economic manner, with industrial, social and economical needs.

The lines that transport the energy from the generation facilities to the great loads, accomplish this purpose by traveling enormous distances and passing through the vicinities of agricultural zones and many small villages. These ones, virtually isolated and historically relegated, are connected by obsolete ways. Even in the cases when they are located in the vicinities of the lines, the construction of a conventional step-down station can not be justified for such small loads.

Due to this challenge of modern development, capacitive coupling technique becomes an alternative for the electrical supply of these small isolated loads located around high voltage transmission lines.

This paper describes the development of a device capable of obtaining up to 3.5 times the power that is currently achieved by those methods that utilize the **overhead ground protection wire (OGPW)** operating under the same principle. Other relevant advantages will be discussed from the points of view of installation, maintenance and environmental impact.

**Key-words:** dispersed electrical market, capacitive coupling, collection, rural electrification, overhead line, ultra high voltage.

## Introducción

La energía eléctrica es un factor esencial para el desarrollo económico y social de los pueblos. En lo económico posibilita la implementación de capacidades tecnológicas de producción, reduciendo costos y mejorando la competitividad, tanto para mercados internos como para mercados externos. En lo social, posibilita una herramienta muy importante para la educación y el acceso a la información. También agiliza la comunicación entre las personas y proporciona confort (Cassinotti et al, 2008a).

Es un recurso esencial, ya que interviene en aspectos básicos de la vida cotidiana tan importantes como la provisión de agua o la conservación de alimentos, entre otros.

El Estado es quien en primera instancia debería estar comprometido del abastecimiento de energía a todos los ciudadanos del país. A su vez, las empresas privadas tienen la responsabilidad social de que tal recurso sea provisto

La población rural es la que compone el llamado mercado eléctrico disperso, en la que la densidad de población por unidad de consumo es muy baja, lo que redundaría en pequeños consumos aislados. Adicionalmente, se suma en muchos casos que dichos consumos se encuentran en zonas de difícil acceso y alejados de las grandes urbes.

La población rural se encuentra en desventaja económica respecto de las ciudades, dado que produce fundamentalmente productos primarios que se envían a éstas, y recibe de ellas productos elaborados con mayor valor agregado, los que solamente se producen en lugares con cierta economía de escala (Secretaría de la Energía de la Nación, 2006).

Tal vez uno de los inconvenientes más grandes a los que se enfrentan las poblaciones rurales sea la emigración y el desarraigo, que impiden su crecimiento incluso llegando a hacerlas desaparecer. Esto viene dado no solamente por los factores mencionados, sino que además la diferencia de bienestar con las ciudades se hace cada vez más notoria, siendo la energía eléctrica un elemento fundamental para reducir esta brecha (Ministerio de Planificación y Cooperación, Chile, 2002).

Por ello es que la distribución rural debería ser un tema importante para todas las naciones. En Latinoamérica lo prueba la existencia del CLER (Consejo Latinoamericano de Energía y Telecomunicaciones Rurales) organización dedicada a buscar soluciones a este problema socio-económico que enfrenta particularmente nuestro continente.

Es bien conocido que en Latinoamérica el mercado rural es muy vasto, dadas sus características de distribución geográfica.

En Argentina existen alrededor de 10.000 km de líneas de 500 kV, que atraviesan alrededor del 50% de las provincias que conforman nuestro país. Estas líneas cruzan las más diversas topografías y regiones, en algunas de las cuales encontramos pequeños consumos como los anteriormente indicados.

Es aquí donde podemos intentar la realización de una distribución rural de energía eléctrica accesible, cuando las condiciones normales de viabilidad económicas para la instalación de subestaciones de rebaje convencionales son altamente desfavorables.

Para ello, se pretende utilizar la energía que inevitablemente se dispersa a partir de las líneas de alta tensión a través de su campo electromagnético circundante. Particularmente se aprovechará al campo eléctrico, sobre el cual está basado este estudio.

## Marco teórico

Con el objeto de lograr un mayor entendimiento de los conceptos físicos utilizados para realizar este trabajo, a continuación se presentan los conocimientos teóricos que sirven para justificar el modelo utilizado.

### Ecuaciones de Maxwell del electromagnetismo

Todos los fenómenos electromagnéticos clásicos (no cuánticos) se pueden describir a partir de las ecuaciones de Maxwell:

$$\nabla \cdot \vec{D}(\vec{r}, t) = \rho(\vec{r}, t) \quad \text{Ley de Gauss eléctrica} \quad (1)$$

$$\nabla \cdot \vec{B}(\vec{r}, t) = 0 \quad \text{Ley de Gauss magnética} \quad (2)$$

$$\nabla \times \vec{E}(\vec{r}, t) = -\frac{\partial}{\partial t} \vec{B}(\vec{r}, t) \quad \text{Ley de Faraday} \quad (3)$$

$$\nabla \times \vec{H}(\vec{r}, t) = \frac{\partial}{\partial t} \vec{D}(\vec{r}, t) + \vec{j}(\vec{r}, t) \quad \text{Ley de Maxwell-Ampere} \quad (4)$$

Donde generalmente las incógnitas son los campos vectoriales:

$\vec{E}$  : campo eléctrico (V/m),

$\vec{D}$  : campo de desplazamiento (C/m<sup>2</sup>),

$\vec{H}$  : campo magnético(A/m),

$\vec{B}$  : campo de inducción magnética (T),

y las fuentes que crean dichos campos en el espacio son:

$\rho$  : densidad volumétrica de cargas (C/m<sup>3</sup>)

$\vec{j}$  : densidad de corriente eléctrica (A/m<sup>2</sup>)

Estos campos conforman el modelo electromagnético. Las dos ecuaciones del rotor (3) y (4) garantizan que hay una dependencia mutua entre campos eléctricos y magnéticos variables en el tiempo, de manera que en este caso ambos campos están interrelacionados. Las leyes de Maxwell son un sistema de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales vectoriales lineales inhomogéneas. En general su resolución es bastante difícil.

De estas ecuaciones se deriva la ecuación de continuidad que representa el principio de la conservación de la carga eléctrica:

$$\nabla \cdot \vec{j}(\vec{r}, t) = -\frac{\partial \rho}{\partial t} \quad \text{Ecuación de continuidad} \quad (5)$$

Es posible obtener una solución general de las ecuaciones de Maxwell en términos de los potenciales electrodinámicos (vectorial  $\vec{A}(\vec{r}, t)$  y escalar  $\Phi(\vec{r}, t)$ ) que se deducen de éstas

$$\vec{E}(\vec{r}, t) = -\nabla\Phi(\vec{r}, t) - \frac{\partial \vec{A}(\vec{r}, t)}{\partial t} \quad \vec{B}(\vec{r}, t) = \nabla \times \vec{A}(\vec{r}, t) \quad (6)$$

y que conducen a las siguientes ecuaciones de onda, cuyas soluciones particulares son:

$$\nabla^2 \Phi(\vec{r}, t) - \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} = -\frac{\rho(\vec{r}, t)}{\epsilon_0} \Rightarrow \Phi(\vec{r}, t) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{\rho(\vec{r}', t')}{|\vec{R}|} dV' \quad (7)$$

$$\nabla^2 \vec{A}(\vec{r}, t) - \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{A}(\vec{r}, t)}{\partial t^2} = -\mu_0 \vec{j}(\vec{r}, t) \Rightarrow \vec{A}(\vec{r}, t) = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{\vec{j}(\vec{r}', t')}{|\vec{R}|} dV' \quad (8)$$

donde los efectos se observan en el punto campo, de coordenadas  $(\vec{r}, t)$ , mientras que las integrales se realizan en los puntos fuentes de coordenadas  $(\vec{r}', t')$ , siendo  $|\vec{R}| = |\vec{r} - \vec{r}'|$  la distancia entre punto campo y punto fuente. Además, el tiempo en el punto fuente y en el punto campo no son iguales:  $t' = t - \sqrt{\mu_0 \epsilon_0} \cdot |\vec{R}|$ , por lo que las variaciones en la fuente en el instante  $t'$  se reflejan en el punto campo en un instante posterior  $t$ . Debido a que existe un retardo entre causa y efecto, estos potenciales se llaman retardados. Este retardo se explica por la existencia de una velocidad máxima finita de propagación de las interacciones (principio de relatividad de Einstein)

### Caso cuasiestacionario

Para fenómenos variables en el tiempo se requiere el análisis de campos con los potenciales retardados, las corrientes dejan de ser estacionarias, y las reglas de Kirchoff dejan de cumplirse. Sin embargo, podemos pensar que para frecuencias bajas el comportamiento de los sistemas no debe diferir demasiado del comportamiento a corriente continua, y que el pasaje de los fenómenos circuitales puros a los fenómenos de radiación debe ser gradual y paulatino a medida que aumenta la frecuencia. Este razonamiento nos lleva a analizar el caso cuasiestacionario, donde la frecuencia es tan baja que podemos aproximar las ecuaciones de Maxwell a su formato estático, aunque conservando la dependencia temporal:

$$\nabla \cdot \vec{D}(\vec{r}, t) = \rho(\vec{r}, t) \quad (9)$$

$$\nabla \cdot \vec{B}(\vec{r}, t) = 0 \quad (10)$$

$$\nabla \times \vec{E}(\vec{r}, t) = 0 \quad (11)$$

$$\nabla \times \vec{H}(\vec{r}, t) = \vec{j}(\vec{r}, t) \quad (12)$$

$$\nabla \cdot \vec{j}(\vec{r}, t) = 0 \quad (13)$$

$$\vec{E}(\vec{r}, t) = -\nabla\Phi(\vec{r}, t) \quad \vec{B}(\vec{r}, t) = \nabla \times \vec{A}(\vec{r}, t) \quad (14)$$

$$\nabla^2\Phi(\vec{r}, t) = -\frac{\rho(\vec{r}, t)}{\epsilon_0} \Rightarrow \Phi(\vec{r}, t) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{\rho(\vec{r}', t)}{|\vec{R}|} dV' \quad (15)$$

$$\nabla^2\vec{A}(\vec{r}, t) = -\mu_0\vec{j}(\vec{r}, t) \Rightarrow \vec{A}(\vec{r}, t) = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{\vec{j}(\vec{r}', t)}{|\vec{R}|} dV' \quad (16)$$

Se observa entonces que ha desaparecido la distinción entre tiempo fuente y tiempo campo, es decir que en la aproximación cuasiestacionaria los efectos son instantáneos, como en el caso estático. Es posible aplicar la aproximación cuasiestacionaria de las ecuaciones del electromagnetismo cuando la mínima longitud de onda significativa del espectro de Fourier de los campos involucrados  $\lambda_{\min}$  (que en medios lineales es el espectro de Fourier de la fuente de campo) es muy grande frente a las dimensiones de la fuente (para 50 Hz, la longitud de onda es aproximadamente de 6000 km). Siendo D la distancia entre fuente y objeto se puede adoptar como condición de aplicación del modelo cuasiestacionario:

$$\lambda_{\min} > 10D \quad (17)$$

### Principio de superposición

Debido a la linealidad de las ecuaciones y que el medio interviniente es lineal, esto es, la permitividad dieléctrica  $\epsilon$  y la permeabilidad magnética  $\mu$  no dependen del campo, es válido el principio de superposición. Según este principio, el efecto obtenido por la presencia simultánea de varias causas es la superposición de los efectos causados por cada causa actuando individualmente. En el ejemplo de dos cargas puntuales  $q_1$  y  $q_2$  presentes simultáneamente en posiciones estáticas (respecto a una masa inercial), el campo creado por la distribución de carga es la superposición (suma vectorial) de los campos creados individualmente por cada carga puntual tomada como única en el universo (figura 1).

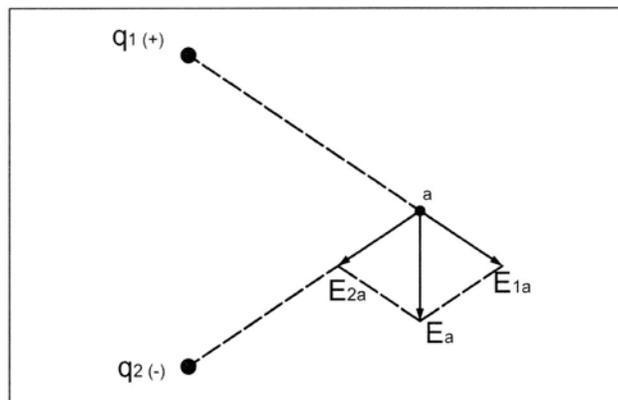


Figura 1. Principio de superposición

## Método de las imágenes

En problemas electromagnéticos es común encontrarse con condiciones de borde en donde los valores de potencial se anulan en el infinito o son constantes en superficies definidas, como el plano de tierra. En estos casos, debido a los principios de existencia y unicidad de la solución del problema de potencial, es posible utilizar los más variados métodos de resolución con tal de cumplir con las condiciones de borde y con las ecuaciones del potencial en el interior de la frontera

La tierra es un buen conductor eléctrico a bajas frecuencias. Por lo tanto, un conductor aislado y tierra se comportan como un capacitor formado por dos electrodos: uno, un cilindro y el otro un plano paralelo equipotencial.

Si en el conductor existe una carga "+q" se tendrá en tierra una carga "-q" distribuida (figura 2a). Se puede suponer a la misma concentrada en un conductor que denominamos conductor imagen, ubicado a una profundidad "h" del nivel del suelo y que produce el mismo campo eléctrico. Lógicamente el valor de potencial obtenido sólo es válido en el espacio sobre el plano de tierra. El modelo equivalente es el mostrado en la figura 2b.

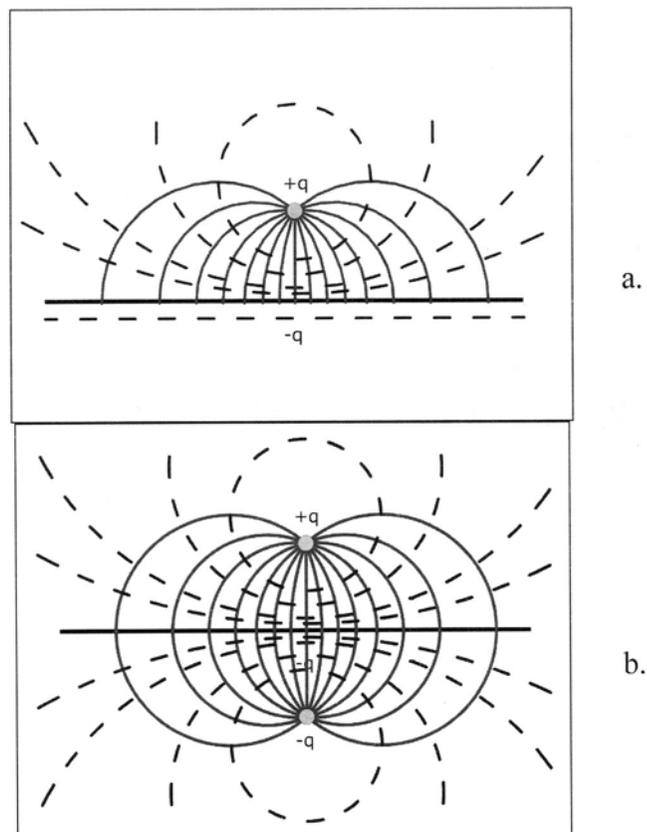


Figura 2. a.- Trazado de campo eléctrico para un conductor con carga positiva y un plano de tierra. b.- Idéntico trazado de campo desarrollado por el método de las imágenes. (En línea llena se observan las líneas de campo eléctrico, mientras que en línea punteada se observan las líneas equipotenciales.)

### Coefficientes de potencial y de capacidad.

Cuando existe un conjunto de conductores cargados a distancias no muy grandes entre sí, la distribución de carga y el potencial de cada uno dependen de todos los otros debido a la redistribución de carga producida por la inducción electrostática. Para analizar esta situación se deben utilizar los llamados coeficientes de potencial, que introduciremos:

Sean N conductores,  $i = 1, 2, \dots, N$ . El potencial electrostático que crean en un punto cualquiera del espacio es:

$$\Phi(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^N \oint_{S_i} \frac{\sigma_i(\vec{r}')}{R_i} ds' \quad (18)$$

Donde  $R_i = |\vec{r} - \vec{r}'|$

En particular, el potencial del conductor  $j$ -ésimo del conjunto será:

$$\Phi_j = \Phi(\vec{r}_j) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^N \oint_{S_i} \frac{\sigma_i(\vec{r}')}{R_{ij}} ds' \quad (19)$$

Supongamos inicialmente que todos los conductores están descargados, salvo el  $i$ -ésimo. Entonces:

$$\Phi_j^{(i)} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^N \oint_{S_i} \frac{\sigma_i(\vec{r}')}{R_{ij}} ds' \quad (20)$$

es el potencial del conductor  $j$ -ésimo debido únicamente a la carga en el  $i$ -ésimo conductor.

Si modificamos ahora la carga de este conductor  $Q_j \rightarrow \lambda Q_j$  ( $\sigma_i \rightarrow \lambda \sigma_i$ ) se observa de la correspondiente ecuación que  $\Phi_j^{(i)} \rightarrow \lambda \Phi_j^{(i)}$ , es decir, hay una relación lineal entre la carga y el potencial que esa carga crea. Podemos escribir entonces:  $\Phi_j^{(i)} = P_{ij} Q_i$  donde  $P_{ij}$  es un factor de proporcionalidad que depende de la geometría de la disposición de los dos conductores.

Si ahora damos carga a los otros conductores, podemos calcular el potencial del  $j$ -ésimo por superposición:

$$\Phi_j = \sum_{i=1}^N P_{ij} Q_i \quad (21)$$

Los coeficientes  $\{P_{ij}\}$  de esta suma son los llamados coeficientes de potencial del conjunto de conductores.

Este es un sistema de ecuaciones lineales que puede expresarse en forma matricial:

$$[\Phi] = [P] \cdot [Q] \quad (22)$$

Donde:

$$[\Phi] = [\Phi_1 \Phi_2 \Phi_3 \dots \Phi_N]^T \text{ y } [Q] = [Q_1 Q_2 Q_3 \dots Q_N]^T \quad (23)$$

Siendo:

$\Phi_i$  : Potencial del conductor  $i$ -ésimo

$P_{i,j}$  : Coeficiente de potencial entre el conductor  $i$  y el conductor  $j$

Los coeficientes de potencial dependen de la "geometría" del arreglo de conductores y de las características del medio. Las alturas a considerar para este cálculo

serán las equivalentes. Puede demostrarse que los coeficientes de potencial tienen las siguientes características

$P_{ij} > 0$  : Todos los coeficientes son positivos

$P_{ij} = P_{ji}$  : La matriz P es simétrica

$P_{ii} > P_{ij}$  : La matriz P es diagonal dominante

$Q_i$  : Carga por unidad de longitud del conductor i-ésimo

La ecuación matricial (22) puede invertirse para expresar las cargas de los conductores en función de sus potenciales:

$$[Q] = [P]^{-1} \cdot [\Phi] = [C] \cdot [\Phi] \quad (24)$$

Siendo:

$C_{ii}$  : Coeficiente de capacidad del conductor i

$C_{ij}$  ( $i \neq j$ ): Coeficiente de inducción entre el conductor i y el conductor j

Los coeficientes de capacidad tienen propiedades que se deducen de las de los coeficientes de potencial:

$C_{ii} > 0$  : Los coeficientes de capacidad son positivos

$C_{ij} \leq 0$  : Los coeficientes de inducción son no positivos

$C_{ij} = C_{ji}$  : La matriz C es simétrica

$$Q_i = \sum_{j=1}^N C_{ij} \Phi_j \quad (25)$$

Ahora bien, consideremos un cuerpo conductor, ubicado cerca de una línea trifásica. Las fases se encuentran a los potenciales  $\Phi_1$ ,  $\Phi_2$  y  $\Phi_3$ , respectivamente.

Pueden considerarse dos casos extremos:

- (1) El cuerpo está completamente aislado de tierra
- (2) El cuerpo está conectado a tierra mediante un conductor.

Aplicando la ecuación (25), que relaciona el potencial  $\Phi_0$  y la carga  $Q_0$  relativa al conductor, se tiene (CIGRE, 1980):

$$Q_0 = \Phi_0 \cdot C_0 + \Phi_1 \cdot C_{10} + \Phi_2 \cdot C_{20} + \Phi_3 \cdot C_{30} \quad (26)$$

En la condición (1): con  $Q_0 = 0$  se tiene:

$$\Phi_0 = - \frac{\Phi_1 \cdot C_{10} + \Phi_2 \cdot C_{20} + \Phi_3 \cdot C_{30}}{C_0} \quad (27)$$

que es el potencial que adquiere el conductor aislado con respecto al potencial de tierra o tensión equivalente de Thevenin.

En la condición (2): con  $Q_0 \neq 0$  y  $\Phi_0 = 0$  se tiene:

$$Q_0 = \Phi_1 \cdot C_{10} + \Phi_2 \cdot C_{20} + \Phi_3 \cdot C_{30} \quad (28)$$

$$i_0 = -j \cdot \omega \cdot Q_0 \cdot L = -j \cdot \omega \cdot (\Phi_1 \cdot C_{10} + \Phi_2 \cdot C_{20} + \Phi_3 \cdot C_{30}) \quad (29)$$

$$\Phi_0 = \frac{i_0}{j \cdot \omega \cdot C_0} \quad (30)$$

$$i_0 = j \cdot \omega \cdot C_0 \cdot \Phi_0 \quad (31)$$

donde  $i_0$  es la corriente inducida por unidad de longitud de exposición. La corriente inducida total con el conductor conectado a tierra, o corriente equivalente de Norton, será:

$$I_0 = i_0 \cdot L \quad (32)$$

Siendo  $L$  la longitud de exposición del conductor

Por lo tanto la potencia total obtenida será:

$$S = I_0 \cdot \Phi_0 \quad (33)$$

### **Influencia capacitiva de una línea de transmisión de alta tensión**

La influencia capacitiva de una línea de transmisión en las cercanías de un conductor paralelo a dicha línea depende básicamente de los siguientes parámetros (CIGRE, 1995):

- **Tensión eléctrica de la línea:** La influencia se incrementa proporcionalmente a la tensión de línea.

- **Ubicación del conductor paralelo con respecto a la línea de transmisión:** El nivel de tensión inducida cambia con la ubicación del conductor paralelo y la línea de transmisión dada las variaciones de la capacidad resultante entre los mismos.

- **Condiciones de operación:** Cuando el sistema eléctrico es operado en condiciones de estado estacionario, cada conductor de la línea acopla capacitivamente con el conductor paralelo. Debido a los diferentes valores de las tres capacidades (de cada conductor de la línea al conductor paralelo) sólo puede existir una cancelación parcial de las influencias de las tres fases. La corriente resultante y el voltaje inducido son una función de las diferencias de capacidades. Para sistemas con más de un circuito, la disposición geométrica de los mismos tiene una influencia importante.

- **Longitud de exposición:** El nivel de tensión inducida en el conductor paralelo no depende de la longitud de exposición de este último con respecto a la línea. Sin embargo, la corriente de descarga a tierra aumenta con la longitud.

### **Antecedentes Tecnológicos (problemas e inconvenientes)**

El acoplamiento capacitivo se está utilizando actualmente en Latinoamérica para la obtención de energía eléctrica a partir del aislamiento de un tramo de uno de los dos hilos de guardia de la línea de alta tensión. Ejemplo de esto son los trabajos realizados por las empresas eléctricas Electroperú y Transener Argentina. Esta solución trae aparejados algunos inconvenientes: En primer lugar, disminuye la protección de las líneas ante descargas atmosféricas, debido a la desconexión de tierra de uno de los dos hilos de guardia; una segunda limitación es que los trabajos de instalación y mantenimiento deben realizarse por sobre la línea bajo tensión, dado que no es viable desenergizar la misma para este tipo de tarea; por último, debido a que la ubicación del hilo de guardia ha sido preestablecida al momento de construcción de la línea, no es posible cambiar su posición para poder optimizar el proceso de captación de energía.

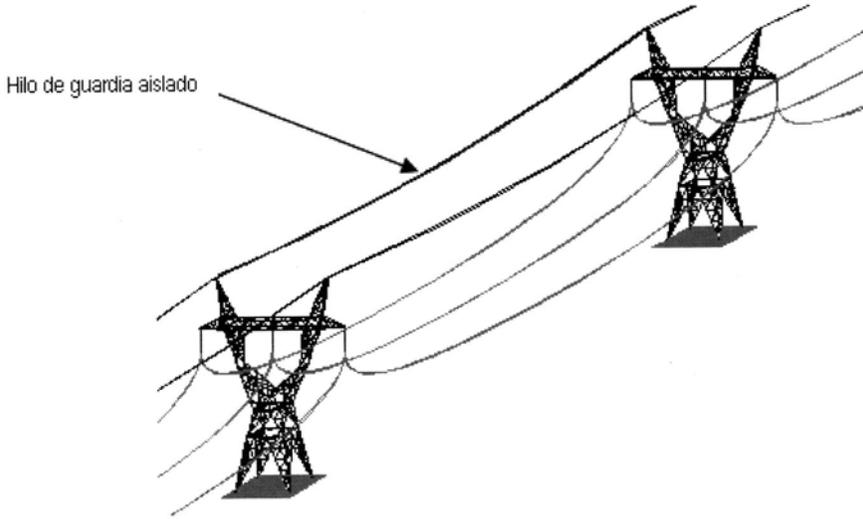


Figura 3. Disposición del hilo de guardia aislado

### Nueva Solución

Ya se ha discutido sobre las limitaciones que se observan en el método que utiliza el hilo de guardia como dispositivo captador utilizado para la obtención de energía eléctrica. Por tal motivo se presenta a continuación la utilización de un conductor externo a la línea, como elemento captador, que reemplace a la utilización del hilo de guardia (Cassinotti et al, 2008b).

La tensión inducida en este conductor aislado paralelo a la línea ubicado a una distancia "d" desde el eje de la línea y una altura "h" sobre el terreno se calcula mediante la ecuación (27). La corriente y la potencia captada por el dispositivo se calculan mediante las ecuaciones (32) y (33) respectivamente.

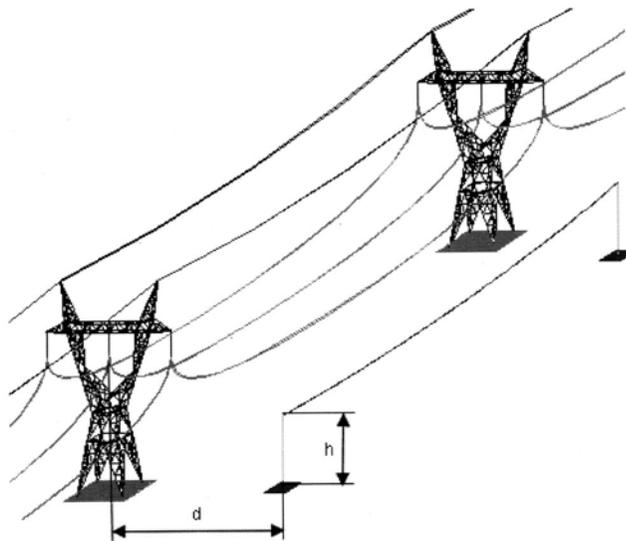


Figura 4. Disposición de conductor externo paralelo a la línea aislado

Para poder encontrar la ubicación óptima del conductor que garantice los niveles de tensión inducida y energía necesarios para el fin propuesto y teniendo en cuenta las distancias mínimas de seguridad (Asociación Eléctrica Argentina, 2007) nos valemos de la familia de curvas representadas en la Figura 5. Cada curva (calculadas según las ecuaciones anteriores) representa la tensión inducida en el conductor aislado paralelo a la línea.

Puede observarse, en un corte transversal a la línea, la ubicación física de los conductores de la misma y los correspondientes hilos de guardia en un poste de suspensión. Sin embargo, el centro a partir del cual se considera la distribución de las curvas iso-potenciales se ha tomado a partir de la altura equivalente de los conductores con el fin de compensar la forma de catenaria que toma el tendido de los mismos entre dos postes consecutivos.

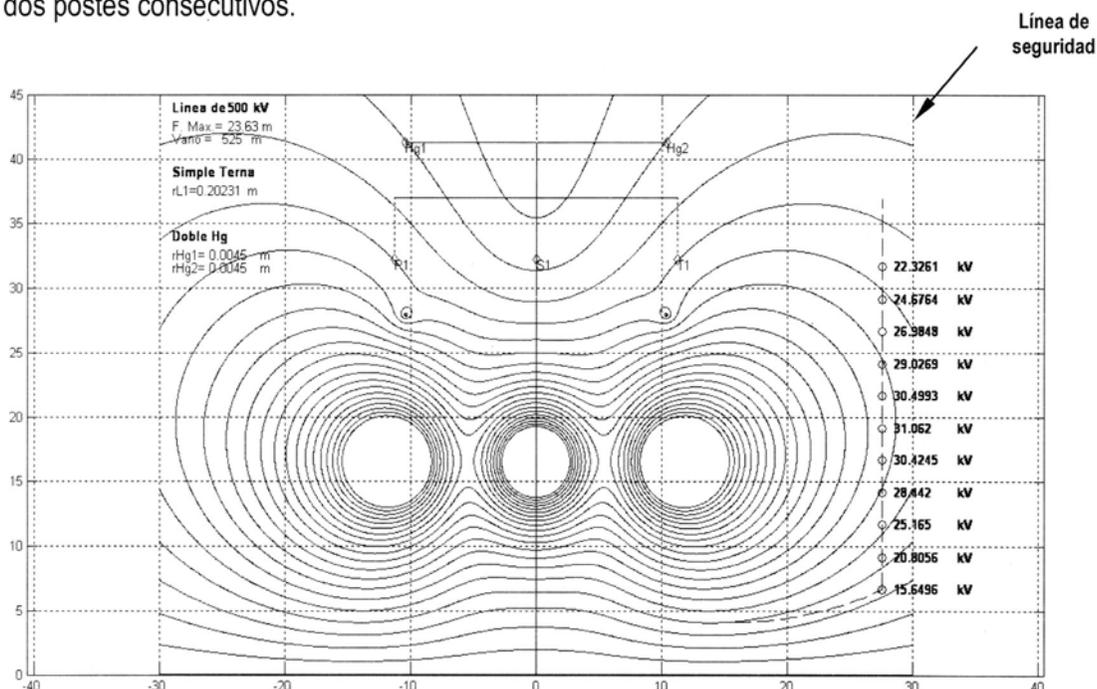


Figura 5. Trazado de líneas equipotenciales alrededor de una línea de alta tensión de 500kV

La distribución de las tensiones inducidas nos muestra que el conductor a utilizar para la extracción de energía del campo puede ubicarse en una posición en la cual los valores calculados mediante la ecuación (27) sean mayores, y por consiguiente se pueda lograr una mejora sustancial para los valores de corriente y potencia obtenidos con las ecuaciones (32) y (33) respectivamente.

Con esta modificación en la posición del elemento captador de campo hemos mejorado y subsanado los principales inconvenientes y desventajas mencionados respecto de la configuración que utiliza el hilo de guardia como sistema captador. Además, esta nueva configuración permite montar el dispositivo sin intervenir en la estructura de la línea de alta tensión.

Sin embargo, los resultados obtenidos pueden mejorarse aún más, aplicando la nueva tecnología propuesta del sistema de captación multifilar que se desarrolla a continuación.

## Mejoramiento del Sistema de Captación

En lugar de colocar un solo conductor externo a la línea ubiquemos  $n$  conductores paralelos entre si, según muestra la figura 6.

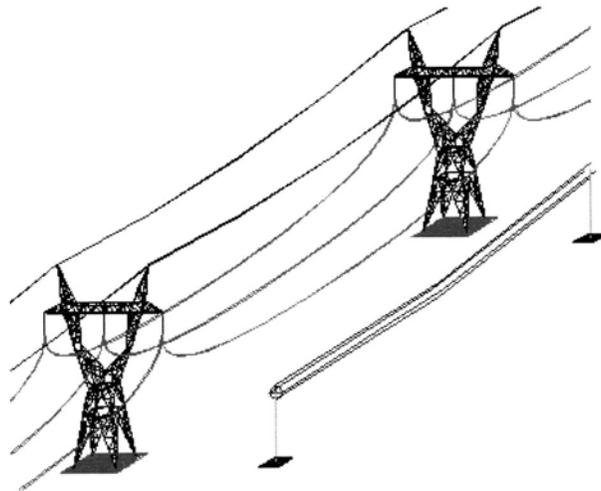


Figura 6. Ubicación de dispositivo multiconductor paralelo a la línea de alta tensión

Cuando los conductores paralelos se encuentran aislados de tierra y entre sí, las cargas en los mismos es 0. Resolviendo el sistema matricial propuesto en el apartado teórico se obtienen los potenciales inducidos en cada conductor paralelo ( $V_{thi}$ ) en dicha condición, teniendo en cuenta la interacción mutua entre ellos (Cassinotti et al, 2009).

Por otro lado, si los conductores se ponen todos a tierra las tensiones en ellos serán 0 y así se pueden calcular las corrientes inducidas en cada conductor como:

$$I_{Ni} = j \times \omega \times Q_i \times L \quad (34)$$

donde  $L$  es la longitud de exposición del conductor paralelo e  $I_{Ni}$  es la corriente de descarga a tierra del  $i$ -ésimo conductor. Con las dos condiciones anteriores se puede armar el circuito equivalente de Thevenin- Norton de cada conductor (figura 7.a). Uniendo todos los conductores en un extremo se obtiene, por el teorema de Millman, el circuito equivalente del dispositivo que se muestra en la figura 7.b.

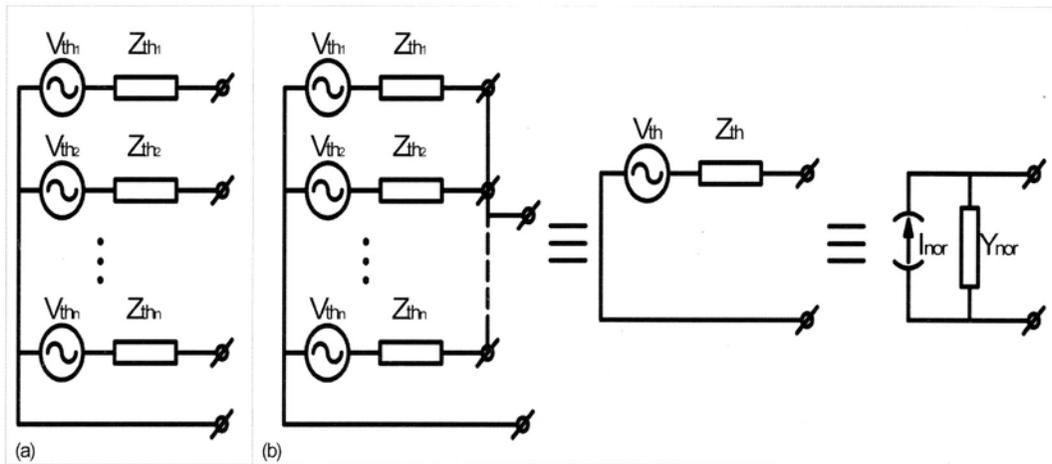


Figura 7. (a) Circuito eléctrico de los potenciales inducidos en cada subconductor. (b) Circuito eléctrico equivalente.

Siendo la corriente total de Norton:

$$I_{Nor} = \sum_{i=1}^n I_{N_i}$$

(35)

y la admitancia de Norton:

$$Y_{Nor} = \sum_{i=1}^n Y_{N_i} = \sum_{i=1}^n \frac{I_{N_i}}{V_{th_i}}$$

(36)

la Tensión equivalente de Thevenin será:

$$V_{Th} = \frac{I_{Nor}}{Y_{Nor}}$$

(37)

De la simple observación de la ecuación (35) puede verse que el hecho de agregar  $n$  conductores conduce a un incremento en la corriente total obtenida respecto de un solo conductor para una misma posición (32).

A continuación se plantearán, a modo de ejemplo, cómo afecta la geometría del dispositivo multiconductor al valor de potencia inducida. En la figura 8 se muestra la sección transversal de un haz de conductores. Los parámetros de diseño a tener en cuenta para el estudio de la sensibilidad de la potencia serán el radio del haz de conductores, el radio de cada conductor y la cantidad de los mismos.

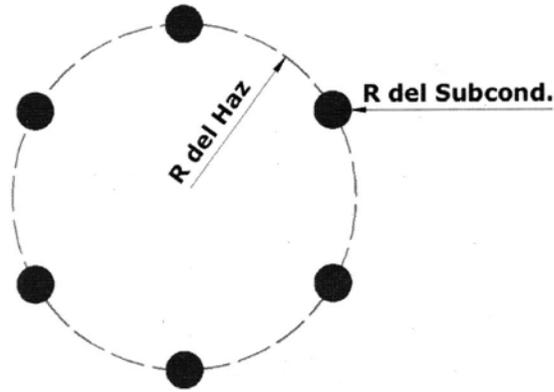


Figura 8. Corte transversal esquemático del dispositivo multiconductor

En la figura 9, se describe como varía la potencia con la variación del radio del haz de subconductores (dejando los otros dos parámetros constantes). Se puede observar en ella dos conclusiones importantes: el valor de la potencia inducida es sensible a este parámetro y, además, el crecimiento no es lineal. Esto conlleva a pensar que el límite del radio estará dado por cuestiones tecnológicas de montaje del dispositivo.

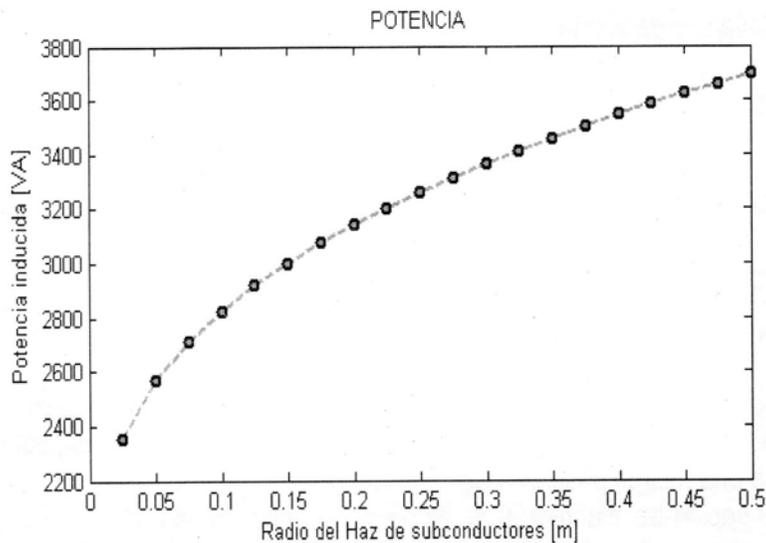


Figura 9. Potencia inducida vs. radio del haz de subconductores

La figura 10 muestra la variación de la potencia inducida en función de la cantidad de subconductores (dejando los otros dos parámetros fijos), podemos concluir que la potencia también es muy sensible a la variación de este parámetro. Debido a la saturación que presenta la forma de la curva, también se puede ver que más allá de una cierta cantidad de subconductores no es conveniente seguir aumentando la misma, ya que deja de ser considerable el aumento de la potencia.

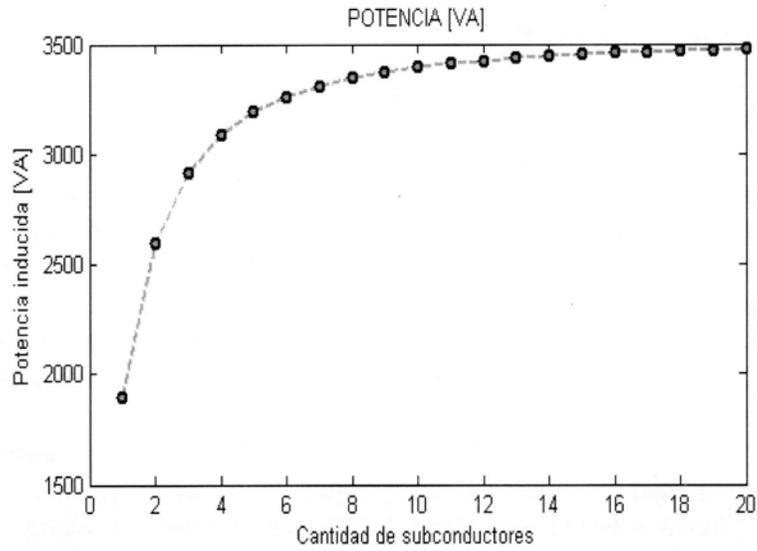


Figura 10. Potencia inducida vs. cantidad de subconductores

Por último, la figura 11 muestra la variación de la potencia inducida en función del radio de cada subconductor. En este gráfico se puede ver que la sensibilidad de la potencia es escasa frente a la variación de este parámetro. Por lo tanto, el radio de los subconductores será el mínimo que los cálculos eléctricos y mecánicos determinen.

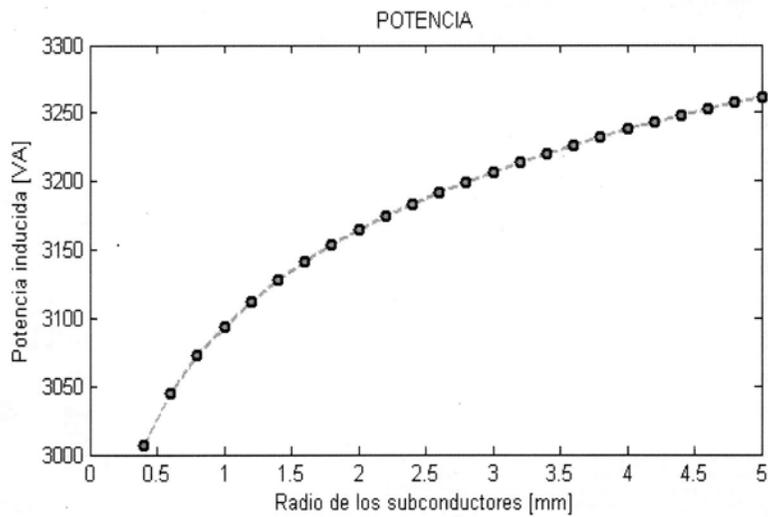


Figura 11. Potencia inducida vs. radio de los subconductores

## Descripción Completa del Sistema

### Dispositivo Captador.

El dispositivo captador, analizado precedentemente tiene, como ya se ha mencionado, la tarea primordial de establecer, de la forma más eficiente posible, el acoplamiento capacitivo con la línea de alta tensión. Se establece así una transmisión de energía inalámbrica.

De esta manera, el elemento captador se transforma en el dispositivo fundamental de este trabajo, ya que permite extraer energía eléctrica, con un mínimo impacto sobre la línea (por no decir nulo).

Es por ello que la alternativa seleccionada para actuar como elemento captador consiste en un arreglo de múltiples conductores, organizados en una configuración geométrica adecuada y tendidos en forma paralela a la línea, respetando la distancia mínima de seguridad fijada por la normativa vigente (Asociación Eléctrica Argentina, 2007)..

El arreglo de conductores es sostenido mediante estructuras soporte. La geometría entre conductores es mantenida constante por elementos distanciadores.

### Transformador

Para poder lograr un acoplamiento capacitivo eficiente, se debe permitir que sobre el dispositivo captador se induzcan niveles de tensión que no son seguros para alimentar directamente al usuario. Por esta razón se debe recurrir a un transformador reductor, que lleve esta tensión a un nivel adecuado para su utilización final, el cual es de 220V o 110V, dependiendo de la región.

El nivel de tensión que se inducirá sobre el elemento captador deberá ser calculado de forma tal que permita la utilización de un transformador estandarizado según las normativas aplicables; de no ser así, un transformador fuera de estándar implicaría una fabricación "a medida", con las consecuentes repercusiones negativas sobre los costos del sistema completo.

El transformador debe ser verificado en los diversos estados de funcionamiento a los que estará sometido durante su operación. En particular, las solicitaciones sobre el mismo estarán estrechamente asociadas al sistema de regulación que se constituya "agua abajo"; la naturaleza de éste definirá la distorsión armónica que sufrirá la corriente que transporta el transformador. También definirá algunas solicitaciones dieléctricas sobre sus arrollamientos, debiéndose a conmutaciones de elementos electrónicos de potencia.

Todas estas deberán ser cuidadosamente consideradas al momento de la elección de un transformador reductor.

### Regulación

El sistema de alimentación cuenta con una característica muy particular que tiene su raíz en el principio de extracción de energía del mismo; presenta una impedancia interna de la fuente equivalente (mediante la cual modelamos el dispositivo captador) de naturaleza capacitiva y de muy alto valor. Tomando en cuenta esta característica, se

puede decir que la fuente equivalente presenta un comportamiento más cercano a una fuente de corriente que a una fuente de tensión.

Debido a la alta impedancia de la fuente, variaciones de la corriente de carga producen grandes variaciones inadmisibles en la tensión del consumidor. Para solucionar este inconveniente se debe introducir en el circuito de baja tensión un sistema de regulación de tensión. Por otro lado, la regulación tiene que mantener una distorsión armónica sobre la onda de tensión dentro de niveles aceptables para su utilización. Una última tarea es la de llevar a cabo funciones de protección en la operatoria diaria (cortocircuito, sobrecarga, sobretensiones, etc).

Dentro de la gran variedad de alternativas existentes para lograr estos cometidos, se propone colocar una inductancia shunt cuyo valor se pueda variar mediante métodos electrónicos. Ésta es la mejor opción desde varios puntos de vista: no tiene baterías, es decir el control se realiza en tiempo real. La distorsión armónica total (THD) hacia el usuario es más que aceptable; la THD y las perturbaciones que recibe el transformador son bajas. Una ventaja adicional es que la corriente en el evento de un cortocircuito es muy baja: únicamente la corriente de Norton de nuestra fuente equivalente. Todo ello redundará en que sea la solución elegida para el sistema de regulación.

### **Dispositivos auxiliares de maniobra y protección**

El sistema necesita de elementos auxiliares de maniobra y protección, con el fin de que pueda operarse de manera confiable y segura, tanto para las personas como para el equipo en sí.

Dentro de estos elementos se encuentran los descargadores de sobretensión, esenciales para proteger al sistema frente a eventuales sobretensiones debidas a descargas atmosféricas que puedan impactar sobre el dispositivo captador. También son necesarios seccionadores de puesta a tierra conectados a jabalinas independientes del lado de AT y BT para realizar las operaciones de instalación y mantenimiento del sistema. Por último, también se requieren protecciones magneto-térmicas en el punto de suministro al usuario y algunos seccionadores adicionales para poder desconectar los diferentes dispositivos con mayor comodidad.

De acuerdo con el modelo planteado, las corrientes de cortocircuito son muy pequeñas, por lo que los sistemas de protección frente a éstas resultan mínimos y de bajo costo.

### **Esquema de todas las etapas del sistema**

A continuación se puede observar una representación esquemática del sistema completo, en la cual se han omitido los elementos de maniobra y protección, para una mejor comprensión del esquema:

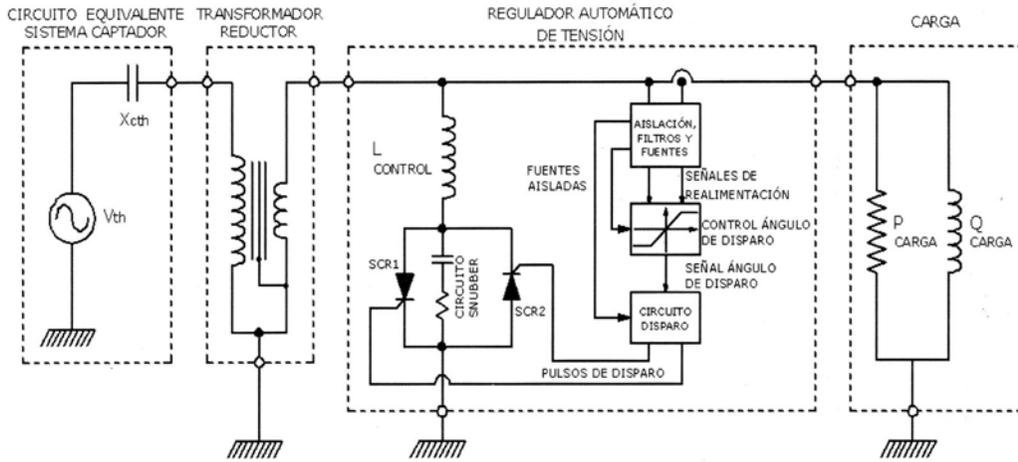


Figura 12. Circuito eléctrico esquemático del sistema completo

## Resultados

A continuación se presenta un estudio comparativo sobre los diferentes dispositivos de captación: hilo de guardia aislado, conductor externo a la línea, sistema multiconductor externo a la línea (los dos últimos, propuestos como solución alternativa por este trabajo).

Se han fijado condiciones de entorno tal que las magnitudes obtenidas sean comparables. Éstas son:

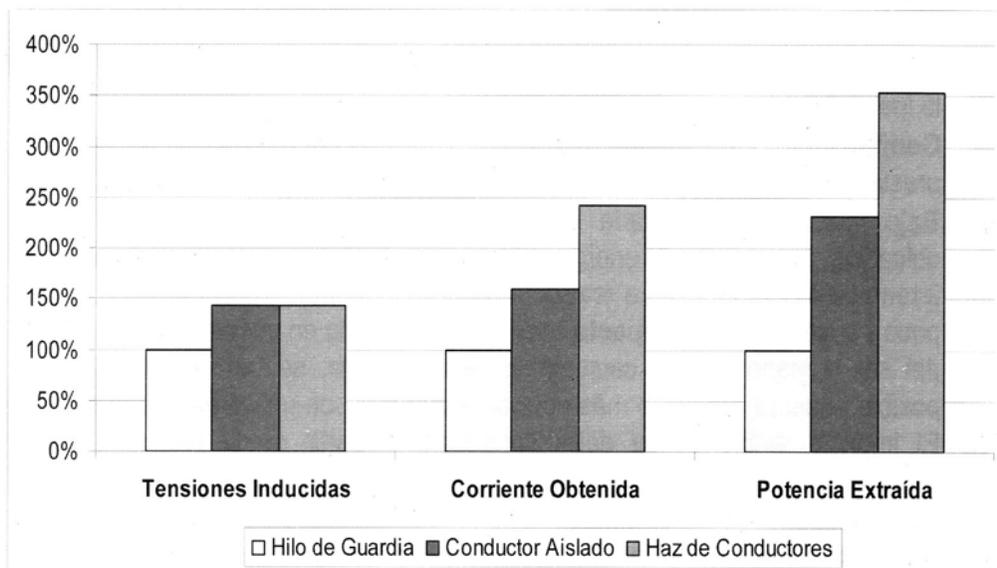
- Para el caso del hilo de guardia, se ha tomado su posición a partir de la configuración de la torre de suspensión de una línea de AT, la cual está determinada por el diseño geométrico de la torre, en tanto que para la posición de los otros dos casos se eligió una ubicación conveniente desde el punto de vista del valor de la tensión inducida.
- Se han fijado las mismas longitudes de exposición para los tres casos.
- Se ha tenido en cuenta que los diámetros de los conductores sean tales que se mantenga constante la sección efectiva en los tres casos.

Los datos de entrada y los resultados obtenidos pueden observarse en la Tabla 1.

**Tabla 1: Comparación de los diferentes sistemas de captación**

Caso	H	d	Long.	$\phi$ del conduct.	Radio del haz	U ind.	I ind.	S ind.
	[m]	[m]	[m]	[mm]	[mm]	[kV]	[mA]	[kVA]
Hilo de guardia	30.86	15.3	500	19.2	-	46.30	49.08	2.27
Conductor aislado	12	17.9	500	19.2	-	66.37	79.05	5.25
Haz de conductores	12	17.9	500	7	150	66.45	120.72	8.02

En la Figura 13 se expresan los resultados anteriores en porcentajes, tomando como base los resultados obtenidos en el caso del hilo de guardia.



**Figura 13.- Resultados porcentuales**

Como puede verse, la consecuencia inmediata de poder situar un conductor aislado en una ubicación más conveniente supone una ventaja importante respecto de la ubicación determinada por el hilo de guardia, pudiéndose duplicar la potencia obtenida con un conductor similar.

Adicionalmente, si en esa misma posición reemplazamos un conductor por un haz de conductores, la potencia obtenida puede ser de hasta un 350% de la potencia que actualmente se obtiene con el hilo de guardia.

Evidentemente, la solución más conveniente para el aprovechamiento del campo eléctrico que rodea a una línea de AT es el sistema del haz de conductores.

En la práctica, el caso de estudio planteado para la comparación de los diferentes dispositivos se puede optimizar aún más. Por ejemplo, para el sistema multiconductor se ha tomado una sección de los subconductores, con el fin de poder compararlo con el hilo

de guardia. Sin embargo, las corrientes que circulan por los mismos son muy pequeñas, por lo que sus secciones pueden reducirse considerablemente impactando sensiblemente en los costos del captador. Como se ha expuesto, la variación de la potencia inducida debido a la variación de la sección de los subconductores es muy baja, por lo que el sistema no sufriría una reducción importante de potencia.

## Discusión

Para la alimentación de consumos aislados debe procurarse que la fuente de energía tenga algunas particularidades, las cuales son de fácil resolución en las zonas urbanas, pero que para determinados sitios se convierten en un verdadero inconveniente. Podemos citar algunas de estas características esenciales que deben reunir las fuentes provistas:

- **Disponibilidad de recursos:** esta categoría se refiere a los diversos recursos disponibles en la zona geográfica donde se situará el proyecto, que lo convierten en técnicamente viable.
- **Costo accesible:** tanto para el usuario como para quien lo asista desde el diseño, la instalación, la operación y el mantenimiento del equipo.
- **Confiabilidad:** esto supone continuidad y calidad de servicio aceptable para las prestaciones objeto de la energía suministrada.
- **Bajo mantenimiento:** dada la lejanía o dificultad de acceso de la zona de ubicación de la fuente de energía, es conveniente que los insumos utilizados y las tareas de mantenimiento a realizarse por personal especializado sean mínimas y poco frecuentes. **Bajo impacto ambiental:** teniendo en cuenta que toda actividad del ser humano genera cambios en la naturaleza, se trata de mitigar lo más posible aquellos aspectos más nocivos y que hoy son una preocupación mundial. El impacto ambiental se debe considerar a partir de la fabricación de los elementos del sistema. Se tienen en cuenta también los desechos y residuos que se generan para todas las etapas de la vida útil del equipo y su disposición final.
- **Fácil instalación,** tanto en la rapidez y sencillez de la instalación y el posterior desmantelamiento.

Actualmente, las alternativas más desarrolladas existentes para la provisión de energía eléctrica en lugares donde no llega la electrificación rural convencional, son:

- Generadores a combustible fósil
- Generadores eólicos
- Celdas fotovoltaicas

Cualquiera sea la alternativa adoptada, la elección surgirá de un balance respecto de sus características más favorables para la zona en la que será implementada.

Por ello es que se propone plantear, como una nueva alternativa, un dispositivo que utiliza el acoplamiento capacitivo de las líneas de alta tensión como medio de obtención de energía eléctrica con el fin de tener una solución más al problema de consumos rurales

aislados que actualmente siguen sin tener acceso a un recurso que en estos tiempos es tan importante como el agua potable, la educación, o el aire que respiramos.

## Conclusiones

Respecto de la disponibilidad de recursos, el sistema planteado en este trabajo plantea una alternativa de solución para el abastecimiento de pequeños consumos rurales en las zonas donde existen líneas de alta tensión.

El costo total del dispositivo, incluyendo instalación, puesta en marcha y operación es comparable con otras alternativas de autogeneración.

Siendo la fuente primaria de energía una línea de alta tensión y, con un sistema de transformación y regulación adecuados, el sistema es tan confiable como cada uno de estos componentes, los que ya están probadamente desarrollados.

La tecnología de acoplamiento capacitivo no requiere de combustibles, baterías o elementos especiales, por lo que su mantenimiento se reduce a un equipo de intemperie que, debidamente diseñado, asegura un servicio continuo con una baja probabilidad de falla.

El dispositivo no contiene ningún elemento con mayores contaminantes que los que se encuentran en cualquier instalación rural conectada a la red de distribución eléctrica y tampoco produce emisión de productos nocivos para la capa de ozono o efecto invernadero en el sitio de implementación, siendo éste un factor de gran importancia a la hora de comparar otras alternativas de autogeneración.

Como última característica a considerar, su instalación es de rápida y fácil realización, dado que todo el diseño se realiza previamente y su montaje se reduce a la instalación de los soportes y un mínimo conexionado eléctrico.

Es de esperar que con la aplicación de este sistema se pueda así contribuir al desarrollo socio-económico de zonas históricamente postergadas debido a la falta de suministro eléctrico.

Por último, queda planteado el interrogante de cómo deberían ser los roles que tomen el estado y las empresas privadas de energía eléctrica en la implementación y mantenimiento de dicho sistema.

## Referencias

Asociación Electrotécnica Argentina (2007) *Reglamentación de Líneas Aéreas Exteriores de Media Tensión y Alta Tensión*. AEA 95301.

Cassinotti, A.; Cassinotti, G.; Melo, L.; Pitman, J. C. (2008a) "Generación comunitaria rural", Primera parte. *Electrosector*, 23, 106-112.

Cassinotti, A.; Cassinotti, G.; Melo, L.; Pitman, J. C. (2008b) "Generación comunitaria rural" Segunda parte. *Electrosector* 24, 102-108.

Cassinotti, A.; Cassinotti, G.; Melo, L.; Pitman, J. C. (2009) "AR\_65 - Nueva alternativa para utilizar las líneas de extra alta tensión como proveedoras de energía directamente al usuario final utilizando el acoplamiento capacitivo". XIII ERIAC CIGRÉ, Puerto Iguazú, Argentina.

CIGRE (1980) *Electric and magnetic fields produced by transmission systems*. Working Group 01 (interference and fields) of Study Committee 36 (Interference).

CIGRE (1995) *Guide on the influence of high voltage AC power systems on metallic pipelines*. Working Group 36.02. Electromagnetic Compatibility with telecommunication circuits, low voltage networks and metallic structures.

Ministerio de Planificación y Cooperación (2002) *Metodología de Proyectos de Electrificación Rural*. División de Planificación, Estudios e Inversión, Departamento de Inversiones, Chile.

Secretaría de Energía de la Nación (2006) *Estudios de factibilidad del abastecimiento eléctrico de la población rural dispersa con energías renovables en la provincia de San Juan*. PERMER, Argentina.

## POLINOMIO CONSOLIDADOR DE INDICADORES DE CALIDAD UNIVERSITARIA<sup>1</sup>

**Lucas Gabriel Giménez\***, Julián Vela, Christian Karlovich, Sebastián Giménez y Diego Iglesias

Universidad Tecnológica Nacional, Departamento de Ingeniería Industrial. Av. Ramón Franco 5050, (1874) Avellaneda. Argentina.

*\* Autor a quien la correspondencia debe ser dirigida.*

*Correo electrónico: lgimenez@fra.utn.edu.ar*

Recibido el 8 de julio de 2010; aceptado el 30 de julio de 2010

### Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo desarrollar indicadores que permitan medir la calidad de la educación de nivel universitario, tanto en establecimiento públicos como privados del territorio de la República Argentina. Los indicadores a desarrollar estarán basados en características y atributos que se puedan medir, tanto en forma cualitativa como cuantitativa; se plantea como objetivo final su consolidación en un polinomio, cuyo resultado represente el nivel de calidad educativa de la institución en análisis. Los términos del indicador de calidad deberán ser tales que cubran todas las actividades de la institución, tales como extensión, investigación, cantidad de graduados, relación entre ingresantes y graduados, cantidad de laboratorios, entre otros. La implementación de un sistema de información basado en la medición de indicadores de calidad universitaria ayudaría a las instituciones a sistematizar información relevante para mejorar su desempeño. Además, estos indicadores serían una herramienta útil para la asignación de recursos, conforme al desempeño institucional. El trabajo actualmente está entrando en la etapa final, donde se determinará el polinomio con sus respectivos indicadores.

**Palabras clave:** polinomio de calidad, indicadores de calidad, calidad educativa

### Abstract

The aim of this work is to develop indicators that allow measuring the quality of the education at university level, both in public and private establishment of Argentina. The attributes that conform the indicators will allow their measurements, both in qualitative and quantitative way. The main objective is to a group them into a polynomial, the results of which representing the quality level of the institution under analysis. The terms of the quality indicator should cover all the activities of the institution, such as, among others, extension, investigation, numer of graduates, relationship between applicants and graduates, availability of laboratories. The implementation of an information system based

---

<sup>1</sup> Trabajo realizado en el marco del Proyecto de Investigación y Desarrollo: *Desarrollo de indicadores de calidad universitaria en Argentina consolidados en un polinomio*. Proyecto homologado por la Universidad Tecnológica Nacional, bajo el código UTN1094.

on the measurement of indicators of university quality would help the institutions to systematize relevant information to improve his performance. In addition, these indicators would be a useful tool for the assignment of financial support, according to the institutional performance. At the present time, this project is entering the final stage, where the polynomial will be determined with their respective indicators.

**Key-words:** polynomial of quality, quality indicators, educational quality

## Introducción

En las dos últimas décadas se viene trabajando intensamente en temas relacionados con la calidad en la educación superior. En consonancia con esta tendencia, hemos pensado en la posibilidad de desarrollar un modelo de tipo cuantitativo para la determinación de indicadores relacionados con calidad universitaria. Si bien existen trabajos de diversos países, tales como España, Chile, Perú, Japón, EE.UU., Canadá, Inglaterra, Noruega y Brasil, acerca de criterios e indicadores de calidad de las universidades, ninguno cubre la totalidad de las disciplinas y los aspectos a ser considerados en el polinomio objeto de este trabajo.

A continuación, se detallan algunos de los mencionados trabajos:

- En España el estudio que se llevó a cabo muestra como premisa la satisfacción del alumnado y al estudiante como centro del sistema (González López, 2006).

- En el año 2006 se presentó un estudio de las universidades de Madrid, con la participación de más de 15 países, con la finalidad de desarrollar criterios y metodologías comparables de indicadores entre los países participantes, pudiendo afirmar que los "recursos materiales", "investigación" y "recursos humanos" son los indicadores más empleados (Universidades de Madrid y Universidad de Granada, 2006)

- En Chile se hace mención a una transformación en la década del 90 donde, entre otras, se movilizó a las universidades a un progresivo autofinanciamiento y se muestran indicadores sobre personal docente, alumnado, infraestructura y recursos bibliográficos (De los Ríos Escobar, 2000)

- En Perú se realizaron estudios que partían de una evaluación interna en las universidades para conocer las fortalezas y debilidades del sistema (Consejo de Evaluación, Acreditación y Certificación de la Calidad de la Educación Universitaria, 2008)

Como se puede apreciar, en la región se han desarrollado varios trabajos de investigación con distintos alcances y aplicaciones, pero sin entregar un resultado único que cubra la totalidad de las características de la institución en análisis. Nuestro objetivo es, utilizando como referencia los trabajos antes mencionados, establecer un único indicador global que sirva para todo el país.

En la actualidad el estado de conocimientos sobre indicadores de calidad universitaria es dispar en la región. En particular no existe en Argentina un único indicador de calidad que tenga en cuenta la mayoría de las actividades y áreas de una institución universitaria, así como también, el nivel de investigación, la cantidad de graduados, la relación entre ingresantes y graduados y la cantidad de laboratorios, por sólo nombrar algunos ejemplos.

## Objetivos principales de la investigación

El presente estudio tiene como objetivos principales desarrollar indicadores que permitan medir la calidad de la educación de nivel universitario en Argentina y consolidar todos los indicadores desarrollados en un polinomio, cuyo resultado represente la calidad educativa de la institución en análisis. En consonancia con tales objetivos, se planea proveer a las instituciones en análisis de elementos cuantitativos sobre la calidad educativa, elementos para la toma de decisión y, además, suministrar una herramienta de promoción que permita el control de la calidad educativa.

Se pretende así realizar un aporte al ámbito educativo universitario, en la medida en que no se conoce hasta el momento ningún trabajo en Argentina acerca de un único indicador del nivel de calidad universitaria a través de un polinomio que cubra todas las áreas de una institución.

## Desarrollo

Nuestra metodología se desarrolló en el marco del cumplimiento de las siguientes etapas:

### 1- Revisión bibliográfica inicial:

Analizados los distintos trabajos de investigación realizados sobre el tema fue posible identificar las áreas de interés de cada uno de los indicadores propuestos en las universidades:

- En España, satisfacción del alumnado, con el estudiante como centro del sistema
- En Chile, personal docente, alumnado, infraestructura y recursos bibliográficos
- En Perú, estudios de una evaluación interna en las universidades, para conocer las fortalezas y debilidades del sistema.

### 2- Desagregación estructural de una institución modelo:

Para lograr la elección de una institución modelo, se listaron primeramente las Universidades representativas del país, según sus dimensiones físicas y de alumnos.

Luego se eligió a la Universidad Tecnológica Nacional, por ser la única de carácter público y federal. Del análisis de su estructura se logró identificar las áreas claves y más relacionadas con la calidad educativa, que se indican en la Figura 1.

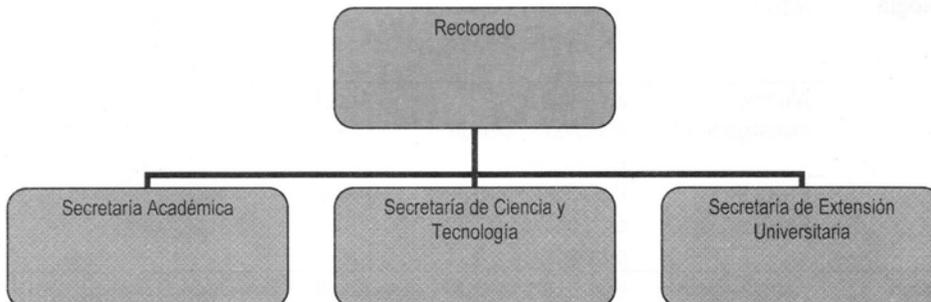


Figura 1. Áreas relacionadas con la calidad educativa en la Universidad Tecnológica Nacional

### 3- Relevamiento de la situación:

Se realizaron entrevistas a personas de trayectoria reconocida, que ocupan además cargos estratégicos dentro del ámbito universitario (decanos, ex decanos y secretarios).

De esta forma fue posible definir las áreas que son consideradas de mayor interés educativo: Docencia, Ciencia y Tecnología y Extensión Universitaria.

Se han considerado un mayor número de indicadores correspondientes a estos sectores, para que en el consolidado final tengan más peso sobre el resultado final del polinomio.

#### 4- Desarrollo de indicadores:

En función de los resultados obtenidos en etapas anteriores se consideró oportuno listar, diferenciados por área, algunos de los posibles indicadores que integraran al polinomio de calidad universitaria y que se detallan en la Tabla 1.

**Tabla 1. Descripción de los indicadores de calidad)**

Área	Indicador	Metodología de calculo	Frecuencia estimada	Justificación
<b>Docencia</b>	Edad promedio del cuerpo docente	Edad de los titulares / Titulares totales	Anual	Permite evaluar la transferencia intradocente
	Docentes concursados	Docentes concursados / Total de docentes	Anual	Permite evaluar la calidad de los docentes
	Actualización de las metodologías de trabajo	Cantidad de planes actualizados / Planes presentados	Anual	Establece el nivel de adecuación de la metodología y bibliografía acorde a las exigencias actuales.
	Docentes con estudios específicos en docencia	Docentes con estudios específicos en docencia / Total de docentes	Anual	Permite evaluar la calidad de los docentes
	Docentes con título de posgrado	Cantidad de docentes con título de posgrado / Total de docentes	Anual	Permite evaluar la calidad de los docentes
<b>Ciencia y Tecnología</b>	Directores activos	Investigadores directores / Cantidad de Proyectos	Anual	Mide la cantidad de Directores posibles involucrados en los proyectos activos
	Alumnos investigadores	Investigadores alumnos / Total de alumnos	Anual	Mide la fomentación e interés de los alumnos con la investigación
	Proyectos Finalizados	Proyectos finalizados en término / Total de proyectos	Anual	Mide la cantidad de proyectos finalizados
<b>Extensión Universitaria</b>	Cumplimiento de plan de cursos	Cursos realizados / Cursos planificados	Anual	Mide el nivel de cumplimiento y correcta difusión de los cursos para asegurar los cupos mínimos
	Oferta de cursos acorde a la demanda	Cupos de cursos / Total de alumnos	Anual	Busca la definición de cupos acordes con la cantidad de alumnado interesado en

	Beneficios al alumnado	Cursos gratuitos para alumnos / Total de cursos	Anual	asistir Tiende a fomentar la regularidad y a recompensarla con cursos de capacitación gratuitos
<b>Infraestructura</b>	Cumplimiento de mantenimiento	Obras finalizadas / Obras planificadas	Anual	Busca no dejar obras a medio terminar.
	Manejo del presupuesto	Obras planificadas / Obras requeridas	Anual	Busca la realización de un análisis de las necesidades de infraestructura acorde con el presupuesto.
	Actualización de los equipos informáticos utilizados (hardware y software)	Cantidad de equipos actualizados / Total del equipamiento vigente	Anual	Busca tener los equipamientos acorde con los sistemas existentes.
	Actualización del equipamiento para los laboratorios	Cantidad de equipamiento actualizado / Total del equipamiento vigente	Anual	Busca tener los equipamientos acorde con las exigencias actuales.

## Reflexiones finales

Plantear como objetivo la evaluación y la mejora de la calidad universitaria supone un problema difícil de abordar, no sólo por la multiplicidad de perspectivas desde las cuales es necesario conceptualizar y delimitar la problemática.

En este contexto de trabajo, disponer de información de calidad sobre distintos sectores de interés en el ámbito universitario se convierte en un recurso imprescindible para plantear una aproximación a ese objetivo de difícil concreción, como lo es el crecimiento de la calidad universitaria.

Plantear polinomios de calidad que registren y evalúen las distintas universidades, puede suponer una posible respuesta a la necesidad, antes mencionada, de disponer de una investigación relevante para la evaluación y la mejora de la calidad universitaria.

Expresamos que algunas de las principales características y cualidades relevantes del planteamiento justificado en este trabajo es la forma sintética y directa de la problemática de regular un marco teórico de interés global, la aceptación por parte de los actores implicados y el beneficio de registrar la información mediante los indicadores relacionados.

Es de esta forma que podremos avanzar en la conformación y la validación, con su posterior generalización, de un polinomio de calidad universitaria que pueda ser de utilidad para los distintos actores implicados en el sistema universitario.

Hemos llegado a resultados exitosos en esta etapa de desarrollo inicial; el trabajo se completará con la elaboración del polinomio y su aplicación a los ámbitos específicos.

## Referencias

Consejo de Evaluación, Acreditación y Certificación de la Calidad de la Educación Universitaria (2008). *"Modelo de calidad para la acreditación de carreras universitarias y estándares para la carrera de educación"*. Perú.

De los Ríos Escobar, Danae (2000). *"Indicadores de calidad y eficiencia en la educación Universitaria"*. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Industrial, Chile.

González López, Ignacio (2006). *"Dimensiones de evaluación de la calidad universitaria en el espacio europeo de educación superior"*. Facultad de Ciencia de la Educación, Universidad de Córdoba, España.

Universidades de Madrid y Universidad de Granada (2006). *"Estudio internacional sobre criterios e indicadores de calidad de las universidades"*. Agencia de Calidad, Acreditación y Prospectiva de las Universidades de Madrid (ACAP), España.

## APLICACIÓN DE RESIDUOS DE POLÍMEROS COMO APOORTE AL DESARROLLO DE MODELOS CONSTRUCTIVOS ECOLÓGICOS<sup>1</sup>

**Adriana Beatriz García\***, Juan Pablo Mazzeo

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Avellaneda  
Av. Ramón Franco 5050 - (1870) Avellaneda – Provincia de Buenos Aires. Argentina.

*\* Autor a quien la correspondencia debe ser dirigida.*

*Correo electrónico: [abgarcia@fra.utn.edu.ar](mailto:abgarcia@fra.utn.edu.ar)*

Recibido el 28 de junio de 2010; aceptado el 2 de agosto de 2010

### Resumen

En la última década se ha intensificado el desarrollo de técnicas de construcción en las que se incluyen los denominados nuevos materiales. En algunos casos se trata de materiales compuestos que reutilizan subproductos de la industria. Se describen en el presente trabajo los estudios realizados para el desarrollo experimental de modelos constructivos compuestos por morteros y hormigones, en cuyos diseños se han adicionado residuos de polímeros. Se procura generar nuevos materiales aplicables en obras, en particular en la construcción de viviendas de interés social y áreas comunes (solados, accesos, zonas de recreación, elementos accesorios en espacios públicos) destinados fundamentalmente a resolver problemas de la comunidad. Hasta el presente se han desarrollado en el laboratorio materiales y elementos constructivos que responden a estas premisas, presentando en los estudios realizados características especiales de calidad, tales como buen desempeño ante sollicitaciones de flexión y compresión, bajos valores de absorción de agua, de succión capilar y de peso unitario, entre otros factores que resultan de interés en el campo de aplicación mencionado. Estos desarrollos abren la posibilidad de aportar soluciones transferibles a diferentes grupos de trabajo, que redunden una menor agresión hacia el medio ambiente, con un mejor aprovechamiento de recursos, y una apreciable disminución de los costos en relación a los equivalentes en construcciones tradicionales.

**Palabras clave:** construcción sostenible, hormigones especiales, contaminación ambiental, vivienda de interés social, residuos de polímeros.

### Abstract

The development of construction techniques that include the so-called new materials has been intensified in the last decade. In some cases, they are composite materials reutilized from industrial by-products. The studies performed for the experimental development of

---

<sup>1</sup> Trabajo realizado en el marco del Proyecto de Investigación y Desarrollo: *Evaluación de la calidad de laboratorio y en campo de modelos constructivos ecológicos*. Proyecto homologado por la Universidad Tecnológica Nacional, bajo el código UTN1095

constructive models consisting of mortars and concretes with addition of polymers residues in their design, are described in the present work. The goal is to generate new materials applicable in building works, particularly in the construction of social housing and civilian common areas (pavings, accesses, recreation areas, public spaces accessories) mainly intended to solve community problems. So far, materials and construction elements have been developed at laboratory scale that respond to these premises. The studies have shown their exceptional quality characteristics with respect to bending, compression, water absorption, capillary suction and unit weight, among other relevant factors in the mentioned application field. These developments open the possibilities of contributing with solutions transferable to other working work groups, in order to reduce the environment impact, with better use of resources and lower costs, compared to similar traditional constructions.

**Key-words:** sustainable construction, special concrete, environmental pollution, homes of social interest, polymer residues

## Introducción

El interés creciente por hallar propuestas tecnológicas que den respuestas a necesidades consideradas como básicas para el desarrollo adecuado de las personas, ha instalado paralelamente el desafío de lograr que afecten en la menor medida posible al medio circundante.

La Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo de las Naciones Unidas definió el desarrollo "sustentable" como aquel capaz de lograr "*Satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro para atender sus propias necesidades*" (ONU, 1987). El Informe, cuya denominación fue Nuestro Futuro Común (Our Common Future), planteó de este modo un llamado a la reflexión y a la adopción de nuevos paradigmas. (García et al., 2008).

La problemática aborda ejes sociales, económicos, ambientales y tecnológicos. Temas como la pobreza, el crecimiento demográfico, la cuestión habitacional, el uso responsable de los recursos naturales, la reutilización de subproductos o desperdicios de la industria, han sido tratamiento de numerosos estudios por su extensión e intensidad y, fundamentalmente, por el impacto que producen en las poblaciones de todo el mundo.

Se describe en este trabajo el desarrollo experimental de modelos construidos con la adición de residuos de polímeros, los que han resultado como desperdicio durante un proceso de producción industrial. Estos residuos fueron aplicados en la composición de morteros y hormigones, con el objeto de desarrollar productos destinados a la construcción de viviendas de interés social, accesos, solados y obras de arquitectura ornamental para espacios públicos destinados a la comunidad.

Los desarrollos se efectuaron en el marco de los proyectos "Desarrollo de Modelos Constructivos Ecológicos con Adición de Residuos de Polímeros - ECO MOD" y "Evaluación de la Calidad en Laboratorio y en Campo de Modelos Constructivos Ecológicos" llevados a cabo por el grupo de investigación Tecnologías Constructivas Biosustentables en el Laboratorio de Ensayos de Materiales y Estructuras (LEME) del Departamento de Ingeniería Civil, en la Facultad Regional Avellaneda de la Universidad Tecnológica Nacional.

## Antecedentes y fundamentos del estudio

En la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo durante la Segunda Cumbre de la Tierra, (Agenda 21,1992) se trazó un programa de acción para desarrollo mundial sostenible. El mismo ha presentado lineamientos tendientes a mejorar la calidad de vida de las personas, adoptando como premisas (García et al., 2008):

- El respeto por la diversidad biológica y la ecología.
- La satisfacción de necesidades básicas primarias de las personas, entre las que se encuentran la salud y la vivienda.
- Una menor utilización de recursos no renovables
- La disminución de la producción de basura.

También en otros documentos emitidos por la CEPAL sobre la pobreza y la precariedad del hábitat en América Latina y el Caribe, se ha identificado el desarrollo sostenible como una construcción realizada sobre la base de una interacción entre perspectivas sociales, económicas y ambientales (Mac Donald, 2004).

El Organismo de las Naciones Unidas ha propuesto ocho "Objetivos de Desarrollo del Milenio", que deberían alcanzarse antes del año 2015, fundado en que *"Aproximadamente 2.500 millones de personas, casi la mitad de la población del mundo en desarrollo, vive sin servicios de saneamiento mejorados...Más de un tercio de la población urbana en los países en desarrollo viven en tugurios"* (ONU, 2008).

El informe "Objetivos de Desarrollo del Milenio" difundido durante este año por el Organismo (ONU, 2010) enuncia que, a pesar de haberse tomado importantes medidas para mejorar la situación, éstas no han sido suficientes y de continuar con la tendencia actual será necesario reformular la estrategia, especialmente en países en vías de desarrollo, puesto que el valor mencionado anteriormente se incrementará en aproximadamente un 8 % antes del 2015.

En Argentina, como en otros países latinoamericanos, a pesar de destinarse recursos para resolver el problema de carencia de la vivienda, en muchos casos han resultado insuficientes, y se han acentuado las dificultades para lograr una "vivienda adecuada" como respuesta a un derecho básico de las personas y con ello, entre otros, a aspectos tales como la seguridad jurídica, la disponibilidad de servicios, la infraestructura, la habitabilidad y la asequibilidad (García et al, 2009).

En este contexto, las personas deben permanecer a menudo en espacios no habitables, inadecuados, o con una escasa durabilidad de la vivienda, siendo éste de los factores de mayor deterioro de las condiciones de vida de las comunidades, y por lo tanto ha sido un aspecto prioritario considerado en la realización de este estudio.

El desarrollo de la industria trae consigo nuevas tecnologías y productos que representan progresos en las sociedades y, como contrapartida, la aparición de desperdicios que en muchas ocasiones se convierten en desechos arrojados al medio, generando contaminación.

En particular, la construcción y las industrias que se derivan de ella aplican tradicionalmente materiales que introducen impactos negativos en algunas de las diferentes etapas de su obtención, como ser su extracción, transporte, almacenaje, procesos de fabricación de productos y subproductos y desperdicios originados.

De la misma forma, debemos considerar los efectos que pueden generarse durante la ejecución de los procesos constructivos en los que se aplican aquellos materiales y productos, sin dejar de lado la disposición posterior a la vida útil de la edificación.

En los últimos años ha surgido la preocupación por el impacto generado en el ambiente por la industrialización, originándose así los denominados “ecomateriales” como medio de mitigación en diferentes países. Se trata de materiales que han sido obtenidos de la naturaleza, como los que aplica la arquitectura en tierra (suelos o suelos mejorados, paja, bambú, entre otros) o aquellos en cuya elaboración se han reutilizado desperdicios o subproductos como parte de la materia prima; un ejemplo de esto lo constituyen los hormigones reciclados, que en su composición utilizan materiales de construcción que han sido obtenidos de demoliciones. La utilización de este tipo de materiales en la construcción en general, y en viviendas en particular, es motivo de diferentes trabajos de investigadores en el mundo.

En esta misma línea, la disposición de residuos de polímeros no sólo motiva inquietud en nuestro país y en el resto del mundo, sino que además constituye un problema que afecta a la economía, pero fundamentalmente es de gran incidencia sobre el medio ambiente, puesto que su disposición genera la necesidad de contar con ámbitos específicos, implicando esto también su recolección, el almacenamiento de grandes volúmenes y el tratamiento de los mismos, los cuales podrían evitarse si se los reutilizara.

Las industrias productoras de materiales originados por polimerización, en particular los plásticos, se han expandido en mayor medida en el siglo XX. Cabe acotar que según el diccionario de la Real Academia Española un polímero es un compuesto químico, natural o sintético, formado por polimerización, que implica una reacción química en la que dos o más moléculas se combinan para formar otra, y que consiste esencialmente en unidades estructurales repetidas.

Las pruebas y los estudios realizados se han basado en el aprovechamiento, mediante tecnologías apropiadas, de este subproducto para el desarrollo de materiales. Se procura lograr productos que requieran:

- Menores consumos energéticos en su generación
- Mejor aprovechamiento de recursos naturales, con uso responsable de los mismos.
- Reaprovechamiento de subproductos que de otra manera constituirían contaminantes en el medio.

Lo antedicho presenta la posibilidad de resolver problemas de carencia de viviendas e infraestructura, cuidando al medio ambiente y generando adicionalmente el ahorro de otros recursos utilizados en la construcción tradicional con disminución de los costos respectivos y, fundamentalmente, proponer aportes que se traduzcan en una mejor calidad de vida de las personas.

El estudio a encarar para lograr estos objetivos abarca adicionalmente, entre otros, temas relacionados con la calidad del producto final, y los costos comparativos de los materiales utilizados en la construcción.

Los resultados presentados en este artículo surgen como parte de una investigación que propende a la generación de modelos constructivos con cualidades diferenciales, aptos para ser utilizados en construcciones civiles destinadas a la comunidad, y que contribuyan desde el ámbito universitario a resolver la problemática social, económica y ambiental.

## Desarrollo Experimental

En los siguientes párrafos se describirá la manera en que se diseñó la investigación, los materiales utilizados y las técnicas aplicadas.

### Etapas de trabajo

Para el desarrollo de los estudios se establecieron las siguientes etapas consecutivas:

1. Investigación bibliográfica
  - Recopilación de datos, antecedentes históricos y estado actual del tema.
  - Relevamiento de antecedentes vinculados a la tecnología de producción del material y su desarrollo en países de Latinoamérica y a nivel mundial.
  - Análisis y evaluación de los datos obtenidos.
2. Desarrollo de programa de ensayos de laboratorio destinados a efectuar el control de calidad de los modelos, incluyendo: cronograma de tareas, ensayos experimentales y caracterización de los materiales componentes de las mezclas utilizadas.
3. Estudio de comportamiento de inclusiones del residuo en estudio en mezclas de morteros y hormigones.
  - Desarrollo de programa de ensayos de laboratorio destinados a efectuar el control de calidad de los modelos cuyas etapas fueron:
    - Examen de procesos de producción en escala de laboratorio.
    - Evaluación técnico-económica de las mezclas desarrolladas.
    - Implementación en laboratorio de ensayos experimentales.
    - Caracterización de los materiales componentes de las mezclas utilizadas en la construcción de modelos.
      - Determinación del comportamiento del cemento utilizado en cada caso.
      - Agregados finos y gruesos, incluyendo: curva granulométrica, módulo de finura, densidades relativas, absorción porcentual de agua, finos que pasan el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  peso unitario y tamaño máximo nominal. Combinación de agregados.
      - Residuo de polímero, incluyendo: granulometría, peso unitario, densidad. Estudio de comportamiento a diferentes temperaturas.
      - Estudio del comportamiento de la mezcla incorporando aditivos químicos.
  - Estudio de dosificación de mezclas de morteros y hormigones con diferentes destinos.
    - Comportamiento de los materiales resultantes variando los contenidos del producto y las relaciones agua - cemento.
  - Métodos de mezclado, colocación y compactación.
4. Ensayos de verificación del desempeño de modelos.
  - Estudios comparativos del comportamiento de los modelos con productos tradicionales:
    - Succión por capilaridad.
    - Resistencia a la compresión.
    - Peso unitario y su variación.
    - Resistencia a la flexión.
    - Verificación de dimensiones y defectos.

- Evaluación de resultados.
  - Estudio técnico-económico comparativo.
5. Transferencia de experiencias al medio.
- Prueba experimental en campo con aplicación del material en áreas de uso cotidiano de la Facultad Regional Avellaneda.

## **Materiales utilizados**

### **Materiales cementíceos**

En los ensayos realizados se utilizó como aglomerante cemento Pórtland compuesto de tipo CPC-40 de acuerdo a la Norma IRAM 50000:2000.

Se trata de un cemento Pórtland, en cuya composición, según el fabricante, se incluyen además de un mínimo de 65% de clinker<sup>1</sup>, adiciones minerales naturales o artificiales.

Su selección respondió a su accesibilidad en el mercado local y a que presenta algunas ventajas en cuanto al comportamiento reológico de la mezcla en estado fresco, puesto que puede requerir una menor demanda de agua y, consecuentemente, una menor relación agua-cemento.

La resistencia a la compresión se determinó según los lineamientos indicados por la norma IRAM 1622:2006 sobre probetas prismáticas de mortero. Los valores obtenidos a la edad de 28 días superaron los 40 MPa.

### **Agregados finos y gruesos**

Se utilizaron diferentes agregados, en función del tipo de mezcla y producto final que se deseaba lograr.

En las mezclas desarrolladas se utilizó un agregado fino silíceo natural denominado "arena mezcla", de partículas redondeadas. No obstante, se realizaron otros ensayos utilizando agregados finos de trituración (incluidos en algunos de los elementos diseñados) para evaluar su desempeño, especialmente en cuanto a resistencia.

Se realizaron ensayos destinados a caracterizar el material, de acuerdo con lo indicado en la Norma IRAM 1512:2006-Agregados finos para hormigón de cemento. Entre otras se determinaron densidades relativas y humedad de absorción (IRAM 1520:2002) y curva de distribución granulométrica correspondiente (IRAM 1627:1997).

En cuanto a los agregados gruesos, se utilizaron agregados de trituración de dos tipos de fracciones para estudiar el comportamiento de las mezclas de hormigón, denominados "piedra partida de fracciones 6-20 y 6-12". Su selección se debió a su potencial influencia en la adherencia de la pasta cementícea y en consecuencia en la resistencia final del material terminado.

---

<sup>2</sup> El "clinker" es el principal componente de un cemento. Se trata, de acuerdo a la Norma indicada anteriormente, del producto obtenido a partir de mezclas dosificadas de materias primas (piedra caliza y arcillas), las que son sometidas a un proceso de cocción en hornos hasta fusión incipiente. El material así obtenido es luego finamente molido y mezclado con adiciones minerales. Presenta en su composición fundamentalmente silicatos y aluminatos, que en los procesos de hidratación del cemento contribuyen a generar propiedades de resistencia y durabilidad (IRAM, 2000).

También en este caso se realizaron ensayos de caracterización de acuerdo con lo indicado en la norma IRAM 1533:2002, para determinar las densidades relativas y absorción de agua del material, y curvas de distribución granulométricas correspondientes (IRAM 1627:1997). Complementariamente se determinó el contenido de material fino que pasa por el tamiz IRAM 75  $\mu\text{m}$  (IRAM 1540:2004), dada su influencia sobre la demanda de agua y posibles problemas de adherencia en las mezclas.

## **Polímero**

Se trabajó con un material que constituye un subproducto de un proceso industrial, el cual fue posteriormente triturado. Según la información técnica y de seguridad aportada, se trata de un material compuesto de base polimérica, que por sus características puede considerarse estable, biológicamente inactivo, no tóxico e ignífugo, y que es habitualmente utilizado en la industria alimenticia como envoltorio.

Se realizaron algunos estudios previos, a efectos de evaluar su aplicación en las mezclas de morteros y hormigones, tales como la distribución granulométrica de las partículas, su densidad y su respuesta frente a distintas temperaturas.

## ***Aditivos químicos***

Se utilizaron aditivos químicos para lograr una disminución de las relaciones agua-cemento conservando la fluidez de las mezclas de hormigón con comportamiento adecuado.

Se ha profundizado el estudio en la elaboración de mezclas sin incorporación de aditivos, dado que estos deben ser cuidadosamente incorporados en mezclas, y por su destino es posible la transferencia de las técnicas de construcción a grupos de trabajo en cooperativas, las que seguramente contarán con equipamientos preparados para elaborar bajos volúmenes de hormigón.

## **Avances realizados**

Se efectuaron ensayos comparativos de mezclas patrones en cuyas composiciones se utilizaron materiales tradicionales y otras a las que se incorporaron los residuos de polímero provistos desde la industria.

El aseguramiento de la calidad de los diversos productos en desarrollo implica el cumplimiento de requisitos de resistencia y durabilidad, dependiendo de los niveles de exigencia de estos requisitos de su aplicación. Por ejemplo: elementos portantes y de cerramiento en vivienda, solados destinados a veredas o pavimentos, elementos complementarios en zonas parquizadas tales como bancos, etc.

A tal fin, se tomaron como base los conceptos básicos planteados por Abrams respecto de la relación agua/cemento, la porosidad y la resistencia del hormigón, analizando además las características de las mezclas en estado fresco.

Asimismo, se han seguido los lineamientos básicos de la Guía para la durabilidad del hormigón ACI 201.2R-01. Además, específicamente para uso de bloques de hormigón como mamposterías se ha tomado como base el Proyecto de Reglamento CIRSOC 501-E.

Con el avance de los estudios, se realizaron numerosas pruebas generando diferentes modelos con morteros y hormigones livianos de utilización práctica, entre las que se cuentan:

- **Bloques de mortero alivianado**

Se han elaborado bloques huecos de mortero alivianado, con la adición de residuos de polímeros en reemplazo de una parte de los agregados (ver Figura 1), destinados a mamposterías de viviendas. Para su elaboración se utilizó una máquina especial con control automático y bandeja vibratoria.



Figura 1. Bloque hueco de hormigón para mampostería.

- **Baldosones, losetas y premoldeados**

Se elaboraron baldosas de mortero alivianado, destinadas a solados y veredas de obras públicas. En su ejecución se utilizaron residuos de polímeros en reemplazo de una parte de los agregados, los cuales fueron colocados en capas y con aplicación de presión. Se presentaron diferentes terminaciones de colores, y entramados en relieve para hacerlos antideslizantes (ver Figura 2).

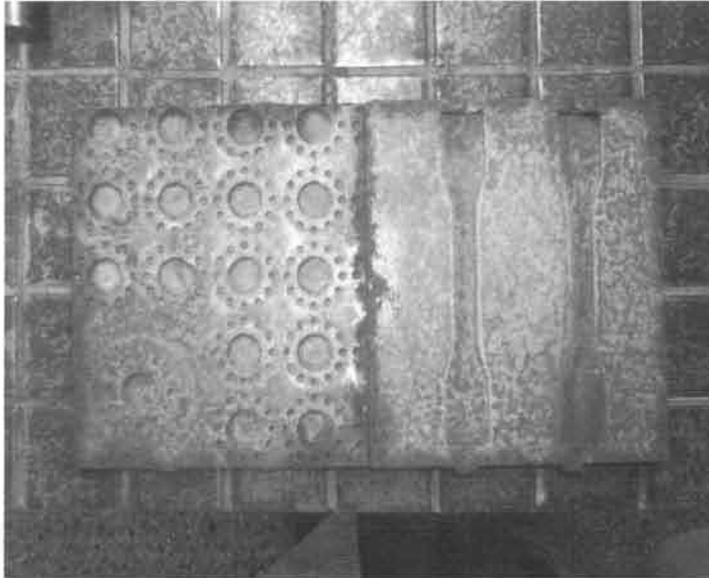


Figura 2. Ejemplos de terminación superficial en baldosas

- **Solados de hormigón (veredas y accesos)**

Se elaboraron mezclas utilizando hormigones con agregado grueso de trituración, tamaño 6-20, y otros de la fracción 6-12, destinadas a veredas y accesos de obras públicas. Se utilizaron residuos de polímeros en reemplazo de una parte de los agregados. Al igual que en las baldosas, se pueden lograr diferentes terminaciones de colores y tramas antideslizantes (ver Figura 3).

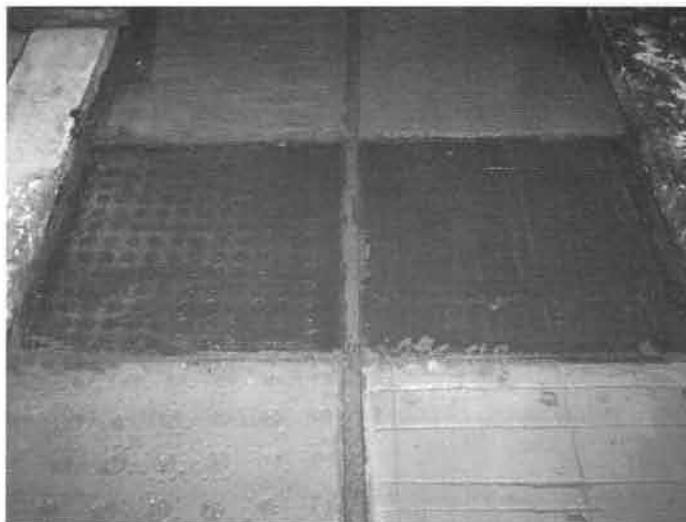


Figura 3. Modelo tipo de acceso peatonal con terminaciones superficiales variadas

- **Otros usos posibles**

Para elementos de arquitectura decorativa o uso ornamental en espacios públicos, se ha desarrollado un agregado fino especial, resultante de la mezcla de arena y polímeros.

- **Trabajos en campo**

Se ha utilizado la mezcla de hormigones con adición de polímeros para la fabricación de mesadas en laboratorios de la Facultad Regional Avellaneda. Para su ejecución se contó con mano de obra no especializada, a la cual se le transfirió el método de elaboración y colocación del material, además de estudiantes de la carrera de ingeniería civil (Ver Figura 4).

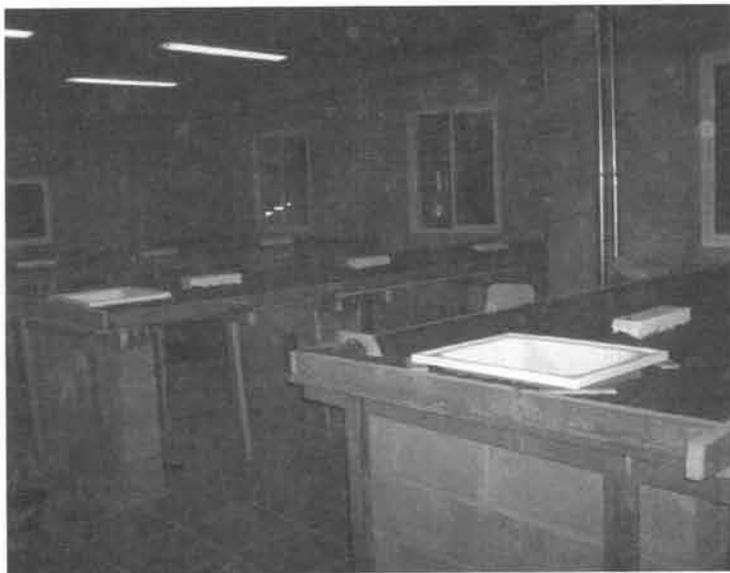


Figura 4. Trabajos realizados en instalaciones de la Facultad Regional Avellaneda

## Resultados

### Resistencia a la compresión en hormigones

Se realizaron estudios comparativos de mezclas con contenidos de cemento moderado y bajo.

Se lograron resistencias cilíndricas a la compresión en hormigones cercanas a los 20 MPa y 10 MPa en promedio, respectivamente. (Ver Figura 5).

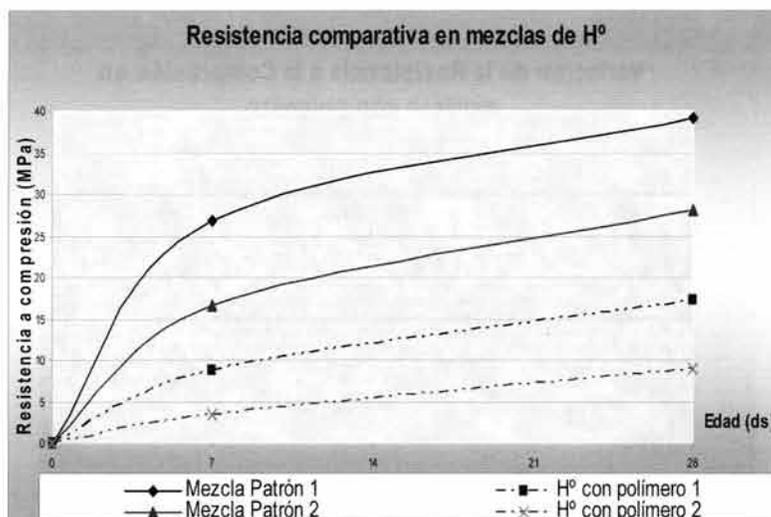


Figura 5. Evolución de resistencias comparativas de mezclas de hormigón

### Ensayos a flexión y compresión sobre probetas de mortero

Se efectuaron ensayos de resistencia a la compresión sobre probetas de mortero con incrementos porcentuales de polímero (en peso) y con una relación agua-cemento (a/c) de 0,5. En la Figura 6 puede observarse la curva de variación.

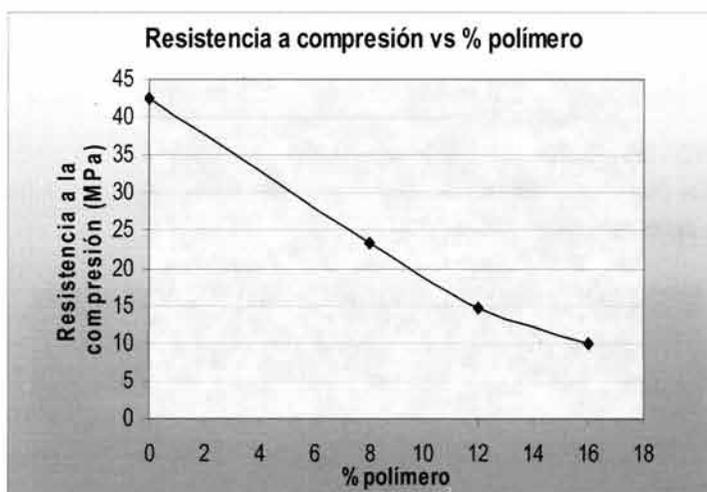


Figura 6. Resistencia a la compresión en función del porcentaje de polímero

Paralelamente se realizaron ensayos tendientes a observar la variación de la resistencia a la compresión en función de relaciones a/c crecientes, sobre probetas de mortero con adiciones de polímero cercanas al 35% en volumen (Ver Figura 7). La relación entre el módulo de rotura por flexión y la resistencia a la compresión presentó variaciones, para el mismo caso, de entre 42 y 55%.

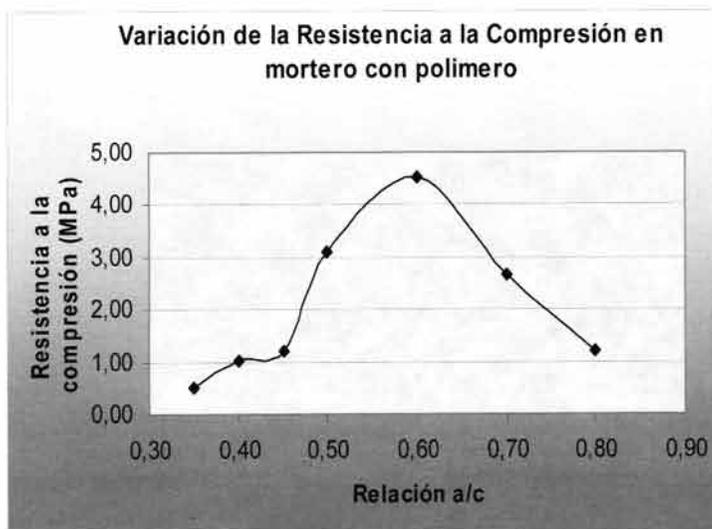


Figura 7. Resistencia a la compresión en morteros a la edad de 7 días

### Bloques huecos de hormigón alivianados

Se realizaron ensayos de resistencia a la compresión de los especímenes moldeados según los lineamientos indicados en la Norma IRAM 11561, cuyos valores promedio a la edad de 28 días fueron de 5,1 MPa.

### Peso unitario

Se estudiaron las variaciones de peso unitario en función del incremento de relación a/c sobre probetas de mortero adicionadas con elevado porcentaje de polímero. En la Figura 8 pueden apreciarse los resultados.

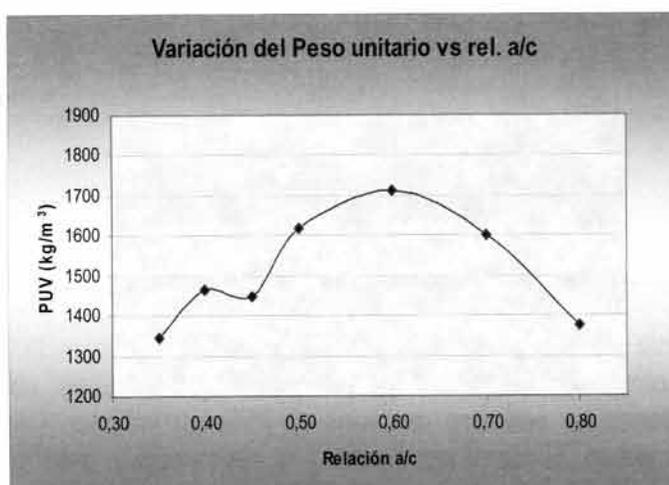


Figura 8. Peso unitario en morteros respecto de relación a/c

### Costos comparativos con mezclas tradicionales

Se lograron ahorros de 39 % en los costos, en mezclas de hormigón. Esto representa un ahorro en el uso de agregados de 40 %, aproximadamente (Ver Figura 9).

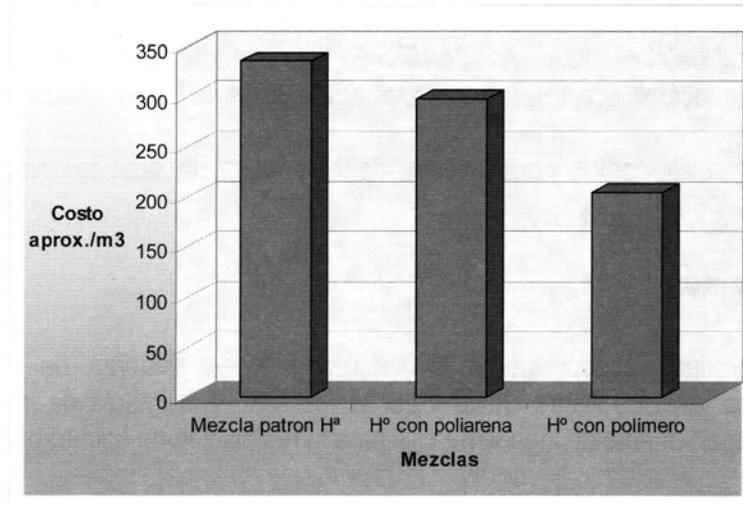


Figura 9. Costos comparativos de mezclas

### Capacidad de succión por capilaridad

Se muestran en la Tabla 1 los valores comparativos de succión por capilaridad

Tabla 1. Valores comparativos de succión por capilaridad

Succión característica (gr/cm <sup>2</sup> )	
Bloque cerámico hueco	0,46
Ladrillo Macizo	1,74
Bloque de Suelo estabilizado	1,03
Bloque de Hº Tradicional	0,25
Bloque de Hº con polímero	0,07

### Conclusiones

Las ventajas que se han podido hallar mediante los estudios desarrollados hasta el momento con la utilización del producto revelan que:

- Los bloques huecos de hormigón obtenidos presentan una resistencia adecuada para ser aplicados en cerramientos.
- Los valores de succión por capilaridad en este tipo de elementos es menor, respecto a las obtenidas con otros elementos similares utilizados en viviendas. Este parámetro es importante al considerar patologías causadas por humedad.

- La relación registrada entre flexión y compresión en mortero es elevada, comparada con mezclas tradicionales.
- Se observan mejoras en las curvas granulométricas de agregados finos con la adición del polímero en estudio.
- Los estudios comparativos con mezclas tradicionales han determinado disminuciones en los costos, con ahorro en el consumo de agregados.
- La forma de elaboración y colocación de este material es transferible a grupos de trabajo para autoconstrucción, fomentando además así el uso responsable de los recursos.
- Se logan elementos constructivos de bajo peso, lo cual los hace fácilmente transportables.

## **Agradecimientos**

Se agradece especialmente la constancia y el esfuerzo de Pablo Grazi (estudiante), los técnicos Pedro Davio y Lucas Marzetti, y el interés de los estudiantes becarios del departamento de ingeniería civil para la realización de este trabajo.

## Referencias

Agenda 21 (1992). *Conferencia de la ONU sobre Medio Ambiente y Desarrollo*. Río de Janeiro, Brasil [en línea] Organismo de Naciones Unidas - ONU. División for Sustainable Development Disponible en [http://www.un.org/esa/dsd/resources/res\\_docukeyconf.shtml](http://www.un.org/esa/dsd/resources/res_docukeyconf.shtml) (fecha de acceso: 23 de julio de 2010)

García, A., Mazzeo, J., y Grazi, P. (2008). *Calidad de Edificaciones en Suelo Estabilizado y su evaluación mediante Modelos Constructivos*. VII Seminário Ibero-Americano de Construção com Terra, II Congresso de Arquitetura e Construção com Terra no Brasil, São Luís, Maranhão, Brasil.

García, A., Mazzeo, J., y Grazi, P. (2009). *Evaluación de la calidad de mezclas de suelo estabilizado en modelos constructivos frente a acciones climáticas*. SIACOT VIII - Seminario Iberoamericano de Construcción con Tierra, SAACT II - Seminario Argentino de Arquitectura y Construcción con Tierra, San Miguel de Tucumán, Argentina.

IRAM (2000). *Norma IRAM 50000. Cemento. Cemento para uso general*, 1° edición. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Argentina.

Mac Donald, J. (2004). *Pobreza y Precariedad del hábitat en ciudades de América Latina y el Caribe*. División Desarrollo sostenible y asentamiento humanos. Serie Manuales N° 38. CEPAL. ONU. Santiago de Chile, Chile.

ONU (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development- WCED* (Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo a la Asamblea de Naciones Unidas) N° A/42/427. Organismo de Naciones Unidas, Estados Unidos.

ONU (2008). *Objetivos de Desarrollo del Milenio. Informe 2008*. Naciones Unidas. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas. Nueva York, Estados Unidos. [en línea]. Portal del Organismo de Naciones Unidas sobre objetivos de desarrollo del milenio. Disponible en <http://www.un.org/spanish/millenniumgoals/reports.shtml> (fecha de acceso 23 de julio de 2010)

ONU (2010). *Objetivos de Desarrollo del Milenio. Informe 2010*. Naciones Unidas. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas. Nueva York, Estados Unidos. [en línea]. Portal del Organismo de Naciones Unidas sobre objetivos de desarrollo del milenio. Disponible en <http://www.un.org/spanish/millenniumgoals/reports.shtml> (fecha de acceso 23 de julio de 2010)



Nota técnica

## LA RECOLECCIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS MEDIANTE CAMIONES Y LAS CONSECUENCIAS FÍSICAS QUE PADECEN SUS OPERARIOS<sup>1</sup>

**Miguel Ángel Risetto\***, Alejandro Jaromezuk, Héctor Federico Vives, Juan José Balgac, Ana María Vives, Walter Gurrera

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Avellaneda, Avda. Mitre 750, (1870) Avellaneda, Provincia de Buenos Aires, Argentina

\* Autor a quien la correspondencia debe ser dirigida.

Correo electrónico: *mrisetto@fra.utn.edu.ar*

*Recibido el 10 de julio de 2010; aceptado el 30 de julio de 2010*

### Resumen

Se efectuó el monitoreo de las actividades que desarrollan los operarios cuando recolectan los residuos sólidos domiciliarios en la vía pública con el uso de camiones y su interacción con los diferentes componentes que participan en este sistema. Si bien este trabajo formó parte del proyecto "Caracterización del comportamiento ergonómico del recolector de residuos urbanos", el seguimiento al camión recolector de residuos permitió completar una primera etapa de conclusiones y propuestas independientes, que facilitarán una transferencia muy rápida a los medios educativo, social y empresario, cumpliendo con una premisa fundamental de la investigación tecnológica. El análisis de las operaciones de recolección fue realizado mediante los métodos ergonómicos EPR y REBA, y pudo comprobarse que los operarios que intervienen directamente en esta profesión padecen serias consecuencias físicas y deben reunir características propias de atletas de alta competencia, ya que deben estar preparados para sostener una actividad muy exigentes, como ser recorrer más 25 km en 4 h, levantando y arrojando bultos y con la dificultad adicional de interactuar con un medio hostil, configurado por el camión recolector, el tránsito vehicular, los residuos y con condiciones climáticas ambientales casi siempre adversas.

**Palabras clave:** métodos ergonómicos, recolección de residuos sólidos urbanos, accidentes de trabajo, camiones recolectores, residuos sólidos urbanos.

---

<sup>1</sup> Trabajo realizado en el marco del Proyecto de Investigación y Desarrollo: *Caracterización ergonómica del puesto de trabajo del recolector de residuos urbanos*. Proyecto homologado por la Universidad Tecnológica Nacional, bajo el código UTN1062.

## Abstract

The monitoring of the activities carried out by the operators when collecting domestic solid waste on the road with the use of trucks, and its interaction with the various components involved in this system, was performed. Although this work was part of the "Characterization of ergonomic behavior of the garbage collector of urban waste" project, the follow-up to the collector truck waste allowed the completion of a first stage of conclusions and independent proposals, that will facilitate a fast transfer to the educational, social environment and businessman, fulfilling a fundamental premise of the technological research. The analysis of the activities of recollection was carried out by the ergonomic methods EPR and REBA; it was demonstrated that the operators directly involved in this profession suffer serious physical consequences. They should meet features typical of high competition athletes, since must be prepared to support very demanding activities, like covering more than 25 km in 4 hr, lifting and throwing packages with the additional difficulty of interacting with a hostile environment, configured by the collector truck, the vehicular traffic, the wastes, and the environmental conditions, almost always adverse.

**Key-words:** ergonomic methods, recollection of urban solid wastes, working accidents, collectors trucks, urban wastes

## Introducción

La recolección de residuos sólidos urbanos mediante camiones recolectores está catalogada por la Organización Internacional del Trabajo como uno de los trabajos más peligrosos para el ser humano, en razón de los variados motivos que hacen a la prestación del servicio.

La carga horaria, la extensión de las distancias recorridas a pie, la posición del operario en el camión, los esfuerzos para levantar objetos del piso y luego arrojarlos a distancias considerables, entre otras cuestiones accesorias, generan patologías en distintas partes del cuerpo que afectan las capacidades de los empleados, ya sea con consecuencias inmediatas en forma de accidentes, como en el mediano y largo plazo, cuando se desarrollan las enfermedades profesionales.

A pesar de estos hechos, estadísticamente comprobados, y de los fenomenales avances tecnológicos de los últimos años, no se han observado en esta actividad tan difundida, tanto en nuestro país como en el mundo entero, cambios o modificaciones que beneficien de un modo sustancial la salud de los trabajadores del rubro.

De este modo, los operarios que intervienen directamente en la recogida de los residuos son el soporte fundamental y "fusible" de esta labor, ya que deben reunir características físicas propias de atletas de alta competencia, al estar preparados para sostener una actividad física intensa, por ejemplo, recorriendo más de 25 km en 4 horas, con la dificultad adicional de interactuar con un medio hostil, configurado por el camión recolector, el tránsito vehicular, los residuos y las condiciones climáticas y ambientales siempre variables y muchas veces desfavorables.

Estas situaciones, que pueden parecer sólo aspectos que caracterizan a la actividad, se vuelven considerables cuando se advierte que pueden provocar diferentes accidentes y perjuicios físicos, como ser lastimaduras por contacto con vidrios, objetos

puntiagudos o trozos cortantes que se encuentran dentro de las bolsas de basura; problemas en la columna y de postura general y eventuales caídas del camión. A esto se suma el permanente contacto con residuos tóxicos del tipo ácido de baterías, latas de disolventes o pinturas, o con material médico u hospitalario para el cual no se cuenta con los sistemas adecuados para su tratamiento.

Bajo este panorama general, se decidió primero relevar detalladamente in-situ las actividades que desarrollan los operarios mientras realizan las tareas de recolección en la vía pública; luego se estudiaron sus movimientos y las posibles consecuencias físicas de su interacción con los diferentes componentes que participan en la actividad, para concluir con la transferencia al medio que implican las propuestas de mejoras que minimicen dichas situaciones de riesgo, optimizando al tiempo la actividad.

## **Desarrollo**

Es dable destacar que este seguimiento, realizado en pleno período invernal, es el primero de los tres programados que forman parte del proyecto de investigación "Caracterización del comportamiento ergonómico del recolector de residuos urbanos", actualmente en desarrollo en la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Avellaneda (UTN-FRA) y requerido por una empresa recolectora, debido a los accidentes que experimentaban sus trabajadores. El segundo seguimiento se realizará en verano, y el tercero con lluvia, pudiendo con estos futuros relevamientos obtenerse nuevos datos relacionados especialmente con las características de los factores climáticos, y también los sociales, que puedan presentarse por el período de vacaciones de verano, y de este modo modificar las condiciones laborales.

También es importante mencionar que el presente trabajo surgió a partir del interés del Municipio de Avellaneda en encontrar mejoras para los trabajadores y los vecinos, y en donde el grupo de investigadores de UTN-FRA asumió el compromiso profesional y ético en transferir al medio social las mejoras sustanciales resultantes de este estudio.

En este orden de cosas, y una vez recogido el corpus material que indica -entre otros datos- que la tasa media anual de accidentes de trabajo en el sector es de casi 80 accidentes por cada 2.000 horas de recolección, el grupo de investigación procedió a desarrollar el trabajo con la metodología que se describe.

## **Búsqueda y compilación de información**

Se realizaron primeramente las gestiones previas entre las partes interesadas: la Facultad Regional Avellaneda, el Municipio de Avellaneda y la empresa Proactiva SA, tendientes a definir las características y las fechas del seguimiento.

Se contó con un vehículo oficial de Facultad Regional Avellaneda, que siguió desde atrás permanentemente al camión recolector. Además se dispuso de una filmadora digital de disco rígido y visión nocturna, cámaras fotográficas digitales y cronómetros y pesas digitales, para filmar y medir en "tiempo real, sin interrupciones, tanto de día como de noche".

Se tomaron fotografías, filmaciones y grabaciones en tiempo real de los equipos, operarios y actividades durante todo el seguimiento. Se efectuaron mediciones de temperatura, pesaje de bolsas de residuos, cronometrado de tiempos y actividades.

El seguimiento se realizó durante un día de trabajo, con salida de la planta a las 17,00 hs y regreso a las 20,30 hs. Los datos correspondientes a la información general son:

- Lugar de inicio del recorrido y de las actividades: Craig y Av. Mitre localidad Sarandí – Avellaneda – Provincia de Buenos Aires - Argentina
- Temperatura ambiente durante la actividad: 10 °C
- Camión recolector Marca: Scania, Interno 127, Dominio: GII 599. Estado de la unidad: muy bueno
- Características físicas del personal involucrado:  
Chofer: -Cantidad: Uno. Edad: 50 años de edad. En este caso no es objeto de estudio.  
Recolectores:  
Cantidad: Tres, con biotipos de características muy similares.  
Edades: entre 25 y 30 años  
Peso: entre 70kg y 75 kg  
Altura: entre 1,75m y 1,80m

### **Descripción de las tareas observadas –in situ- durante el seguimiento**

Se describen las operaciones durante una fracción de la actividad, desde el inicio de la actividad y en períodos aleatorios, con el fin de mostrar cómo es su desarrollo y detectar las diferentes problemáticas involucradas y sus variables o reiteraciones.

El camión se encuentra detenido con las balizas encendidas. El operario N° 1 parte hacia adelante a la derecha y el N° 2 a la izquierda. El camión recorre aproximadamente 25 m, con un operario –el N°3- colgado mientras sus compañeros hacen el trayecto de a pie.

El camión, siempre con las balizas encendidas, se detiene en el centro de la calzada a mitad de cuadra. Antes de detenerse baja con un salto el operario N° 3 hacia la izquierda y se dirige a juntar bolsas. Allí lo espera el operario N° 2, quien había acopiado la basura en un punto A, en la vereda del lado izquierdo. El operario N° 2 toma una caja de cartón, de aproximadamente 30 x 40 x 60 cm, más dos bolsas de consorcio al 50 % de su capacidad. Arrastra todo al centro de la calzada junto al camión. Arroja las dos bolsas de espaldas a la caja del camión, habiéndolas llevado hasta allí, una con cada brazo. Luego se agacha, toma la caja con ambos brazos (la caja se observa pesada porque la arrastra) para acercarla al camión. Con el fin de alivianarla saca tres bolsas de adentro de la caja y las arroja al camión. Luego levanta la caja con esfuerzo, de un peso aproximado de 10 kg, y la introduce en el camión, que permanece detenido en el centro de la calzada.

Mientras tanto el operario N° 3 retira de un cesto de basura elevado a aproximadamente 1,60 m de altura del suelo, 6 bolsas de supermercado, cada una de un peso estimado en un kilo y medio – 3 en cada mano – y recorre con ellas unos 8 metros, hasta llegar al camión, donde las arroja de perfil al vehículo y parte corriendo hacia la esquina, siempre del lado izquierdo del camión.

El operario N° 2 vuelve al punto A, de acopio; levanta el resto de la basura del piso, agachándose, y de arriba del cesto, estirándose. Al trote se aproxima al camión, arroja todo y se sube colgado a la parte trasera; avisa con un grito: “listo” y el camión arranca (El camión estuvo detenido 18 segundos en el centro de la calzada, con vehículos circulando por su derecha).

El operario N° 3 sale desde la esquina, del lado izquierdo, a paso rápido, y arroja la basura cruzando la calle, se sube al camión primero del lado izquierdo y se traslada por el estribo trasero hasta el lado derecho, todo con el vehículo en movimiento, que luego dobla en esa esquina a la derecha.

Los operarios N° 2 y N° 3 bajan, siempre del lado izquierdo, y toman bolsas que arrojan al camión en movimiento, desde aproximadamente 6 m de distancia y corriendo detrás. Una bolsa se rompe y quedan desperdicios en el piso, que no son recogidos. El operario N° 3 parte corriendo otra vez a buscar basura en la vereda izquierda. El operario N° 2 parte corriendo hacia la derecha al encuentro del operario N° 1, que en todo este tiempo (52 segundos) estuvo acopiando basura en el punto B.

El camión se detiene en el punto B, a la espera de que los operarios arrojen la basura. El operario N° 1 lleva al camión 8 bolsas de supermercado (4 en cada mano) y las arroja. El operario N° 3 hace lo mismo. El operario N° 1 sube al camión, que arranca, mientras el 2 y el 3 corren a la par. Hasta este momento se recorrieron aproximadamente 250 m en el tiempo de 1 minuto y 4 segundos.

El operario N° 1 trabaja sobre la vereda derecha, el N° 2 sobre la izquierda y el N° 3 alterna. En 2 minutos 20 segundos recorren 350 m. Durante ese tiempo el camión estuvo completamente detenido 45 segundos.

La compactadora comienza a funcionar a los 3 minutos con 30 segundos, con el camión detenido; los operarios elongan los gemelos sobre la plataforma. El procedimiento dura entre 25 y 30 segundos.

A los 4 minutos llevan recorridas 4 cuadras.

A los 10 minutos 40 segundos compactan por segunda vez. Este procedimiento dura aproximadamente 30 segundos. Aquí también se observa que los dos operarios que están sobre el camión aprovechan para elongar gemelos y que el tercero se adelanta para ir acopiando bultos.

A los 16 minutos con 30 segundos compactan por tercera vez.

A los 24 minutos con 30 segundos compactan por cuarta vez.

A los 30 minutos de iniciado el recorrido, demoran 1 minuto con 10 segundos en recolectar los residuos de una cuadra.

A los 33 minutos compactan por quinta vez.

A los 32 minutos -18 hs- el chofer del camión encienden las luces reglamentarias, habiendo circulado prácticamente 15 minutos durante el anochecer sin luces.

A los 36 minutos con 30 segundos compactan por sexta vez.

En la toma de tiempos los recolectores realizaron:

Al inicio del seguimiento: 11 cuadras en 10 minutos

A los 30 minutos: 11 cuadras en 10 minutos

A los 60 minutos: 10 cuadras en 10 minutos

Se observa que a la hora del trabajo hubo una leve merma en el rendimiento. Con estos datos se comprobó un recorrido realizado de 65 cuadras –aproximadamente 8 km- en 60 minutos. De esto se concluye que en las 4,5 hs de trabajo declaradas, los recolectores recorren alrededor de 35 km.

### **Primer análisis de las actividades realizadas –in situ- por los operarios**

A continuación se hará un análisis de las muestras tomadas durante el seguimiento de la unidad recolectora:

- La coordinación entre chofer y operarios fue correcta. Se pudo verificar que existe un patrón de entendimiento de los movimientos entre los recolectores y el chofer del camión, basado en la experiencia dada por la repetición rutinaria de la actividad.
- Los guantes usados por los trabajadores eran de tela; se consideran no apropiados, ya que pueden ser dañados con facilidad por un elemento cortante.
- Los tipos de bolsas de residuos que los operarios recolectaban eran dos tipos bien diferenciados: las comunes de “supermercado”, con un peso entre 0,5 kg y 2 kg, y las de “consorcio”, con un peso entre 5 kg y 20 kg.
- Los operarios no tomaban de una bolsa de residuo por vez, sino todas las que podían, para realizar la tarea más rápido, en muchos casos esforzándose de más.
- Los operarios se hidrataron a los 50 minutos del comienzo de la tarea, con una bebida tipo “gaseosa” que les dieron en un almacén. Quedan dudas acerca de si el tipo de líquido era el adecuado.
- Entre ellos manejaban el cansancio, ya que se turnaban en la recolección de las bolsas, cuando tenían que ir corriendo a la par del camión.
- A medida que fue oscureciendo, la visibilidad fue menor y el tráfico mayor; para los trabajadores aumentó el riesgo de accidentes.
- Para la recolección nocturna, los flejes reflejantes incorporados en la indumentaria son muy importantes, aunque los operarios quedan trabajando a oscuras en muchas ocasiones, dependiendo de ser iluminados por otro vehículo para ser vistos.
- Las luces de posición y las balizas parecen adecuadas para la tarea. Se remarca que el camión circuló 15 minutos con las balizas y las luces de posición apagadas mientras anochece.
- La tarea implica riesgos físicos ocasionados por esfuerzos musculares y óseos y por caídas, resbalones, tropezones, atropellos, etc.
- Existen riesgos biológicos ocasionados por virus, bacterias y desechos infecciosos.
- Cuando el camión se detenía y comenzaba la operación de compactar la basura recogida, los operarios no tenían en cuenta el riesgo de que alguna bolsa no fuera bien compactada y volara hacia atrás, dañando al trabajador.
- El tipo y el tamaño de bulto difiere según la zona que recorren: en avenidas, donde hay más edificios en altura, predominan las bolsas de consorcio que se notan muy llenas, grandes y pesadas.
- El camión circula permanentemente con las balizas encendidas, salvo una parte del trayecto, como ya se ha mencionado.
- Cuando el camión está en movimiento por trayectos cortos -25 m aproximadamente- generalmente se observan uno o dos operarios colgados en la parte trasera del camión y uno o dos adelantándose y juntando basura.
- No se observaron caídas ni tropezones de los operarios durante la hora y media que duró el seguimiento.

### **Estudios ergonómicos mediante métodos y software específicos, realizados “in situ” y en laboratorio**

La adopción continuada o repetida de posturas penosas durante el trabajo genera fatiga y a la larga puede ocasionar trastornos en el sistema muscular y el esqueleto. Esta

Nivel	Carga estática	Comentario
1	0,1 ó 2	Situación satisfactoria.
2	3,4 ó 5	Débiles molestias. Algunas mejoras podrían aportar más comodidad al trabajador.
3	6 ó 7	Molestias medias. Existe riesgo de fatiga.
4	8 ó 9	Molestias fuertes. Fatiga
5	10 o más	Nocividad.

### Aplicación del Método REBA

El método REBA (Rapid Entire Body Assessment) fue propuesto por Hignett y McAtamney (2000) como resultado del trabajo conjunto de un equipo de ergónomos, fisioterapeutas, terapeutas ocupacionales y enfermeras, que identificaron alrededor de 600 posturas para su elaboración.

El método permite el análisis conjunto de las posiciones adoptadas por los miembros superiores del cuerpo (brazo, antebrazo, muñeca), del tronco, del cuello y de las piernas. Además, define otros factores que considera determinantes para la valoración final de la postura, como la carga o la fuerza manejada, el tipo de agarre o el tipo de actividad muscular desarrollada por el trabajador. Permite evaluar tanto posturas estáticas como dinámicas e incorpora como novedad la posibilidad de señalar la existencia de cambios bruscos de postura o posturas inestables.

Cabe destacar la inclusión en el método de un nuevo factor que valora si la postura de los miembros superiores del cuerpo es adoptada a favor o en contra de la gravedad. Se considera que dicha circunstancia acentúa o atenúa, según sea una postura a favor o en contra de la gravedad, el riesgo asociado a esa postura.

El método REBA es una herramienta de análisis postural especialmente sensible con las tareas que conllevan cambios inesperados de postura, normalmente como consecuencia de la manipulación de cargas inestables o impredecibles. Su aplicación previene al evaluador sobre el riesgo de lesiones asociadas a una postura, principalmente de tipo músculo-esquelético, indicando en cada caso la urgencia con la que se deberían aplicar acciones correctivas. Se trata, por tanto, de una herramienta útil para la prevención de riesgos capaz de alertar sobre condiciones de trabajo inadecuadas.

Para la definición de los segmentos corporales se analizaron una serie de tareas simples con variaciones en la carga y los movimientos. El estudio se realizó aplicando varios metodologías, de fiabilidad ampliamente reconocida por la comunidad ergonómica, tales como el método NIOSH (Waters et al., 1993), la Escala de Percepción de Esfuerzo (Borg, 1985), el método OWAS (Karhu et al., 1994), la técnica BPD (Corlett y Bishop, 1976) y el método RULA (McAtamney y Corlett, 1993). La aplicación del método RULA fue básica para la elaboración de los rangos de las distintas partes del cuerpo que el método REBA codifica y valora, de ahí la gran similitud que se puede observar entre ambos métodos.

Las puntuaciones individuales obtenidas para el tronco, el cuello y las piernas (grupo A), permite obtener una primera puntuación de dicho grupo (Tabla 2).

La puntuación inicial para el grupo B se obtiene a partir de la puntuación del brazo, el antebrazo y la muñeca (Tabla 3).

carga estática o postural es uno de los factores a tener en cuenta en la evaluación de las condiciones de trabajo, y su reducción es una de las medidas fundamentales a adoptar en la mejora de puestos.

### Aplicación del método EPR (Evaluación Postural Rápida)

“EPR (Universidad Politécnica de Valencia, 2006) no es en sí un método que permita conocer los factores de riesgo asociados a la carga postural, si no, más bien, una herramienta que permite realizar una primera y somera valoración de las posturas adoptadas por el trabajador a lo largo de la jornada.

El método mide la carga estática considerando el tipo de posturas que adopta el trabajador y el tiempo que las mantiene, y proporciona un valor numérico proporcional al nivel de carga. A partir del valor de la carga estática el método propone un Nivel de Actuación entre 1 y 5.

EPR no evalúa posturas concretas, si no que realiza una valoración global de las diferentes posturas adoptadas y del tiempo que son mantenidas.” (www.ergonautas .com)

El método considera que el trabajador puede adoptar 14 posibles posturas genéricas, que son recogidas en la Tabla 1.

**Tabla 1. “Posturas genéricas”**

*\* Extraída de la Referencia: Universidad Politécnica de Valencia (2006)*

Sentado: Normal		Sentado: Inclinado		Sentado: Brazos por encima de los hombros	
De pie: Normal		De pie: Brazos en extensión frontal		De pie: Brazos por encima de los hombros	
De pie: Inclinado		De pie: Muy inclinado		Arrodillado: Normal	
Arrodillado: Inclinado		Arrodillado: Brazos por encima de los hombros		Tumbado: Brazos por encima de los hombros	
Agachado: Normal		Agachado: Brazos por encima de los hombros			

“El proceso de evaluación comienza observando al trabajador durante una hora de desempeño de su tarea, anotando las diferentes posturas que adopta (de entre las de la tabla 1) y el tiempo que las mantiene.

A partir de estos datos, el método proporciona el valor de la Carga Postural. El método organiza las puntuaciones finales en niveles de actuación que orientan al evaluador sobre las decisiones a tomar tras el análisis. Los niveles de actuación propuestos van del nivel 1, que estima que la postura evaluada resulta aceptable, al nivel 5, que indica que la carga estática resulta nociva para el trabajador y que, por tanto, es urgente la toma de medidas para mejorar el puesto de trabajo.” (www.ergonautas .com)

Tabla 2. Puntuación del grupo A

Parte del Cuerpo	INSTANTE					
	0:08	4:33	4:35	7:14	10:38	10:49
Tronco	4	1	1	4	0	0
Modificación tronco	1	0	1	1	1	1
Cuello	1	1	1	1	1	1
Modificación cuello	1	0	1	1	0	0
Piernas	2	2	2	2	2	2
Modificación Piernas	1	0	0	1	0	0

Tabla 3. Puntuación del grupo B

Parte del Cuerpo	Parte Izq	Parte Der	Parte Izq	Parte Izq	Parte Izq	Parte Der
Brazo	3	4	3	3	1	4
Modificación Brazo	-1	2	2	-1	2	2
Antebrazo	2	1	2	2	1	1
Muñeca	1	1	1	1	1	2
Modificación Muñeca	0	0	1	0	1	0

La carga o fuerza manejada modificará la puntuación asignada al grupo A (tronco, cuello y piernas), excepto si la carga no supera los 5 Kilogramos de peso, cosa predominante en nuestra actividad, por lo que en esta etapa no se considera el plus por carga.

El tipo de agarre aumentará la puntuación del grupo B (brazo, antebrazo y muñeca), excepto en el caso de considerarse que el tipo de agarre es bueno. También aquí, para una primera evaluación consideramos que la mayoría de las situaciones determinan un buen agarre y no aplicamos el plus referido

De acuerdo con la Tabla 4, se encontrara si cada parte del cuerpo de los grupos A y B requiere acciones, y su grado de urgencia.

Tabla 4. Niveles y acciones, según la puntuación

Puntuación Final	Nivel de acción	Nivel de Riesgo	de Actuación
1	0	Inapreciable	No es necesaria actuación
2-3	1	Bajo	Puede ser necesaria la actuación.
4-7	2	Medio	Es necesaria la actuación.
8-10	3	Alto	Es necesaria la actuación cuanto antes.
11-15	4	Muy alto	Es necesaria la actuación de inmediato.

## Resultados

A partir de las diversas herramientas empleadas se arribó por distintos caminos a resultados claros e indubitables.

El primer análisis intuitivo de la actividad mostró como resultado la generalidad de los problemas. De las observaciones y las tomas de tiempos se pudieron proyectar los siguientes valores absolutos y sus porcentuales:

1) Los recolectores permanecieron 4,5 horas (270 minutos) permanentemente de pie, ya sea parados, corriendo o caminando.

2) Durante ese tiempo estuvieron:

- parados y colgados sobre el camión, el 10% del tiempo, 27 minutos.
- trotando sin peso, el 20% del tiempo, 54 minutos.
- trotando cargados, el 20% del tiempo, 54 minutos.
- caminando sin peso el 20% del tiempo, 54 minutos.
- caminando cargados (con peso) el 20% del tiempo, 54 minutos.
- parados y arrojando bolsas: el 10% del tiempo, 27 minutos

3) Además:

- realizaron ejercicios de elongación de los gemelos mientras estuvieron parados sobre la plataforma del camión aproximadamente cada 13 minutos.
- en las 4,5 horas no se observó merma en el rendimiento, lo que muestra una gran capacidad física de los recolectores.

Con estos valores es factible encontrar a esta actividad de recolección como altamente exigente para sus operarios.

### Resultados del análisis del puesto de trabajo según método EPR

Del primer análisis del video realizado surgen los datos que se muestran en la Tabla 5.

**Tabla 5. Análisis inicial de las condiciones del puesto de trabajo**

Postura	Tiempo
De pie: Normal	35'a <50'
De pie: Brazos en extensión frontal	10'a <20'
De pie: Brazos por encima de los hombros	<10'
De pie: Inclinado	10'a <20'
De pie: Muy inclinado	10'a <20'

El resultado obtenido, aplicando el método EPR, fue el siguiente:

NIVEL 5 – Carga Estática: 13 – Nocividad

La tarea es nociva para el trabajador. Es urgente el rediseño de la tarea

Se realizó luego un análisis más profundo, en el cual se cronometraron las diferentes posturas a lo largo de un lapso de 15 min y se extendió el valor de los mismos proporcionalmente a 1 hora. Los datos se indican en la Tabla 6.

Tabla 6. Análisis exhaustivo de las condiciones del puesto de trabajo

Postura	Tiempo Real	Tiempo Proporcional
De pie: Normal	12,11'	48,4'
De pie: Brazos en extensión frontal	0,25'	1'
De pie: Brazos por encima de los hombros	0,65'	2,6'
De pie: Inclinado	0,58'	2,33'
De pie: Muy inclinado	1,4'	5,6'

El resultado final obtenido por EPR fue el siguiente:

NIVEL 4 – Carga Estática: 8 – Molestias fuertes, fatiga

Las posturas adoptadas por el trabajador pueden ocasionarle fuertes molestias. Es necesario introducir mejoras en el puesto.

### Resultados del análisis del puesto de trabajo según método REBA

De acuerdo con los análisis realizados y las puntuaciones asignadas a cada sector del cuerpo según lo dispone el método, se procedió a catalogar el nivel de riesgo y la actuación para la situación correspondiente.

En la Tabla 7 puede verse que prácticamente todo el cuerpo del operario puede o debe ser objeto de cuidado y por lo tanto de mejoras o del rediseño del puesto de trabajo.

Tabla 7. Resultado del análisis del puesto de trabajo según el método REBA

Parte del cuerpo	Nivel de Acción	Nivel de Riesgo	Actuación
Tronco	4	Muy alto	Es necesaria la actuación de inmediato.
Cuello	1	Bajo	Puede ser necesaria la actuación.
Piernas	3	Alto	Es necesaria la actuación cuanto antes.
Brazo	4	Muy alto	Es necesaria la actuación de inmediato.
Antebrazo	2	Medio	Es necesaria la actuación
Muñeca	2	Medio	Es necesaria la actuación.

### Discusión

Si bien la caracterización ergonómica de la actividad define esencialmente la relación entre el objeto y el sujeto, la ergonomía incluye también a todas las condiciones que hacen al puesto de trabajo.

Por tal motivo, hemos utilizado diversas herramientas para que el análisis ergonómico del puesto de trabajo sea completo y eficaz.

Es necesario mencionar que se presentó dificultosa la medición en el laboratorio – con uso de filmaciones y otros recursos- por los cambios constantes de las posturas del trabajador y los distintos ambientes de trabajo en los que se mueve. Como es sabido nuestro operario desempeña sus tareas en la vía pública y con condiciones climáticas muchas veces adversas.

En tal sentido, se ha considerado de utilidad la aplicación del EPR porque es una herramienta efectiva y a la vez sencilla, que permitió obtener una valoración general del nivel y la carga estática.

En cuanto a la decisión de utilizar el método REBA, obedeció a que es más completo -combina características de otros como el NIOSH especialmente- y con el que se pudo efectuar un estudio pormenorizado de cada actividad y su repercusión en cada sector del cuerpo del operario.

En este orden de cosas, consideramos que trabajar en este mismo seguimiento – como también en los otros seguimientos previstos- con otros métodos como el NIOSH, OWAS o RULA, podría representar aportes muy positivos a la discusión, para trabajar más detalladamente en cada postura y sus repercusiones.

Por otro lado, la decisión de hacer descripciones y análisis “in situ” representó un acierto, dado que ha proporcionado una fuente de información valedera donde no hay demasiados antecedentes al respecto para la actividad en la zona objeto del estudio.

A continuación se describen las diferentes situaciones problemáticas detectadas, catalogadas según su tipo, y que ofrecen elementos para la discusión:

#### • Ergonómicas:

- Los cestos de basura tienen diferentes alturas en su borde superior, desde 1.30 m y llegando a superar 1,80 m.

- Los bultos que recogen varían en peso, tipo y tamaño. Peso: desde el medio kilo y llegando a superar los 15 kg. El tipo y el tamaño varían desde una bolsa de supermercado a bolsas de consorcio y cajas de cartón (variadas) y cajas de madera generalmente vacíos (cajones de fruta).

- La comunicación con el chofer es mediante gritos.

- Los operarios no utilizan barbijos. Los guantes que utilizan son de finos y de tela, pudiendo ser atravesados por clavos, astillas de madera, agujas, vidrios, etc. Los calzados que utilizan no son botines de cuero reglamentarios sino zapatillas livianas que les permiten correr y saltar durante las 4 o 5 hs que dura el recorrido, pero que son débiles y no tienen refuerzos en las punteras, pudiendo ser atravesadas fácilmente por un objeto cortante.

- Mientras dura el proceso de compactación los operarios se encuentran sobre el camión, pudiendo tanto caerse hacia adentro del camión y ser apretados como así también ser afectados por algún desprendimiento de un residuo mientras es compactado.

- En algunos tramos del trayecto -cuando no hay basura para recoger- se suben los tres operarios al camión simultáneamente, compartiendo 2 una misma manija para agarrarse, y muchas veces sin tomarse de ninguna manija (como cuando se ubica uno en el centro del camión). Esta situación de cierto reposo se verifica en el 10 % del tiempo que dura el recorrido, entre 20 y 25 minutos.

- La descripción detallada de esta actividad relevada del recolector muestra claramente que el “el esfuerzo físico que realizan los operarios recolectores es constante y notable”, comparable al de un atleta o deportista de alta competencia.

• **Ambientales:**

- Quedan bolsas de basura sin recoger o restos de basura que caen de bolsas rotas en el pavimento o la vereda.
- El camión que está permanentemente con el motor en marcha y arrancando y parando es una fuente de contaminación ambiental.
- El camión, que funciona en las peores condiciones de eficiencia energética, en constante arranque y parada, provoca un alto consumo de combustible.

• **Físicas:**

- Los operarios están en esfuerzo constante.
- Cuando están recogiendo la basura: caminan rápido, trotan, corren, saltan para subir y bajar del camión, arrojan objetos desde corta y larga distancia al camión (entre 50 cm a 6 m). Se agachan y levantan objetos de diverso peso, se agachan y arrastran los objetos más pesados.
- Para introducir los objetos al camión deben rotar el cuerpo (en especial la cintura, rodillas, torso).
- Cuando están sobre el camión permanecen colgados, tomándose con uno o dos brazos y sosteniéndose con las piernas, que apoyan en una plataforma angosta – de una altura aproximada de entre 40 cm y 50 cm – ubicada en la parte trasera del camión.

• **Del tránsito vehicular:**

- El camión se detiene siempre en el centro de la calzada, obstaculizando el tránsito.
- Los vehículos pasan a ambos lados del camión, pudiendo ocasionar accidentes.
- Una mención particular en este sentido debe hacerse con las motos, ya que se cruzan y pasan velozmente por espacios donde no pueden pasar los autos, presentando un peligro inesperado para los operarios.
- Los operarios están permanentemente cruzando la calle sin poder prestar atención al tránsito. Además, cuando están sobre el camión se asoman peligrosamente, pudiendo ser embestidos, especialmente en las avenidas, por los colectivos que pasan cerca.
- -Algunos autos, al no encontrar espacio para sobrepasar al camión, se colocan a muy poco espacio de él, siendo esto peligroso para los operarios.

- A estas consideraciones generales se agregan las observadas en el seguimiento:

A los 7 minutos 40 segundos se registra una maniobra donde el camión recorre prácticamente una cuadra marcha atrás en una calle, evitando así dar la vuelta a la manzana para recoger la basura.

A los 23 minutos 30 segundos se registra nuevamente que el camión circula marcha atrás aproximadamente 100 m. Para esta maniobra el chofer recibe indicaciones de los operarios que se encuentran a pie a ambos lados del camión.

A los 25 minutos el chofer apaga las balizas y no las vuelve a encender; no lleva encendidas las luces bajas hasta las 18.00 hs, cuando las enciende.

A los 68 minutos se observa otra maniobra de marcha atrás, de aproximadamente 100 m. Durante dicha maniobra se ve a uno de los operarios subirse a la plataforma

trasera y luego bajarse de la misma, siempre con el camión en movimiento, corriendo el riesgo de caerse y ser atropellado, dado que el chofer no tiene visión de lo que sucede detrás del vehículo.

## Conclusiones

Es dable destacar que todos los métodos y las observaciones coinciden en resultados tendientes a señalar la necesidad de generar modificaciones en el puesto de trabajo del recolector de residuos urbanos, que resulten en una disminución de los riesgos para sus operarios.

Se detallan a continuación las sugerencias y las propuestas de diseño para efectivizar las mejoras referidas:

- Colocar una cámara en la parte trasera del camión y una pantalla en la cabina del chofer, para visualizar los que sucede detrás. Además, colocar también detrás un sensor de movimiento con señal sonora, para evitar atropellos. Pensar en sistemas similares, destinados a evitar accidentes con la compactadora.

- Instalar reflector superior y chicharra que se activen en conjunto con la luz de marcha atrás del camión cuando realiza esta maniobra.

- Diseñar un modelo uniforme de cesto de basura, que por su altura resulte cómodo para los operarios y a su vez no permita que los residuos sean alcanzados por los animales.

- Mejorar la plataforma donde se apoyan los recolectores, bajando la altura y evitando impactos de los automóviles.

- Mejorar las manijas de sostén de los recolectores.

- Establecer un sistema de encendido automático de luces de posición y bajas.

- Diseñar un sistema de corrimiento de un plástico o lona transparente que cubra la caja del camión en el momento de la compactación, para evitar que salten objetos que puedan herir al recolector.

- Instalar un sistema de intercomunicación de tipo manos libres para los recolectores y el chofer.

- Instalar un sistema de monitoreo cardíaco para los recolectores, visible en el camión y con registro o memoria

- Proveer a cada recolector de una cantimplora con bebida para deportistas, provista de sales y vitaminas del tipo "Gatorade".

- Instalar reflectores laterales sobre la caja del camión, para iluminar a los recolectores, las aceras y los residuos.

- Instalar luces autónomas en la vestimenta de los recolectores para que puedan ser vistos en la noche.

## Agradecimientos

Los autores desean agradecer al Sr. Decano de la Facultad Regional Avellaneda, Jorge Del Gener, por la gestión general de este seguimiento y el apoyo al proyecto, y al ex Secretario Académico, Jorge Calzoni, por la gestión frente al Municipio de Avellaneda. Al Sr. Intendente de la Municipalidad de Avellaneda, Jorge Ferraressi, por su contribución

para la realización del trabajo. A Mariano Santillán, por la gestión frente a la empresa PROACTIVA SA. A. Guido Camilli, por la coordinación para la utilización del vehículo oficial de la Facultad Regional Avellaneda. A la Empresa PROACTIVA SA y a sus representantes, Julio Rivero y Gustavo Mazzo, y a los alumnos becarios investigadores de la Carrera Ingeniería Industrial de la Facultad Regional Avellaneda, Gabriela Robustelli y Alejandro Rukavina, por su colaboración.

## Referencias

- Borg, G. (1985). *An Introduction to Borg's RPE-Scale*. Movement Publications, Ithaca, NY.
- Corlett, E. N., y Bishop, R. P. (1976). A technique for assessing postural discomfort. *Ergonomics* 19 (2), 175-182.
- Hignett, S., y Mcatamney, L. (2000), REBA: Rapid Entire Body Assessment. *Applied Ergonomics*, 31, pp.201-205.
- Karhu, O., Kansil, P., y Kuorinka, L. (1994). Correcting working postures in industry: A practical method for analysis. *Applied Ergonomics*, 8, 199-201.
- Mcatamney, L., y Corlett, E. N. (1993). RULA: A survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. *Applied Ergonomics*, 24, 91-99.
- Universidad Politécnica de Valencia (2006). EPR (Evaluación Postural Rápida).  
*ergonautas.com*, disponible en <http://www.ergonautas.upv.es/metodos/epr/epr-ayuda.php>  
(Fecha de acceso: 2 de julio de 2010).
- Waters, T. R., Putz-Anderson, V., Garg, A., y Fine, L. J. (1993). Revised NIOSH equation for the design and evaluation of manual lifting tasks. *Ergonomics*, 36 (7).

Nota técnica

## **ARMADURA MÍNIMA DE TRACCIÓN EN SECCIONES DE HORMIGÓN ARMADO SOLICITADAS A FLEXIÓN<sup>1</sup>**

**Eduardo Velenik Velleni**

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Avellaneda, Escuela de Educación de Posgrado. Avenida Mitre 750, (1870) Avellaneda, Provincia de Buenos Aires, Argentina.

Correo electrónico: [evelleni@yahoo.com.ar](mailto:evelleni@yahoo.com.ar)

Recibido el 25 de junio de 2010; aceptado el 21 de julio de 2010

### **Resumen**

El presente trabajo tiene por finalidad evaluar la importancia del criterio de armadura mínima a flexión, planteando además ecuaciones que contrastan los valores que figuran en las normativas. Su importancia radica, en especial en la actualidad, en que se están empleando con mayor frecuencia hormigones de resistencia superiores a los usados hasta hace unas décadas. Esta última circunstancia hace que la energía almacenada en la sección sometida a flexión antes de su fisuración sea mayor y, además, se tenga una mejor adherencia de las barras de acero al hormigón, lo que impide su deslizamiento, originando la estricción de las mismas al momento de la aparición de la primera fisura en la sección de hormigón armado. Se evaluarán diferentes disposiciones reglamentarias planteadas en el Código Modelo CEB-FIP, PRAEH 64, CIRSOC 201-82, PRAEH 201-05, ACI-318 y NBR 6118, contrastándolas con ensayos de especímenes realizados en el laboratorio.

**Palabras clave:** armadura mínima, disposiciones reglamentarias, tipo de acero

### **Abstract**

The objective of the present work is to evaluate the importance of the criterion of bending minimum frame, proposing equations that contrast the values listed in the regulations. Its importance lies, specially at the present time, on the increasingly use of concrete having resistance higher than those used some decades ago. This fact implies a higher energy stored in the section subjected to bending before its fracture. In addition, the adherence of the steel bars to the concrete is better, preventing its sliding and generating their stricture when the first fissure appears in the section of reinforced concrete. Different regulations outlined in the Model Codex CEB-FIP, PRAEH 64, CIRSOC 201-82, PRAEH 201-05, ACI-318 and NBR 6118, were evaluated and compared with experiments of specimens performed at the laboratory.

---

<sup>1</sup> Trabajo final integrador presentado para la obtención del título de Especialista en Ingeniería Estructural (Facultades Regionales Avellaneda, Buenos Aires y General Pacheco, Universidad Tecnológica Nacional).

**Key-words:** Minimum frame, regulations, types of steel

## Introducción

### Generalidades

Antiguamente, las cuantías mínimas de armadura no se tenían en cuenta, o se asumían con otros valores, en especial debido al empleo de armaduras y mallas lisas de acero tipo I para hormigón.

Ante el empleo predominante de los aceros nervurados con muy buenas condiciones de adherencia, aunque no lo exijan las normas, no se debería prescindir de los límites inferiores teniendo en cuenta las posibles solicitaciones inducidas.

Las fórmulas de cálculo deben plantearse para que la rotura de la sección se produzca siempre después de que la tensión en la armadura haya llegado a la resistencia a tracción,  $\beta_z$  o  $f_u$ , condición que se cumple dentro de cierto entorno para la cuantía mínima,  $\mu_{\min}$  o  $\rho_{\min}$ , con la cual determinaremos la mínima armadura admisible para considerar que la sección es de hormigón armado y no de hormigón simple.

Al analizar los tipos de rotura se visualiza en la Figura 1 (Leonhardt, 1993, Tomo IV; p. 9) que, para armaduras muy débiles, existe el peligro de una rotura brusca al pasar del Estado I al Estado II debido a que el esfuerzo de tracción liberado en el seno de la sección de hormigón resulta mayor que el que es capaz de absorber la armadura dispuesta, o también, cuando el momento que podría ser absorbido en el Estado II o Estado III resulta ser menor que el correspondiente al Estado I.

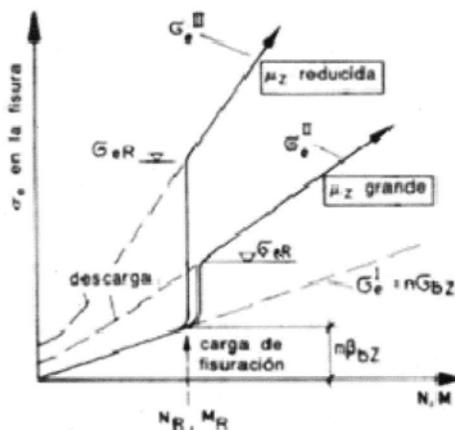


Figura 1. Tensiones en el acero en correspondencia con una fisura en un elemento de hormigón armado

En caso de poder garantizar la resistencia a tracción por flexión del hormigón,  $\beta_{Bz}$  o  $f_r$ , la seguridad para el Estado I resultaría mayor que para el Estado II, por lo que estaríamos en presencia de secciones de Hormigón Simple con un coeficiente de seguridad,  $\nu = 2.5$ , distinto del usado en Hormigón Armado,  $\nu = 1.75$ , (factor de reducción

de resistencia  $\phi = 0.55$  en vez de 0.90) (Proyecto de Reglamento CIRSOC 201-05, Cap.9, art.9.3.2.1. y art.9.3.5).

Sin embargo, no se debe dejar de tener en cuenta la posible existencia de tensiones propias e inducidas debidas a temperatura, descenso de apoyos, retracción, restricción de vínculos, etc. dado que las mismas pueden agotar fácilmente la resistencia a tracción por flexión del hormigón,  $\beta_{BZ}$  o  $f_r$ , provocando su colapso. Por lo cual, aun para la carga de servicio, pueden aparecer fisuras que originan la rotura brusca de la sección; si bien es sabido que la primera fisura que se presente puede hacer desaparecer las tensiones propias, ello resulta incierto por lo que se recomienda disponer una armadura mínima.

La seguridad contra una rotura brusca sólo se alcanza cuando se cumple,

$$M_U^{III} > M_U^I$$

siendo

$M_U^I$  = momento resistente último de la sección en Estado I

$M_U^{III}$  = momento resistente último de la sección en Estado III

De esta condición surge la necesidad de una armadura mínima a flexión, que dependerá del tipo de acero y hormigón que conforman la sección y que analizaremos a continuación para una sección rectangular con armadura simple.

## Estado del conocimiento

### Diferentes criterios de definición de la cuantía mínima a flexión.

Leonhardt (1993) al analizar especímenes de sección rectangular de dimensiones b,d, establece que el esfuerzo de tracción  $Z^I$  que actúa en la armadura longitudinal poco antes de la fisuración es:

$$Z^I := Z_b + Z_e = 0.50 \cdot F_{bZ} \cdot \beta_{BZ} + A_s \cdot \frac{E_e}{E_b} \cdot \sigma_b$$

siendo

b = ancho de la sección

d = altura total de la sección

$Z_b$  = esfuerzo de tracción aportado por el hormigón

$Z_e$  = esfuerzo de tracción aportado por el acero

$F_{bZ}$  = sección de la zona traccionada del hormigón

$A_s$  = sección de la armadura longitudinal

$E_e$  = modulo de elasticidad del acero

$E_b$  = modulo de elasticidad del hormigón

$\sigma_b$  = tensión en la zona traccionada del hormigón

Se desprecia  $Z_e$ , por ser reducido en comparación con el esfuerzo simultáneo de tracción en el hormigón  $Z_b$ .

En consecuencia, resulta aproximadamente,

$$Z^I \approx 0.50 \cdot F_{bZ} \cdot \beta_{BZ}$$

La sección  $F_{bZ}$  corresponde a la zona traccionada del hormigón, que en este caso se supone aproximadamente igual a

$$F_{bZ} \approx b \cdot \frac{d}{2}$$

Para el Estado I, suponiendo la hipótesis de sección homogénea, es válida la expresión,

$$M_U^I := W_U \cdot \beta_{BZ} = Z^I \cdot z^I \approx Z_b \cdot \frac{2}{3} \cdot d$$

siendo

$z^I$  = brazo elástico en Estado I

y, en consecuencia,

$$M_U^I \approx \frac{b \cdot d^2}{6} \beta_{BZ}$$

Si se refiere el valor medio  $\beta_{BZ}$  al valor característico de la resistencia cubica a compresión  $\beta_{wN}$ , mediante la relación siguiente,

$$\beta_{BZ} \approx \frac{\beta_{wN}}{10}$$

resulta que

$$M_U^I \approx \frac{b \cdot d^2}{60} \beta_{wN}$$

Para el Estado II, la armadura  $A_s$  puede absorber un esfuerzo de tracción  $Z^{II} = A_s \cdot \beta_z$ , con un brazo elástico estimado en  $z^{II} = 0,95 \cdot h$ , resultando un momento

$$M_U^{II} := Z^{II} \cdot z^{II} \approx A_s \cdot \beta_z \cdot 0,95 \cdot h$$

Siendo la condición establecida para la armadura mínima

$$M_U^{II} \geq M_U^I$$

reemplazando  $M_U^{II}$  y  $M_U^I$  por los valores anteriormente mencionados y adoptando  $h = 0,9 \cdot d$  se tiene:

$$A_s \cdot \beta_z \cdot 0,95 \cdot h \geq 0,0217 \cdot b \cdot h^2 \cdot \beta_{wN}$$

De la misma resulta la cuantía  $\mu_{min}$ , que por lo menos debe preverse para evitar una rotura brusca

$$\mu_{min} := \frac{A_s}{b \cdot h} \geq 0,0217 \cdot \frac{\beta_{wN}}{\beta_z}$$

$$\mu_{min} := 0,0255 \cdot \frac{\beta_{cN}}{\beta_z}$$

En caso de especificar el hormigón con un cuantil del 10%,

$$\rho_{min} := \frac{A_s}{b \cdot d} \geq 0,0255 \cdot \frac{(f'_c + 1)}{f_u}$$

$f'_c$  y  $f_u$  en MPa

Como valores promedio, y teniendo en cuenta resultados experimentales de los que se obtuvieron cuantías críticas reducidas, se recomiendan los valores de  $\mu_{min}$  para secciones rectangulares, que figuran en la Tabla 1.

Recomendándose además tener presente que calidades de hormigones superiores a H-30, en la práctica, se comenzarán a sobrepasar a menudo. Estas cuantías mínimas se encuentran en muchas especificaciones extranjeras para hormigón armado pero para calidades que no superan el H-30.

Para secciones que no son rectangulares,  $\mu_{\min}$  debe referirse a la zona traccionada del hormigón  $F_{bZ}$  correspondiente al Estado I, siendo

$$\mu_z \cdot \min := \frac{A_s}{F_{bZ}} \approx 1.8 \cdot \mu_{\min}$$

Es decir que para cuantías mínimas de armadura  $\mu_{z\min}$  referidas a las zonas de tracción por flexión  $F_{bZ}$ , corresponden los valores de la Tabla 1 mayorados en un 80%.

**Tabla 1. Cuantías mínimas de armadura  $\mu_{\min}$  para secciones rectangulares solicitadas por flexión, para distintas calidades de hormigón y acero.**

Calidad del hormigón	$\mu_{\min} := \frac{A_s}{b \cdot h}$	
	para B ST I	para B ST III; IV
$B_n \leq 25$	0.15%	0.10%
$B_n \leq 45$	0.20%	0.14%
$B_n \leq 55$	0.25%	0.18%

Ensayos realizados en Stuttgart confirmaron que para armaduras inferiores a  $\mu_{\min}$  o  $\mu_{z \min}$ , la carga, y en consecuencia el momento flexor, podían aumentarse de 1,5 a 2,0 veces los valores críticos, sin que se observaran manifestaciones ostensibles.

Luego se producía una rotura brusca, es decir que la primera fisura significaba la rotura simultánea de la armadura de tracción.

Este colapso brusco fue tanto más notable, cuanto mejor era la adherencia de la armadura.

Moretto (1979), para determinar la mínima cantidad de armadura admisible parte de la fórmula que da el momento relativo de rotura, de esta manera,

$$\frac{M_U}{b \cdot h^2 \cdot \beta_R} := \omega_o \cdot \left( 1 - \frac{\omega_o}{2} \right)$$

siendo

$M_U$ : momento flector último

$b$ : ancho de la sección analizada

$h$ : altura de la sección analizada

$\beta_R$ : resistencia de cálculo del hormigón a compresión

$\omega_o$ : cuantía mecánica

$\beta_{cN}$ : resistencia cilíndrica característica del hormigón

Obsérvese que si  $\mu_{\min}$  o  $\rho_{\min}$  son pequeños, también lo será  $\omega_o$ , dado que

$$\omega_o := \mu_{\min} \cdot \frac{\beta_s}{\beta_R}$$

Por lo tanto, es posible adoptar como aproximación,

$$\frac{M_U}{b \cdot h^2 \cdot \beta_R} := \omega_0$$

Se debe colocar una mínima cantidad de armadura que proporcione una sección de hormigón armado tan resistente, por lo menos, como la misma sección sin armadura, es decir, de hormigón simple.

Analizando vigas armadas sometidas a flexión se observa que en la zona traccionada, antes de fisurarse el hormigón, la deformación llega a valores que superan el doble de los verificados en probeta larga, hecho que fue originariamente atribuido por Considère exclusivamente a la presencia del acero, el que contribuye a aumentar la deformabilidad del hormigón.

Este concepto no es estrictamente correcto pues, sometiendo una viga sin armadura a un ensayo de flexión simple, se comprueba que también para el hormigón simple las deformaciones son mucho mayores que en la probeta sometida a tracción. Ocurre en tracción por flexión un fenómeno similar al de las tensiones de compresión, lo que autoriza a suponer que la causa es la misma en ambos casos. Aquí también el gradiente en las tensiones de tracción permite que las fibras sometidas a esfuerzos superiores a su capacidad de resistencia sean sostenidas o ayudadas por aquellas inmediatas que no han alcanzado aún esa tensión de rotura, como si se verificase una transmisión de los esfuerzos de las fibras más solicitadas hacia las que lo están menos, tal que permite que el conjunto resista sin romperse, hasta que un volumen grande de material es sometido a la tensión máxima. Recién entonces el hormigón se rompe, en forma repentina, como material frágil.

Por ello, la mayor deformabilidad del hormigón traccionado por flexión tiene dos causas:

- 1- efecto de la armadura
- 2- efecto del gradiente de tensiones

La deformación del hormigón solicitado a tracción por flexión es, en consecuencia, mayor que a tracción simple, pero aun así no alcanza a tener la deformabilidad del acero dulce cuando éste trabaja al máximo de su tensión de servicio, como ocurre corrientemente en las estructuras, y menos aún de los aceros de alta resistencia. El hormigón carece de la ductilidad necesaria como para acompañar al acero a lo largo de su estiramiento y se fisura inevitablemente. Por ello, siempre aparecen fisuras en la zona de tracción y no hay forma de impedir su presencia, aunque sí se puede lograr, por medio de barras especiales, (por ej. nervuradas), que tengan una abertura reducida a límites tales que la armadura no se vea afectada por el peligro de oxidación, aun para tensiones de trabajo mucho mayores que las que la experiencia ha sancionado para armaduras lisas.

La resistencia del hormigón a tracción por flexión es aproximadamente igual al doble de la resistencia obtenida en ensayos de tracción pura. Si es calculada considerando la distribución real de tensiones, alcanza aproximadamente a la mitad de la que resulta suponiendo válida la fórmula de Navier. En efecto, por similitud con el caso de compresión, cuando se llega a la rotura de la parte inferior de la viga, las tensiones se distribuyen según un diagrama de tracción como el indicado en la Figura 2c, la tensión máxima no está en el borde sino en un punto intermedio y vale aproximadamente 1/10 de la tensión de rotura de compresión  $\beta_{cN}$ .

La zona comprimida, por su parte, está solicitada por tensiones muy inferiores a las de rotura, siendo aceptable suponer que la distribución de las mismas es aún lineal.

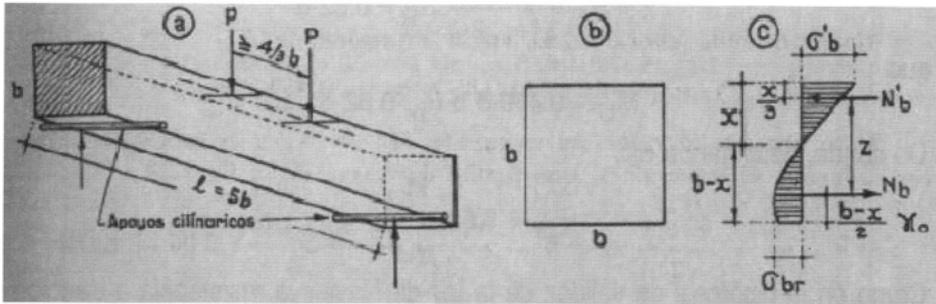


Figura 2. Comportamiento del hormigón a tracción por flexión

Si se designa con  $M_U$  al momento que produce la rotura por tracción de la viga, éste es equilibrado por una cupla formada por las fuerzas  $N'_b$ , resultante de compresión, y  $N_b$ , resultante de tracción, separadas por el brazo de palanca  $z$  (Figura 2c),

$$M_U = N'_b \cdot z = N_b \cdot z$$

Suponiendo que la sección recta de la viga es rectangular de ancho  $b$  y altura  $d$ :

$$N'_b := \frac{x \cdot b}{2} \cdot \sigma'_b$$

$$N_b := (d - x) \cdot b \cdot \alpha_R \cdot \sigma_{br}$$

donde  $\alpha_R$  es un factor que contempla la forma no rectangular del diagrama de tensiones de tracción.

Dado que  $N'_b = N_b$  tenemos:

$$\frac{x \cdot b}{2} \cdot \sigma'_b := (d - x) \cdot b \cdot \alpha_R \cdot \sigma_{br}$$

De donde, despejando  $x$ ,

$$x := \frac{2 \cdot b \cdot \alpha_R \cdot \sigma_{br}}{\sigma'_b + 2 \cdot \alpha_R \cdot \sigma_{br}}$$

El ensayo demuestra que, cuando en la zona de tracción se llega a la rotura del material, la tensión máxima de compresión  $\sigma'_b$  vale aproximadamente el doble de  $\sigma_{br}$ .

Por lo tanto,

$$\sigma'_b \sim 2 \cdot \sigma_{br}$$

De modo que, sustituyendo en la expresión de  $x$ , y simplificando,

$$x := \frac{d \cdot \alpha_R}{1 + \alpha_R}$$

Para definir el valor de  $x$  es necesario dar valores, a  $\alpha_R$ . Experimentalmente se comprueba que  $\alpha_R \sim 0,85$ . Por lo tanto,

$$x := \frac{0,85 \cdot d}{1 + 0,85} = 0,46 \cdot d$$

Reemplazando ahora  $x$  y  $\alpha_R$  en la expresión de  $N_b$ ,

$$N_b := (d - 0,46 \cdot d) \cdot b \cdot 0,85 \cdot \sigma_{br} = 0,459 \cdot d \cdot b \cdot \sigma_{br}$$

Para obtener el valor del momento  $M_U = N_b \cdot z$  es necesario conocer, además, el valor de  $z$ , que puede derivarse de la Figura 2c,

$$z := d - \frac{x}{3} - \frac{d-x}{2} \cdot \alpha_R = 0.62 \cdot d$$

por lo que

$$M_U := 0.459 \cdot d \cdot b \cdot \sigma_{br} \cdot 0.62 \cdot d$$

De donde, despejando  $\sigma_{br}$ ,

$$\sigma_{br} \approx 3.51 \cdot \frac{M_U}{b \cdot d^2}$$

Como en la hipótesis de validez de la ley de Navier la resistencia a tracción sería igual a,

$$\sigma_{br(N)} := 6 \cdot \frac{M_U}{b \cdot d^2}$$

resulta que,

$$\frac{\sigma_{br}}{\sigma_{br(N)}} := \frac{3.51 \cdot \frac{M_U}{b \cdot d^2}}{6 \cdot \frac{M_U}{b \cdot d^2}}$$

es decir,

$$\sigma_{br} := 0.585 \cdot \sigma_{br(N)}$$

por lo que

$$\sigma_{br.flex.} := 1.71 \cdot \sigma_{br} \approx 2 \cdot \sigma_{br}$$

De este análisis se infiere que la resistencia del hormigón a la flexión, suponiendo una distribución lineal de tensiones, puede suponerse aproximadamente igual a 1/5 de su resistencia a la compresión simple, y el momento de rotura de la viga sin armar puede expresarse por la formula:

$$M_U := \frac{b \cdot d^2}{3.6} \cdot \beta_{bz} = \frac{b \cdot d^2}{3.6} \cdot \frac{\beta_{cN}}{10}$$

Sustituyendo,

$$d \sim 1,1 \cdot h$$

resulta,

$$M_U := b \cdot h^2 \cdot \beta_{cN} \cdot \frac{1.1^2}{36}$$

Reemplazando  $\beta_{cN}$  por  $\beta_R/0.85$ , se obtiene,

$$\frac{M_U}{b \cdot h^2 \cdot \beta_R} \approx 0.04$$

Estableciendo que la cuantía mecánica  $\omega_0 = 0,04$ , es la limitación que fija la armadura mínima.

Si se toman, para dar idea, los valores,

$$\beta_S = 420 \text{ MPa y } \beta_R = 17,5 \text{ MPa}$$

resulta

$$\mu := \frac{0.04 \cdot 17.5}{420} \quad \mu = 0.0017$$

es decir, aproximadamente 0,17 %.

Saliger (1948) comenta que la capacidad resistente de las estructuras sometidas a flexión y por tanto comprimidas en una zona y traccionada en otra de la misma sección, está limitada naturalmente por las resistencias parciales de cada una de estas zonas.

La resistencia de la zona de tracción se debe principalmente a las armaduras, puesto que con sobrecargas relativamente moderadas se producen fisuras y la zona de hormigón sometida a tracción queda inutilizada para transmitir y absorber los esfuerzos. Por lo tanto, los cálculos que siguen se harán tomando como base los Estados II y III.

Se ha de considerar siempre la altura útil,  $h$ ; por esto la cuantía se referirá a dicha altura,

$$\mu := \frac{A_s}{b \cdot h}$$

La resistencia de la armadura depende de la sección, de las propiedades elásticas del acero y de la disposición de las barras. La resistencia de la zona de compresión depende esencialmente de la del hormigón y, por lo tanto, de la sección y de la calidad del mismo.

Se define la cuantía mínima como aquella que es capaz de absorber la resistencia que corresponde a la formación de la primera fisura. Para este caso límite, la resistencia de la armadura debe ser igual a la resistencia de tracción por flexión de la zona de hormigón traccionada, por lo que el momento resistente del hormigón es,

$$M_U := \frac{b \cdot d^2}{6} \cdot \beta_{BZ}$$

y el momento resistente del acero,

$$M_U := A_s \cdot z \cdot \beta_s$$

siendo  $z$  la distancia entre el centro de gravedad de las resultantes de las tensiones de tracción y compresión (brazo de palanca).

Suponiendo  $z = 0,92 \cdot h$  y  $h = 0,92 \cdot d$  se tiene

$$\mu := \frac{A_s}{b \cdot h} = \frac{1}{6 \cdot 0,92^3} \cdot \frac{\beta_{BZ}}{\beta_s} = 0,214 \cdot \frac{\beta_{BZ}}{\beta_s}$$

$$\mu := 0,214 \cdot \frac{\beta_{BZ}}{\beta_s}$$

Jiménez Montoya et al. (1979) sostienen que, para evitar la rotura frágil en vigas, la armadura debe ser capaz de absorber un esfuerzo no menor que el de tracción desarrollado por el hormigón en el momento en que se produce la fisuración. El valor aproximado de este esfuerzo es

$$U_c := 0,04 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d$$

Por tanto, debe ser,

$$U_s := A_s \cdot f_{yd} \geq 0,04 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d$$

en donde

$U_c$ : capacidad mecánica del hormigón

$U_s$ : capacidad mecánica del acero

$A_s$ : sección de la armadura longitudinal

b: ancho de la sección

d: altura útil de la sección

$f_{yd}$ : resistencia de cálculo de un acero ( $f_y/1.15$ )

$f_{cd}$ : resistencia de cálculo del hormigón a compresión ( $f_c/1.40$ )

Como puede comprobarse fácilmente, este valor corresponde a una cuantía geométrica menor que las especificadas en la Tabla 2, que son las operantes en este caso.

No obstante, en los casos de vigas de canto muy superior al necesario por resistencia, en las que la armadura  $A_{cal}$  requerida por el cálculo sea muy pequeña, pueden adaptarse valores inferiores a los especificados para la cuantía mínima. Algunas normas permiten adoptar, si es que resulta más favorable, el valor

$$A_s \geq 1.33 \cdot A_{cal}$$

**Tabla 2. Cuantías geométricas mínimas referidas a la sección total de hormigón**

Elemento estructural	AE-22	AE-42	AE-50	AE-60
<b>Soportes</b>				
Armadura total.....	0.008	0.006	0.005	0.004
Con dos armaduras a1 y a2.cada una...	0.004	0.003	0.0025	0.002
<b>Vigas</b>				
Armadura en tracción.....	0.005	0.0033	0.0028	0.0023
<b>Losas</b>				
En cada dirección.....	0.002	0.0018	0.0015	0.0014
<b>Muros</b>				
Armadura horizontal total.....	0.0025	0.002	0.016	0.0014
Armadura horizontal en una cara.....	0.0008	0.0007	0.0006	0.0005
Armadura vertical total.....	0.0015	0.0012	0.0009	0.0008
Armadura vertical en una cara.....	0.0005	0.0004	0.0003	0.0003

El Código Modelo CEB-FIP (Comité Euro-Internacional du Béton-Federación Internacional del Pretensado), (Moretto,1979; p123) establece en sus recomendaciones que "la armadura de tracción no podrá en ningún caso ser inferior de la necesaria para asegurar, después de la fisuración, un momento resistente igual al del hormigón sin armar", remitiéndose para ello al cálculo respectivo.

A su vez, con el objeto de prevenir la fisuración por efecto de la retracción y el gradiente de temperatura, limita la armadura de tracción en vigas y losas a los siguientes valores, 0,25 % para barras lisas y de 0,15 % para barras corrugadas (Jiménez Montoya et al.,1979, p.231).

La norma NBR 6118 (Norma Brasileira Registrada), de base CEB, indica que el porcentaje mínimo de armadura deberá garantizar un momento de rotura igual al de la sección sin armadura, pudiéndose adoptar para vigas rectangulares los siguientes valores:  $\rho = 0,25$  % para acero común CA-25 o CA-32 y  $\mu = 0,15$  % para acero CA-40, CA- 50 o CA-60. Estos mínimos son también aplicables a vigas T si para calcular  $\rho$  se considera el ancho b del nervio.

El Proyecto de Reglamento Argentino de 1964, PRAEH 64 (Proyecto de Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón 1964), establece que

$$\mu_{\min} := 0.05 \cdot \frac{\beta_{cN}}{\beta_s}$$

Especifica, además, que en ningún caso,  $\mu$  o  $\rho$ , pueden ser menores que 0,25 % para acero común y 0,15 % para acero de alta resistencia.

El reglamento CIRSOC 201-82 (Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles 1982), basado en la DIN 1045, recomienda, en el anexo al cap.17, que

$$\mu_{\min} := 0.05 \cdot \frac{\beta_R}{\beta_s} \quad \text{para acero tipo I}$$

$$\mu_{\min} := 0.03 \cdot \frac{\beta_R}{\beta_s} \quad \text{para acero tipo III}$$

El proyecto de reglamento PRAEH 201-05 (Proyecto de Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón 2005), basado en el ACI 318, recomienda en el art.10.5.1, que

$$\rho_{\min} := 0.25 \cdot \frac{\sqrt{f'_c}}{f_y} \geq \frac{1.4}{f_y} \quad f'_c, f_y \text{ en MPa}$$

En tanto, en el art.10.5.2, especifica que, para elementos estáticamente determinados con el ala traccionada, el área  $A_{s,\min}$  debe ser igual o mayor que el valor obtenido de la expresión anterior, reemplazando  $b_w$  por  $2 b_w$ , o por el ancho del ala, siendo  $b_w$  = ancho del alma de un elemento con alas o diámetro de una sección circular  
 $d$  = distancia desde la fibra comprimida extrema hasta el baricentro de la armadura longitudinal traccionada, no tesa, (altura útil).

Además, en el art.10.5.3., permite la no aplicación de los requisitos exigidos en los artículos 10.5.1. y 10.5.2., si en cada sección, el área  $A_s$  de la armadura de tracción adoptada excede al menos en un tercio (1/3) a la armadura determinada por cálculo.

En lo referente a losas estructurales y fundaciones de espesor constante, los art.10.5.4 y 7.12.1 especifican que, donde la armadura de flexión esté dispuesta en una sola dirección, se debe colocar además armadura en dirección perpendicular a ella para resistir los esfuerzos debidos a la contracción y a la temperatura. Estipula una cuantía mínima  $\rho_{\min}$ , respecto a la sección total:

$$\rho_{\min} := 0.0018 \cdot \frac{f_y 420}{f_y} \geq 0.0014$$

En el art.7.6.5 indica la máxima separación  $s_l$  de esta armadura que no debe exceder los siguientes valores:

$s_l \leq 2.5$  veces el espesor del tabique o de la losa

$s_l \leq 25$  diámetros de la barra de menor diámetro

$s_l \leq 300$  mm.

Se analizará la evolución del código ACI 318 (Building Code Requirements for Reinforced Concrete- American Concrete Institute), debido a que este Código "sirvió de base" para la nueva versión de nuestro Proyecto de Reglamento PRAEH 201-05. El Reglamento ACI 318 establece en el art.10.5.1 un refuerzo mínimo  $\rho_{\min}$ , deducido para hormigones de aproximadamente 65 MPa de resistencia a compresión, necesario para asegurar que el miembro no pierda algo de resistencia cuando se forma la primera fisura, cuyo valor es el siguiente:

$$\rho_{\min} := \frac{200}{f_y} \quad f_y \text{ en Lb/plg}^2$$

$$\rho_{\min} := \frac{1.4}{f_y} \quad f_y \text{ en MPa}$$

Su aplicación en países donde el acero es muy caro, en relación con el hormigón, puede implicar una exigencia excesiva, dado que sobrestima los casos de hormigones de menor resistencia, y subestima los de mayor. El requisito de refuerzo mínimo no se aplica si la sección de acero  $A_s$  usado es  $4/3$  del requerido por análisis, porque esto implica una baja probabilidad de que la carga de fisuración se llegue a alcanzar alguna vez; en otras palabras, existe una seguridad adecuada.

En tanto, las losas de espesor uniforme están exentas de verificación, pero Ferguson (1983, p.91) cuestiona esta excepción, en especial en aquellos lugares en que los esfuerzos cortantes están próximos a los valores límites ¡Un  $\rho_{\min}$  pequeño y un esfuerzo cortante máximo hacen una mala combinación!.

No obstante, esta especificación establece que en losas de espesor uniforme armadas en una sola dirección se debe disponer una armadura mínima por consideraciones de contracción y temperatura, dada por

$$\rho_{\min} := 0.0018 \cdot \frac{f_y 420}{f_y} \geq 0.0014 \quad f_y \text{ en MPa}$$

referida a la sección total de hormigón, con una separación máxima entre varillas de 5 veces el espesor de la losa pero no mayor de 45 cm.

Esto significa un  $\rho_{\min}$  de 0.5% para el acero de Grado 40 (280 MPa) y 0.33% para varillas de Grado 60 (420 MPa).

Para unidades del SI sería  $\rho_{\min} = 1.38/f_y$ , ( $\approx 1.40/f_y$ ) con  $f_y$  en MPa, dando por resultado 0.46% para Grado 300 y 0.34% para Grado 400. Para viguetas o vigas T con alma en tensión,  $\rho_{\min}$  está basada en el ancho del alma más bien que en el ancho del patín.

## Propuesta de un nuevo criterio para la determinación de la cuantía mínima a flexión

### Desarrollo

Partiendo de tomar como referencia el valor de resistencia de una sección de hormigón simple (Sangriboli et al., 1995 y 1996) se inferirá luego si el valor de la cuantía mínima,  $\rho_{\min}$ , es aceptable.

Se analizó un espécimen de sección rectangular de dimensiones  $b \times d$ , estableciendo su momento resistente en Estado I,

$$M_U^I \approx \frac{b \cdot d^2}{6} \cdot f_r$$

De acuerdo con una especificación del CEB-FIP de 1977 (Leonhardt, 1993, p.12) la resistencia a la flexión,  $f_r$ , varía en función de la altura de la sección,  $h$ , por lo que

$$f_r(h) := f_{ct} \cdot \left( 0.60 + \frac{0.40}{\sqrt[4]{h}} \right) \quad h \leq 1 \text{ en metros}$$

$$f_r := f_{ct} \quad h \geq 1 \text{ en metros}$$

Según los ensayos realizados se obtuvo que la resistencia a la tracción por compresión diametral es

$$f_{ct} := 0.313 \cdot f'_{cm} \frac{2}{3} \quad \text{en MPa}$$

Reemplazando y reordenando se tiene que

$$M_U^I(h) \approx \frac{b \cdot h^2}{19.17} \cdot \left( 0.60 + \frac{0.40}{\sqrt[4]{h}} \right) \cdot f'_{cm} \frac{2}{3} \quad h \leq 1 \text{ en metros}$$

Y el momento último de la armadura de acero es

$$M_U^{III} := A_s \cdot z \cdot f_u$$

siendo, z, la distancia entre el centro de gravedad de las resultantes de las tensiones de tracción y compresión (brazo de palanca interno).

Para los casos en que  $h > 1$  mt., se debe ingresar en la fórmula de  $M_U^I$ ,  $h = 1$  mt.

Suponiendo,

$$z \cong d$$

$$d = 0.9 \cdot h$$

se obtiene la expresión para la cuantía  $\rho_{min}$ ,

$$\rho_{min} := \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{1}{6 \cdot 0.9^2} \cdot \frac{f_r}{f_u} = \left( \frac{1}{26} + \frac{1}{39 \cdot \sqrt[4]{h}} \right) \cdot \frac{f'_{cm} \frac{2}{3}}{f_u}$$

### Coefficiente de corrección $C_{\Delta d}$ por diferencia de altura respecto a la supuesta

Dado que para definir  $\rho_{min}$  se estimó una relación  $d/h=0.9$ , para relaciones distintas surgirá una variación, que se eliminará con el siguiente coeficiente de corrección,

$$C_{\Delta d} := \frac{0.81}{\left( \frac{d}{h} \right)^2}$$

Denominando a la relación altura/altura total como  $d_1$  se tiene,

$$d_1 := \frac{d}{h}$$

La variación del coeficiente de corrección se indica en la Figura 3.

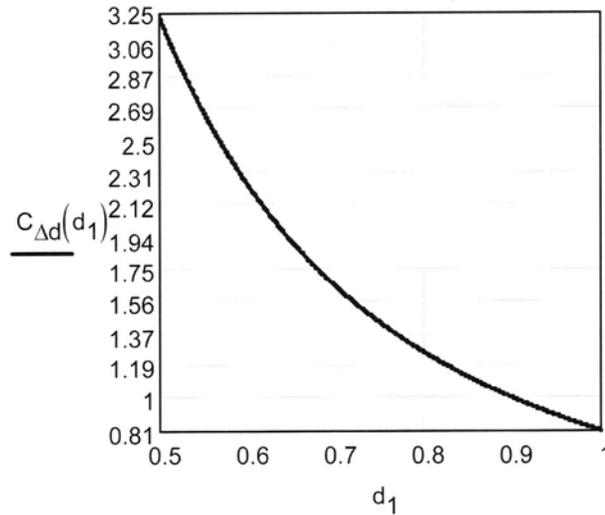


Figura 3. Coeficiente de corrección  $C_{\Delta d}$  en función de  $d_1$

### Cuantía mínima en función de la altura de la sección.

Reemplazando el valor de  $C_{\Delta d}$  en la expresión obtenida anteriormente se define la expresión propuesta para la cuantía mínima:

$$\rho_{\min}(h) := C_{\Delta d} \cdot \left( \frac{1}{26} + \frac{1}{39 \cdot \sqrt[4]{h}} \right) \cdot \frac{f'_{cm}{}^{\frac{2}{3}}}{f_u} \quad h \leq 1 \text{ en metros}$$

$f'_{cm}, f_u$  en MPa

### Resumen de propuestas

#### Resumen

A continuación se agrupan las distintas expresiones de  $\rho_{\min}$  expuestas anteriormente,

$$\rho_{\min 1} := 0.0255 \cdot \frac{\beta_{cN}}{\beta_Z} \quad \text{s/Leonhardt}$$

$$\rho_{\min 2} := 0.04 \cdot \frac{\beta_R}{\beta_s} \quad \text{s/Moretto}$$

$$\rho_{\min 3} := 0.05 \cdot \frac{\beta_{cN}}{\beta_s} \quad \text{s/PRAEH 64}$$

$$\rho_{\min 4} := 0.03 \cdot \frac{\beta_R}{\beta_s} \quad \text{s/CIRSOC 201-82}$$

$$\rho_{\min 5} := 0.25 \cdot \frac{\sqrt{f'_c}}{f_y} \geq \frac{1.4}{f_y} \quad \text{s/PRAEH 201-05}$$

$$\rho_{\min 6} := \frac{1.4}{f_y} \quad \text{s/ACI 318}$$

$$\rho_{\min 7} := 0.0018 \cdot \frac{f_{y420}}{f_y} \geq 0.0014 \quad \text{s/ACI 318 para contracción, temperatura y losas de espesor uniforme}$$

$$\rho_{\min 8} := \left( \frac{1}{26} + \frac{1}{39 \cdot \sqrt[4]{h}} \right) \cdot \frac{f'_{cm}{}^{\frac{2}{3}}}{f_u} \quad \text{Propuesta para } h = 0.07 \text{ mt.}$$

$$\rho_{\min 9} := \left( \frac{1}{26} + \frac{1}{39 \cdot \sqrt[4]{h}} \right) \cdot \frac{f'_{cm}{}^{\frac{2}{3}}}{f_u} \quad \text{Propuesta para } h \geq 1.0 \text{ mt.}$$

Características del acero adoptadas (Figura4):

$$f_y = \beta_s = 420 \text{ MPa} \quad f_u = \beta_z = 550 \text{ MPa}$$

Nota

Resultado de un ensayo a tracción  $\beta_s = 425 \text{ MPa} / \beta_z = 563 \text{ MPa}$

Valores característicos s/proveedor nacional  $\beta_s = 440 \text{ MPa} / \beta_z = 640 \text{ MPa}$

Cuantil adoptado para definir  $f_y = 5\%$

Cuantil adoptado para definir  $f'_c = 10\%$

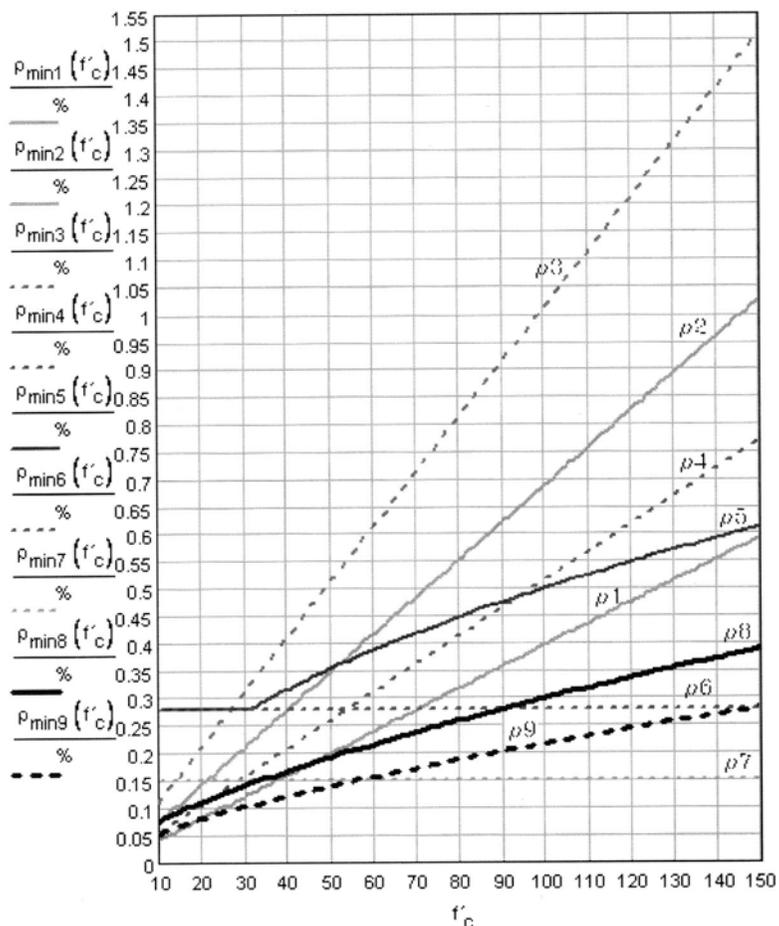


Figura 4. Cuantías mínimas según resistencia del hormigón  $\rho_{min}(f'_c)$  para acero ADN 420.

Características del acero adoptadas en Figura 5

$$f_y = \beta_s = 500 \text{ MPa} \quad f_u = \beta_z = 650 \text{ MPa}$$

Nota

Resultado de un ensayo a tracción  $\beta_s = 545 \text{ MPa} / \beta_z = 725 \text{ MPa}$

Valores característicos s/proveedor nacional  $\beta_s = 570 \text{ MPa} / \beta_z = 625 \text{ MPa}$

Cuantil adoptado para definir  $f_y = 5\%$

Cuantil adoptado para definir  $f'_c = 10\%$

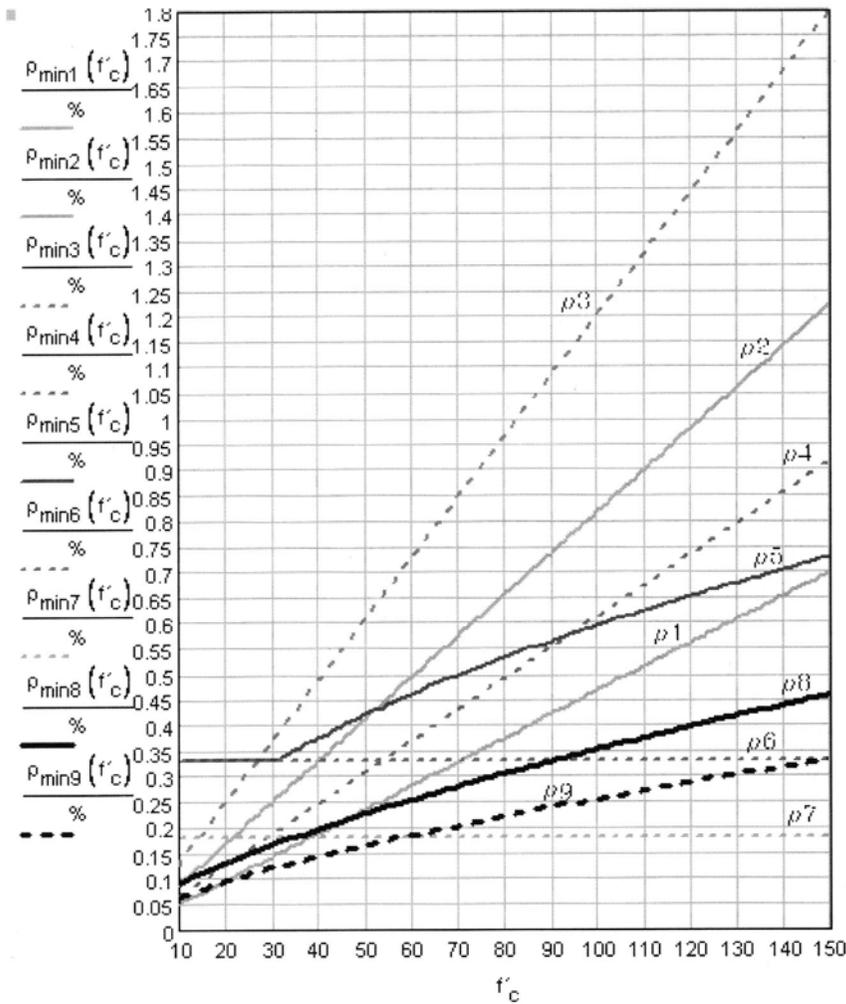


Figura 5- Cuantías mínimas según resistencia del hormigón  $\rho_{min}(f'_c)$  para acero ADM ART 500N.

## Conclusiones

Las presentes conclusiones surgen de comparar cada caso respecto a la propuesta desarrollada.

Conforme se puede observar en la Figura 4, las prescripciones dispuestas por el PRAEH 201-05 y ACI 318, expuestas en el art.10.5.1 de las citadas disposiciones reglamentarias, arrojan valores de cuantías muy elevados para todos los hormigones. En especial, el PRAEH 201-05 especifica valores muy superiores a partir de los 30 MPa .

En tanto, para losas estructurales de espesor del orden de 1 m., da valores superiores para hormigones de calidades inferiores a 60 MPa e inferiores para calidades mayores. Si las mismas son de espesores del orden de 0.07 m., arroja valores superiores para hormigones de calidades inferiores a 35 MPa e inferiores para calidades mayores.

Se disiente con lo especificado por ACI 318 y PRAEH 201-05, en lo referente a la definición de la cuantía mínima en losas estructurales, debido a que la especifican respecto a contracción y temperatura.

Cabe recordar que la **armadura por contracción y temperatura** es una armadura del “**Tipo de piel**”, cuyo fin es mantener los anchos y las distancias entre fisuras dentro de rangos aceptables y se determina sobre una sección menor, cuyo espesor varía, aproximadamente, entre  $h/4$  a  $c_c+7\phi$ , siendo  $c_c$  el recubrimiento exterior de hormigón de la barra de diámetro  $\phi$ , y no sobre la sección total de espesor “ $h$ ”, empleando además un coeficiente de seguridad reducido  $\nu = 1.20$ , mucho menor del correspondiente utilizado para determinar la capacidad portante (Leonhardt, 1993, Tomo IV, p. 17 y p. 30.).

Los valores dados por el CIRSOC 201-82 cubren en exceso todo el rango de hormigones, en especial por sobre los 21 MPa.

Es de destacar que los valores prescriptos en el art.10.5.1 del PRAEH 201-05 son superiores a los vigentes hasta valores de  $f'_c$  de aproximadamente 95 MPa; luego son menores.

En tanto para losas, son superiores a los vigentes hasta valores de  $f'_c$  de aproximadamente 30 MPa; luego son menores.

Conforme se puede apreciar, la propuesta aquí expuesta, arroja una mayor certidumbre para todas las clases de hormigones y un notable ahorro de armadura.

Como puede observarse en el espécimen 1 (Figura 6) la estimación de la resistencia a flexión por medio de la resistencia a tracción por compresión diametral arroja valores similares a los obtenidos en ensayos directos. Tan solo es un 5% menor, por lo que dicha diferencia se encuentra dentro de un rango aceptable.

A su vez, no se observan diferencias apreciables entre el valor de la resistencia a tracción por compresión diametral  $f_{ct}$  y el estimado en función de la resistencia a compresión  $f'_{cm}$ .

En el espécimen 2 (Figura 7) se observa que el momento resistente de la sección ensayada es aproximadamente un 25 % mayor que el estimado.

Dado los rangos de variabilidad presentes en la sección de armadura usada,  $\pm 8\%$ , y la mayor resistencia a tracción del acero observada en los resultados de ensayos respecto a los estimados al determinar la cuantía mínima, se concluye que dicha diferencia se encuentra dentro de un rango aceptable y que la propuesta arroja cuantías del lado de la seguridad.

## Ensayos

### Especimen 1

#### DIMENSIONES

$b = 12,00$  cm

$d = 30,00$  cm

$h = 30,00$  cm

$L$  (longitud de la viga) = 300 cm

$L$  e/apoyos = 270 cm

#### ARMADO

As1 Armadura Superior = no

As2 Armadura Inferior = no

Estribos en tercio central = no

Estribos en tercios laterales = no

$$f'_{ci} := \begin{pmatrix} 31.3 \\ 27.4 \\ 28 \\ 28.6 \end{pmatrix} \text{MPa}$$

$$f'_{cm} := \frac{\sum_{i=1}^4 f'_{ci}}{4} \quad \boxed{f'_{cm} = 28.8 \text{MPa}}$$

$$f_{cti} := \begin{pmatrix} 3.1 \\ 2.8 \end{pmatrix} \text{MPa}$$

$$f_{ct} := \frac{\sum_{i=1}^2 f_{cti}}{2} \quad \boxed{f_{ct} = 3 \text{MPa}}$$

Momento último s/ensayo

$$M_U^I := \frac{P_U \cdot L}{6} + \frac{L^2 \cdot d \cdot \gamma_H \phi}{8} \quad \boxed{M_U^I = 6.37}$$

Momento último estimado con  $f_{ct}$

$$M_U^I := \frac{b \cdot d^2}{6} \cdot \left( 0.60 + \frac{0.40}{\sqrt{d}} \right) \cdot f_{ct} \quad \boxed{M_U^I = 5.95}$$

Momento último estimado con  $f'_{cm}$

$$M_U^I := \frac{b \cdot d^2}{6} \cdot \left( 0.60 + \frac{0.40}{\sqrt{d}} \right) \cdot 0.313 \cdot f'_{cm} \quad \boxed{M_U^I = 6.04}$$

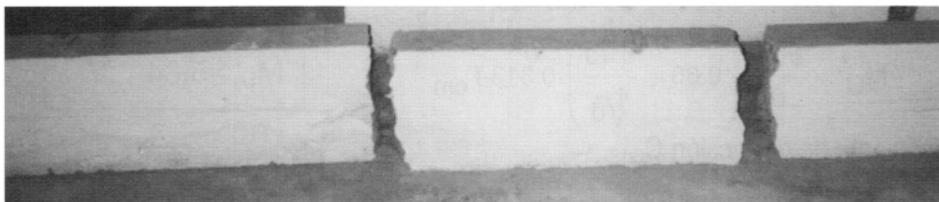


Figura 6. Especimen 1, luego del ensayo

### Comentarios

Para la determinación de la resistencia del hormigón se utilizaron probetas curadas en las mismas condiciones que el espécimen, (Sangriboli et al., 1995 y1996).

Se observa que la estimación de la resistencia a flexión por medio de la resistencia a compresión, arroja valores similares a los obtenidos por medio de la resistencia a tracción por compresión diametral.

Si bien la resistencia a flexión del espécimen ensayado es mayor a la estimada, dicha diferencia se encuentra dentro de un entorno aceptable.

## Espécimen 2

### DIMENSIONES

b = 12,00 cm  
 d = 30,00 cm  
 h = 28,00 cm  
 L (longitud de la viga) = 300 cm  
 L e/apoyos = 270 cm

### ARMADO

As1 Armadura Superior = 0,26 cm<sup>2</sup> ATR 500 N  
 As2 Armadura Inferior = 0,26 cm<sup>2</sup> ATR 500 N  
 Estribos en tercio central = 6/30 cm  
 Estribos en tercios laterales = 6/30 cm

$$f'_{ci} := \begin{pmatrix} 24.9 \\ 28.3 \\ 28.9 \end{pmatrix} \text{ MPa}$$

$$f'_{cm} := \frac{\sum_{i=1}^3 f'_{ci}}{3} \quad \boxed{f'_{cm} = 27.4 \text{ MPa}}$$

$f_u := 650 \text{ MPa}$

Momento último s/ensayo

$$M_U^I := \frac{P_U \cdot L}{6} + \frac{L^2 \cdot d \cdot b \cdot \gamma_H \rho}{8} \quad \boxed{M_U^I = 7.25}$$

Momento último estimado con fct

$$M_U^I := \frac{b \cdot d^2}{6} \cdot \left( 0.60 + \frac{0.40}{4\sqrt{d}} \right) \cdot 0.313 \cdot f'_{cm} \cdot \frac{2}{3} \quad \boxed{M_U^I = 5.84}$$

Coefficiente de corrección  $C_{\Delta d}$

$$C_{\Delta d} := \frac{0.81}{\left( \frac{d}{h} \right)^2} \quad \boxed{C_{\Delta d} = 0.93}$$

$$P_{\min} := \frac{1}{6 \cdot 0.81} \cdot \left( 0.60 + \frac{0.40}{4\sqrt{h}} \right) \cdot \frac{0.313}{650} \cdot 27.4 \cdot \frac{2}{3}$$

$$P_{\min.d} := P_{\min} \cdot C_{\Delta d}$$

$$\boxed{P_{\min.d} = 0.095\%}$$

Cuantía a especificar según propuesta.

$$\rho_{\text{exist}} := \frac{0.26\text{cm}^2}{b \cdot d}$$

$$\rho_{\text{exist}} = 0.077\%$$

Cuantía existente en espécimen 2.

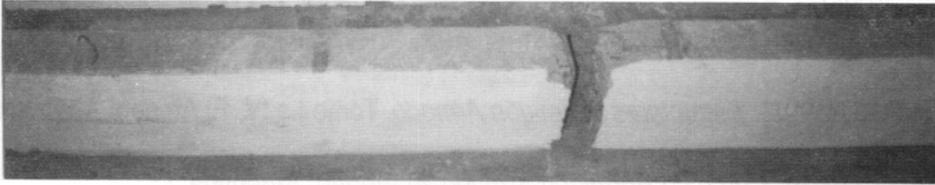


Figura 7. Espécimen 2, luego del ensayo

### Comentarios

Para la determinación de la resistencia del hormigón se utilizaron probetas curadas en las mismas condiciones que el espécimen (Sangriboli et al., 1995 y 1996).

Se observa que para una cuantía de aproximadamente 23 % menos que lo especificado se obtuvo un momento de rotura del orden de 25 % mayor que lo especificado.

Se estima que esta diferencia se basa, en parte, al hecho de que la resistencia a tracción del acero de las barras es superior al adoptado al determinar la cuantía mínima y además, a la variabilidad de  $\pm 8\%$  en la sección de acero.

Como puede observarse, el momento resistente de la sección ensayada es aproximadamente 25 % mayor al estimado, por lo cual se concluye que la propuesta arroja cuantías del lado de la seguridad.

## Referencias

- Ferguson, P. M. (1983). *Fundamentos del concreto reforzado*. CECSA, México.
- Jiménez Montoya, P., García Meseguer, A., y Morán Cabré, F. (1979). *Hormigón Armado*, 10ª Edición. G.Gili S.A.; España.
- Leonhardt F. (1993). *Estructuras Hormigón Armado*. Tomo I a IV. El Ateneo: Argentina.
- Moretto, O. (1979). *Curso de Hormigón Armado*. El Ateneo, Argentina.
- Norma NBR 6118 (1996). ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), Brasil.
- Proyecto de Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón (1964). Tomos I y II.
- CINEH (Centro de Investigación de Normas Estructurales del Hormigón ), Argentina.
- Proyecto de Reglamento CIRSOC 201-05 (2005). INTI (Instituto Nacional de Tecnología Industrial), Argentina.
- Reglamento CIRSOC 201 Tomos I y II. (1993). INTI (Instituto Nacional de Tecnología Industrial), Argentina.
- Reglamento ACI 318-89. (1991). IMCYC (Instituto Mexicano Cemento Y del Concreto), México.
- Reglamento ACI 318-05. (2005). INTI (Instituto Nacional de Tecnología Industrial); Argentina.
- Saliger, R. (1948). *El Hormigón Armado*. Labor S.A.: España.
- Sangriboli, C., Starowicz, M., Taus, D., y Velenik Velleni, E. (1995 y 1996). *Trabajo de Investigación Desarrollado por Grupo de Becarios del LEME* Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Avellaneda, Argentina.

## INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES

Rumbos Tecnológicos es una publicación periódica de la Facultad Regional Avellaneda, Universidad Tecnológica Nacional, de carácter científico-tecnológico y destinada a un público con formación particular en diferentes campos del conocimiento.

Su propósito es la difusión de trabajos de investigación científica y tecnológica de la ingeniería, sus campos de aplicación, la enseñanza de la disciplina y otras ciencias relacionadas con su práctica. Asimismo son de interés artículos de reflexión o estudios de casos particulares producto de experiencias de los autores en la práctica de la investigación.

### Presentación de los trabajos

Los trabajos deberán ser dirigidos al Comité Editorial y enviados por correo electrónico a la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva:

cienciaytecnologia@fra.utn.edu.ar

El servidor se encuentra en condiciones de recibir archivos de hasta 6 MB. Si la extensión del trabajo fuera mayor, es aconsejable remitir separadamente el texto y las ilustraciones.

### Categoría de artículos

1. Las contribuciones previstas podrán ser:
  - a) Artículos de Investigación Científica y Tecnológica: documentos que presentan, de manera detallada, los resultados originales de proyectos de investigación.
  - b) Reportes de Caso: documentos que presentan los resultados de estudios sobre una situación particular con el fin de dar a conocer las experiencias técnicas y metodológicas consideradas en un caso específico. Incluyen revisión sistemática y comentada de la literatura sobre casos análogos.
  - c) Notas Técnicas: trabajos de naturaleza técnico-tecnológica destinados a la descripción de procesos, dispositivos o equipos desarrollados por los autores.
  - d) Cartas al Editor: documentos breves que presentan resultados originales, preliminares o parciales, de investigaciones científicas o tecnológicas, que por lo general requieren de una pronta difusión.
  - e) Artículos de revisión: documentos de una investigación donde se analizan, sistematizan e integran los resultados de investigaciones publicadas sobre un campo en ciencia o tecnología, con el fin de dar cuenta de los avances y las tendencias de desarrollo. Se caracterizan por presentar una cuidadosa revisión bibliográfica.
  
2. Artículos de difusión: trabajos destinados a ilustrar acerca de las características de un tema particular y sus aplicaciones.

Todas las categorías serán sometidas a arbitraje excepto los artículos de difusión, que serán seleccionados por el comité editor de acuerdo a la temática propuesta.

## Estructura de los contenidos y edición

Se deberán contemplar las siguientes pautas:

La extensión del trabajo no podrá ser mayor que 20 páginas.

La presentación debe realizarse en formato de hoja tamaño A4 (21 cm x 29,7 cm) escritas con interlineado simple, conservando los siguientes márgenes: superior e inferior, 2,5 cm; derecho e izquierdo, 3 cm; encabezado y pie de página, 1,5 cm.

La fuente a utilizar en los trabajos es Arial Narrow.

La presentación deberá seguir los siguientes lineamientos:

- a) Nombre del trabajo: tamaño 14, negrita, en mayúscula y centrado.
- b) Autores: a continuación, sobre margen izquierdo, dejando interlineado doble, tamaño 12, en negrita, nombre y apellido del (de los) autor(es). En tamaño 12, el nombre y la dirección postal de la(s) institución(es) a la(s) que pertenece(n). Se deberá indicar, usando asterisco luego del apellido, al autor a quien la correspondencia deba ser dirigida y, en cursiva, su dirección de correo electrónico.

## EJEMPLO DE FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DEL TÍTULO

**Nombre Completo Primer Autor<sup>1,2</sup>, Nombre Completo Segundo Autor<sup>2</sup>, Nombre Completo Tercer Autor<sup>\*3,4</sup>**

<sup>1</sup> Institución 1, Dependencia 1, Dirección (Código Postal) Localidad, Provincia, País.

<sup>2</sup> Institución 2, Dependencia 2, Dirección (Código Postal) Localidad, Provincia, País.

<sup>3</sup> Institución 3, Dependencia 3, Dirección (Código Postal) Localidad, Provincia, País.

<sup>4</sup> Institución 4, Dependencia 4, Dirección (Código Postal) Localidad, Provincia, País

*\* Autor a quien la correspondencia debe ser dirigida*

*Correo electrónico: tercerautor@servidor.ar*

El texto del trabajo contemplará las instrucciones que siguen:

- a) Títulos: margen izquierdo, tamaño 14 y en negrita.
- b) Subtítulos: margen izquierdo, tamaño 12 y en negrita.
- c) Formato de textos: justificado, tamaño 12, en espacio simple.
- d) Sangría: 1 cm, en primera línea, salvo Resumen y Abstract.
- e) Títulos de tablas y figuras: en negrita, alineación centrada y tamaño 11.

En cuanto a los contenidos se sugiere:

El *Resumen* debe ser lo más informativo posible, para orientar al lector en la identificación del contenido básico del artículo en forma rápida y exacta. Debe expresar clara y brevemente los objetivos y el alcance del estudio, los procedimientos básicos, los métodos analíticos, los principales hallazgos y las conclusiones y presentar resultados numéricos precisos. Debe emplearse tercera persona y tiempo pasado, excepto en la frase concluyente; excluir abreviaturas y referencias bibliográficas. Su redacción será en castellano y en inglés (en este caso bajo el título *Abstract*) con una extensión máxima de 200 palabras, dejando interlineado doble luego del bloque "Autores".

Luego del resumen, deberán consignarse palabras clave (en el *Abstract*, key-words) que orienten acerca de la temática del trabajo, hasta un máximo de cinco. Asociaciones válidas de palabras (por ejemplo, contaminación ambiental, fluorescencia de rayos X) se considerarán como una palabra individual.

Para el resto del texto, se aconseja ordenar el cuerpo de trabajo en distintas secciones:

- *Introducción*: se expone en forma concisa el problema, el propósito del trabajo y se resume el fundamento del estudio. Se mencionan sólo las referencias estrictamente pertinentes, sin incluir datos ni conclusiones.
- *Desarrollo (Materiales y Métodos o Parte Experimental)*: aquí se describe el diseño de la investigación o el trabajo y se explica cómo se llevó a la práctica, las especificaciones técnicas de los materiales, la cantidad y los métodos de preparación. Etc.
- *Resultados*: esta sección presenta la información pertinente a los objetivos del estudio y los hallazgos, en una secuencia lógica, es decir, presentando didácticamente el conocimiento que se trata de comunicar y no la estructura histórico secuencial de cómo fueron descubiertos o enunciados esos conocimientos.
- *Discusión*: es el lugar donde se examinan e interpretan los resultados y se sacan las conclusiones derivadas de esos resultados.
- *Conclusiones*: expresan en forma resumida, sin los argumentos que la sustentan, las consecuencias extraídas en la Discusión de los Resultados.
- *Agradecimientos*: los agradecimientos deberán ser escuetos y específicos, vinculados al trabajo presentado. Serán suprimidos los de naturaleza general o no aplicables a la contribución.
- *Referencias*: agregar al final del texto, en una lista, las referencias bibliográficas y documentales con los autores y las obras citadas, ordenada alfabéticamente. La lista bibliográfica guarda una relación exacta con las citas que aparecen en el texto: solamente incluye aquellos recursos que se utilizaron para llevar a cabo la investigación y la preparación del trabajo.

Conjuntamente con el artículo completo, deben enviarse en archivos separados e identificados claramente, imágenes y gráficos con el formato final indicado.

## **Elementos generales de citación y elaboración de las referencias**

### **Citación**

1. Ejemplos para citar en el texto una obra por un autor(a):

- a. Rivera (1994) comparó los tiempos de reacción...
- b. En un estudio reciente sobre tiempos de reacción (Rivera, 1994)...
- c. En 1994, Rivera comparó los tiempos de reacción...

2. Obras con múltiples autores(as):

- a. Cuando un trabajo tiene dos autores(as), se deben citar ambos cada vez que la referencia ocurre en el texto.

b. Cuando un trabajo tiene tres o más autores, se cita el apellido del(a) primer(a) autor(a) seguido de la frase et al. y el año de publicación.

Ejemplo: Ramírez et al. (1985) concluyeron que...

3. En el caso de que se citen dos o más obras por diferentes autores(as) en una misma referencia, se escriben los apellidos y respectivos años de publicación separados por un punto y coma dentro de un mismo paréntesis. Ejemplo:

En varias investigaciones (Ayala et al., 1984; Conde, 1986; López y Muñoz, 1994) concluyeron que...

## Referencias

No deberán incluirse en Referencias citas bibliográficas no mencionadas específicamente en el texto del trabajo. La elaboración de la lista debe cumplir la siguiente norma:

Elementos de referencia de un libro completo

Autor (año de publicación). *Título del libro*. Editor, lugar de publicación. Ejemplo:  
Luenberger, D. (1989). *Programación lineal y no lineal*. Addison-Wesley, México.

Para un artículo o capítulo dentro de un libro editado

Autor (año de publicación). Título del artículo o capítulo. En *Título de la obra*. Editor, lugar de publicación. Ejemplo:

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (1998). Recolección de los datos. En *Metodología de la investigación* (233-339). McGraw-Hill, México.

Artículo de revista científica

Autor (año de publicación) Título del artículo. Título de la revista y volumen (número de la edición), números de páginas. Ejemplo:

1. Artículo de revista, un autor

Bekerian, D. A. (1992) "Un estudio sobre movimiento ondulatorio". *Revista Americana de Física* 48, 574-576.

2. Artículo de revista, tres a cinco autores

Borman, W. C., Hanson, M. A., Oppler, S. H., Pulakos, E. D., y White, L. A. (1993). "Role of early supervisory experience in supervisor performance". *Journal of Applied Administration* 78, 443-449.

Ejemplos de referencias a documentos electrónicos

Documento en línea

Hernández, M. E. (2008) Energía eólica y sustentabilidad, [en línea]. Argentina: Universidad de Buenos Aires. Disponible en: <http://cenamb.rect.uba.ar/siamaz/dicciona/nahuelhuapi/ahuapi.htm> [Última fecha de acceso: 3 de junio de 2008].

Documento en línea, con responsable

Organismo Autónomo de Museos y Centros (2002). *Museo de la Ciencia y el Cosmos*, [en línea]. Tenerife: Trujillo, W. M. Disponible en: <http://www.mcc.rcanaria.es> [Última fecha de acceso: 22 de diciembre de 2007].

Documento en línea, sin autor

*Electronic reference formats recommended by the American Psychological Association* (1999), [en línea]. Washington, DC: American Psychological Association. Disponible en: <http://www.apa.org/journals/webref.html> [Última fecha de acceso: 2 de febrero de 2009].

Artículo de diario en línea

De Benito, E. (2000, 5 de junio). Bariloche es la primera región de Sudamérica que planifica un desarrollo ecológico y sostenible. *Página 12* [en línea], N° 494. Disponible en: <http://www.pagina12.ar/p/d/20000605/sociedad/bariloche.htm> [Última fecha de acceso, 5 de junio de 2003].

### Tablas y figuras

Toda tabla, cuadro o figura debe estar referida y explicada en el texto (Por ejemplo: “Ver Figura 1”) aunque sus leyendas tienen que ser lo suficientemente explícitas como para permitir su comprensión independiente. Toda vez que sea posible, se recomienda usar gráficos cuando haya más de 10 datos, para dar un panorama general, presentar patrones visuales, permitir que los datos guíen la presentación y evitar la saturación.

Tablas y Figuras (o gráficos): se incluirán en el lugar más cercano a su referencia, con números arábigos consecutivos y acompañadas con un título auto-explicativo siguiendo los próximos ejemplos según corresponda.

Tabla 1. Ejemplo de formato para tabla y título (nótese que la fuente del título es 11)

	1er trim.	2do trim.	3er trim.	4to trim.
Este	20,4	27,4	90	20,4
Oeste	30,6	38,6	34,6	31,6
Norte	45,9	46,9	45	43,9

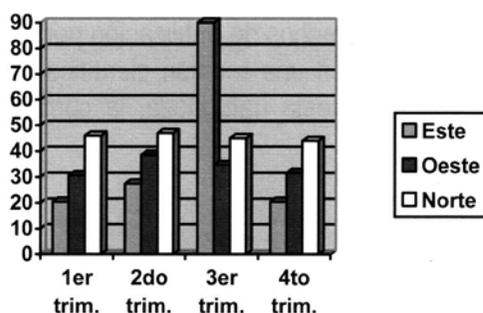


Figura 1. Ejemplo de ubicación de la figura y su leyenda explicativa (nótese que la fuente de la leyenda es 11)

Imágenes, gráficos o dibujos deben ser clasificados como Figuras. Las imágenes fotográficas deberán estar al tamaño 1.1 a 300 ppi, en formato jpg. Los gráficos o dibujos se presentarán, preferentemente, en vectores (formato .cdr o .ai); en el caso de estar presentados en forma de mapa de bits su resolución en 1.1 deberá ser mayor a 800 ppi. No podrán reproducirse figuras en color.

### **Fórmulas matemáticas**

Las fórmulas deberán conservar la fuente del texto (Arial Narrow, normal) y presentarse en negrita.

### **Recomendaciones generales**

Se recomienda a los autores:

- Preservar la pureza y la claridad idiomática de sus textos, evitando el uso de vocablos de uso corriente en disciplinas particulares, pero no conocidos o con distinto significado en otros ámbitos.
- No emplear palabras derivadas de traducciones incorrectas o pertenecientes a otros idiomas, excepto cuando no existan equivalencias válidas en castellano, o se refieran a prácticas, metodologías o procesos conocidos por su denominación en la lengua original.
- Evitar el uso excesivo de mayúsculas cuando se haga mención sustantivos comunes, como por ejemplo elementos químicos o técnicas particulares.

Es conveniente, en todos los casos, efectuar una adecuada revisión ortográfica y de sintaxis de los textos antes de su envío.

### **Mecanismos de aceptación**

Los trabajos serán revisados por reconocidos especialistas, designados por el Comité Editorial. El dictamen será, en cada caso: a) aprobado en su versión original; b) aprobado con pequeñas modificaciones; c) revisado, con necesidad de modificaciones significativas; d) rechazado. En los casos diferentes a su aprobación directa, los trabajos serán enviados a los autores. Cuando se trate de cumplir con modificaciones sugeridas por los árbitros, los trabajos serán sometidos a una nueva evaluación.

El envío de una contribución supone que ésta no ha sido publicada previamente y, adicionalmente, la cesión de los derechos de publicación por parte de los autores. Cuando el trabajo ha sido ya presentado en una reunión científica (sin publicación de actas) o inspirado en una presentación de esta naturaleza, la correspondiente fuente debe ser mencionada.

SE TERMINO DE IMPRIMIR  
EN EL MES DE  
SEPTIEMBRE DE 2010 EN  
**GRAFICA HORIZONTE**  
FONROUGE 3378 - CAPITAL FEDERAL  
TEL.: 4601-8159



Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Avellaneda  
Av. Ramón Franco 5050 - Código Postal: 1874  
- Villa Domingo - Buenos Aires - Argentina  
Tel: (54-11) 4353-0220 int. 105 - Fax: (54-11) 4353-0221  
[www.fra.utn.edu.ar](http://www.fra.utn.edu.ar) - [cienciaytecnologia@fra.utn.edu.ar](mailto:cienciaytecnologia@fra.utn.edu.ar)