

ISSN 2250-5989  
ISSN-L 2250-5989

# **CIENCIA y de los TECNOLOGÍA MATERIALES**

**LABORATORIO DE ENTRENAMIENTO  
MULTIDISCIPLINARIO PARA LA  
INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA**



**Revista N° 10 - 2020**

### • Hormigón de Cemento Portland

Estudios y análisis de materiales componentes del hormigón de cemento Portland: cementos, agregados, adición y aditivos

Alterabilidad de agregados frente a reacciones deletéreas

Estudios integrales de hormigones de peso normal y especiales (alta performance, con fibras, autocompactantes, livianos, etc.)



Sala de Hormigonado



### • Durabilidad y vida útil de las estructuras

Corrosión de armaduras

Evaluación de estructuras con patologías

Ensayos destructivos y no destructivos



Equipo extractor de testigos con broca diamantada



Estudios sobre reacción álcali-agregado

### • Ensayos físicos y análisis de fallas

Ensayos sobre metales y maderas

Ensayos sobre tubos y accesorios de PVC

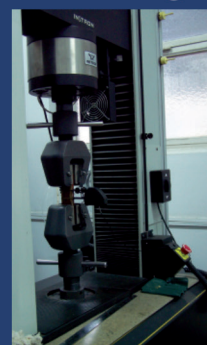
Calificación de fusionistas en instalaciones de gas

Ensayos para la calificación de soldadores y procedimientos de soldaduras en materiales metálicos



Sala de Ensayos Mecánicos

Ensayo a tensión Prensa INSTRON



### • Pavimentos Flexibles

Cementos asfálticos y emulsiones bituminosas

Agregados pétreos: ensayos físico-mecánicos

Suelo-cemento, suelo-cal

Lechadas asfálticas

Clasificación de ligantes SUPERPAVE

Mezclas en frío y en caliente

Polímeros

Materiales de juntas



Equipo para determinar la viscosidad cinemática del asfalto.



### • Fundición y Metalurgia

Fundición de precisión y especiales

Laboratorio metalográfico

Ensayos no destructivos en metales

Estatuaria



Fundición de piezas en diversos metales



### • Geología, Mineralogía y Petrografía

Estudios mineralógicos y petrográficos

Cubicación de canteras de rocas y suelos



Microscopio petrográfico y lupa estereoscópica



### • Otros materiales

Materiales para edificios (cerámicos, tejas, chapas, baldosas, bloques, etc.)

Placas y paneles para viviendas

Caños de hormigón simple y armado

Estudios de materiales de valor patrimonial



### • Control de calidad y certificación de materiales.

# CIENCIA y de los TECNOLOGÍA MATERIALES

## DIRECTOR

Dr. Ing. ZEGA, Claudio J.

## COMITE EDITOR

Ing. DI MAIO, Ángel A.

Ing. GIACCIO, Graciela

Dr. Ing. GREGORUTTI, Ricardo

Dra. Ing. LOPEZ, Anahí

Ing. MARCOZZI, Rosana

Dra. Ing. TORRIJOS, María Celeste

Ing. TRAVERSA, Luis P.

Dr. Ing. VILLAGRAN ZACCARDI, Yury A.

Dr. Ing. ZERBINO, Raúl L.

## ÍNDICE

<b>1.- Consideraciones preliminares al análisis de ciclo de vida de estructuras de hormigón elaborado con agregados reciclados en Provincia de Buenos Aires.</b>	<b>9</b>
<i>L. Maselli, Y. Villagrán, G. San Juan</i>	
<b>2.- Hormigón reciclado con arenisca reactiva a los alcalis.</b>	<b>25</b>
<i>C. J. Zega, D. D. Falcone, A. A. Di Maio</i>	
<b>3.- Tratamientos superficiales con potencial aplicación en construcciones de hormigón de importancia patrimonial.</b>	<b>33</b>
<i>M. V. Correa, S. E. Rastelli, A. López, V. G. Rosato, S. G. Gómez de Saravia</i>	
<b>4.- Un monumento de F. Salamone para recordar al dip. Fortunato Chiappara asesinado en la legislatura provincial.</b>	<b>45</b>
<i>L. P. Traversa, F. H. Iloro</i>	
<b>5.- Estudio de la solidificación de una prótesis de cadera fundida en acero inoxidable austenítico ASTM F745</b>	<b>61</b>
<i>A. Kociubczyk, J. E. Grau, J. L. Sarutti, R. W. Gregorutti, A. E. Ares</i>	

***Título:***

Ciencia y Tecnología de los Materiales.

***Editor responsable:***

LEMIT - 52 e/121 y 122. 1900 - La Plata. Buenos Aires. Argentina.

***Diseño y diagramación:***

Prof. Sebastian Marquez

***Cantidad de ejemplares:*** 500

Las opiniones expresadas en los artículos de esta Revista son responsabilidad exclusiva de los autores. Se permite la reproducción total o parcial de los trabajos, siempre que no se altere su sentido y se anexe los datos bibliográficos completos de la Revista, el artículo y los nombres de sus autores.

The views in the articles of this Journal are the sole responsibility of the authors. Reproducing all or part of the papers is allowed, provided its meaning is not changed and added the complete bibliographic data of the Journal, the article and authors names.





## LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

### **Durabilidad del Hormigón, Ligantes Hidráulicos y Adiciones Minerales**

- Estudio de las reacciones Álcali-Sílice (RAS) y Álcali-Carbonato (RAC)
- Durabilidad de hormigones en suelos salinos
- Adiciones minerales activas (AMA) y aditivos químicos

### **Hormigones de Cemento Portland**

- Estructura y mecanismos de rotura del hormigón
- Evaluación del hormigón con métodos Destructivos y No Destructivos
- Mecanismos de transporte en hormigón endurecido
- Hormigones especiales (Autocompactantes, Reciclados, Coloreados, Reforzados con Fibras)

### **Patologías y Reparación de Construcciones**

- Corrosión de barras empotradas en el hormigón
- Biocorrosión del hormigón
- Relevamiento de estructuras de hormigón armado y vida en servicio
- Técnicas de restauración y conservación del patrimonio construido

### **Tecnología Vial**

- Dosificación de mezclas asfálticas por el sistema SUPERPAVE
- Correlación entre Deformación Permanente y la Viscosidad a Corte Cero
- Medidas de Ahuellamiento y Daños por Humedad en Mezclas Asfálticas
- Grado de performance según Strategic Highway Research Program (SHRP)
- Asfaltos modificados con polímeros

### **Mineralogía, Petrografía y Sedimentología**

- Estudios petrográficos y mineralógicos de rocas utilizadas en materiales de la construcción
- Investigaciones geológicas y geotecnológicas
- Paleomagnetismo y magnetismo de rocas
- Contaminantes metálicos en sedimentos

### **Procesos de Solidificación, Fundición y Soldadura**

- Elaboración de aceros inoxidables Dúplex
- Fundición de hierro
- Métodos de moldeo
- Estatuaría
- Materiales para implantes quirúrgicos y prótesis
- Desarrollo de Noyería Cerámica y elaboración de Impulsores con Baja Rugosidad
- Estudio de Piezas Arqueológicas Pertenecientes al Patrimonio Nacional

## ASESORAMIENTO Y SERVICIO TECNOLÓGICO

El LEMIT brinda asesoramiento y servicio tecnológico al sector productivo, en el ámbito público y privado, sobre los siguientes temas:

### **Rocas**

- Ensayos físico-mecánicos
- Análisis petrográficos y mineralógicos
- Evaluación de canteras y yacimientos
- Hormigones de Cemento Portland

### **Cemento Portland**

- Agua para mezclado
- Agregados para morteros y hormigones
- Adiciones minerales
- Estudios de dosificación de hormigones tradicionales y especiales
- Aditivos para hormigón
- Durabilidad del hormigón
- Reacción álcali-sílice (RAS)

### **Estructuras de Hormigón**

- Extracción de testigos
- Evaluación mediante Ensayos destructivos y no destructivos
- Corrosión de armaduras
- Patologías de estructuras

### **Patrimonio Construido**

- Estudios integrales
- Técnicas de reparación y conservación

### **Materiales de Construcción**

- Cales hidráulicas y aéreas
- Yesos e hidrófugos
- Ladrillos
- Baldosas y losetas aglomeradas con cemento
- Azulejos y revestimientos
- Bloques huecos de morteros
- Bloques de hormigón para pavimentos
- Paneles

### **Fundiciones**

- Estudios metalográficos
- Fundición de piezas

### **Suelos**

- Clasificación de suelos
- Análisis granulométricos
- Ensayos de compactación
- Determinación de densidad “in-situ”
- Suelo-cal
- Suelo-cemento
- Estabilizado granulométrico
- Valor soporte

### **Materiales Bituminosos**

- Betunes asfálticos
- Emulsiones bituminosas
- Selladores para juntas
- Membranas asfálticas
- Clasificación de asfaltos por grado de performance (PG de SHRP)

### **Mezclas Bituminosas para Pavimentos**

- Agregados para mezclas bituminosas
- Proyectos de mezclas y tratamientos bituminosos
- Diseño de mezclas según SUPERPAVE (SHRP)
- Ensayos de ahuellamiento (WTT)
- Ensayo de Hamburgo (HWTT)

### **Ensayos Físico-Mecánicos**

- Metales ferrosos y no ferrosos
- Maderas
- Plásticos
- Tubos y accesorios para agua y cloacas
- Barras para hormigón
- Cables para hormigón pretensado
- Elementos de seguridad
- Caños y conexiones de mortero y hormigón

## EDITORIAL

La revista Ciencia y Tecnología de los Materiales tiene como propósito favorecer la divulgación y el intercambio con el medio científico y productivo de los estudios sobre distintos materiales que se desarrollan en el LEMIT. El lector podrá encontrar artículos que muestran los resultados obtenidos en diferentes líneas de investigación, o que surgen ante la necesidad de dar solución a problemáticas de aplicación específica.

En este número de Ciencia y Tecnología de los Materiales se incluyen cinco trabajos que contienen temas relacionados con el empleo de hormigones reciclados, tanto desde el punto de vista de la sustentabilidad como de la durabilidad, la aplicación de tratamientos superficiales de biopelículas, una reseña histórica de diferentes edificaciones situadas en una localidad bonaerense y el estudio de la solidificación de una prótesis de acero inoxidable. De este modo, el primer trabajo aborda cuestiones del reciclado de hormigón en Argentina poniendo el eje en el análisis de ciclo de vida y la economía circular, considerando particularmente la situación en la Provincia de Buenos Aires, basándose en artículos recientes en la materia, y proponiendo diferentes aspectos a considerar en este tipo de análisis como también así en investigaciones futuras. En el segundo trabajo se presentan los resultados del desempeño de agregados reciclados potencialmente reactivos frente a la reacción álcali-sílice (RAS), analizándose la alternativa de aplicación de una medida preventiva para atenuar los efectos deletéreos de la RAS. El tercer trabajo presenta la eficiencia de distintos tratamientos superficiales para prevenir la formación de biopelículas fototróficas sobre la superficie del hormigón, con el fin de que puedan ser aplicados en edificaciones de importancia histórica. El cuarto trabajo hace una revisión histórica de la localidad de Arroyo Corto y de diferentes construcciones allí existentes, con particular énfasis en un monumento del cementerio local construido por F. Salamone. El último de los trabajos analiza los cambios microestructurales producidos en una prótesis de cadera de acero inoxidable, a partir del análisis de las curvas de enfriamiento, como consecuencia de la solidificación diferencial existente en distintos sectores de la misma.

La Plata, noviembre de 2020



# CONSIDERACIONES PRELIMINARES AL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ELABORADO CON AGREGADOS RECICLADOS EN PROVINCIA DE BUENOS AIRES

## PRELIMINARY CONSIDERATIONS TO THE LIFE CYCLE ASSESSMENT OF RECYCLED AGGREGATE CONCRETE STRUCTURES IN THE PROVINCE OF BUENOS AIRES

Lucio Maselli<sup>1,2</sup>, Yury Villagrán<sup>1,3,5</sup>, Gustavo San Juan<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup> LEMIT, CICPBA, B1900AYB, La Plata, Argentina, [hormigones@lemit.gov.ar](mailto:hormigones@lemit.gov.ar)

<sup>2</sup> ANPCyT, C1425FQD, CABA, Argentina, [lucio.maselli@cyt.cic.gba.gob.ar](mailto:lucio.maselli@cyt.cic.gba.gob.ar)

<sup>3</sup> CONICET, B1904CMC, La Plata, Argentina

<sup>4</sup> IIPAC-UNLP, B1900GGD, La Plata, Argentina, [iipac@fau.unlp.edu.ar](mailto:iipac@fau.unlp.edu.ar)

<sup>5</sup> Magne Vandepitte Lab, Ghent University, 2P55+V4 Gante, Bélgica

### RESUMEN

El presente trabajo aborda el pensamiento de ciclo de vida y la economía circular en la producción de estructuras de hormigón armado, y el estado de la cuestión del reciclado de hormigón en Argentina, particularmente en las condiciones bonaerenses, en comparación con la bibliografía internacional disponible. Se basa en un análisis crítico de artículos recientes en la materia, sobre el análisis de ciclo de vida (ACV) de la producción de agregados gruesos reciclados y hormigones elaborados con dichos agregados. Apunta a contrastar la información contenida en la literatura seleccionada a partir de la profundidad o cobertura de cada análisis, con las particularidades del contexto local. A partir de la discusión, se trazan lineamientos para investigaciones futuras.

**Palabras clave:** *Análisis de Ciclo de vida, Hormigón reciclado, Economía Circular.*

### ABSTRACT

This paper addresses life cycle thinking and the circular economy in the production of reinforced concrete structures, and the state of the art of recycling concrete in Argentina, particularly in Buenos Aires conditions, in comparison with the international bibliography available. It is based on a critical analysis of recent articles on the subject of the life cycle assessment (LCA) of the production of recycled concrete aggregates and concrete made with said aggregates. It aims to contrast the information contained in the selected literature based on the depth or coverage of each analysis, with the particularities of the local context. From the discussion, guidelines for future research are drawn.

**Keywords:** *Life Cycle Assessment, Recycled Concrete, Circular Economy.*



## INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la tecnología del hormigón se están investigando múltiples estrategias para mejorar la eco-eficiencia del hormigón. En general hay consenso sobre la metodología para validar las estrategias enmarcada en lo que se denomina análisis de ciclo de vida (ACV), con variantes metodológicas encuadradas dentro de la norma ISO 14044 [1]. En Argentina, desde 2016, con la norma IRAM 1531 [2], se permite hasta un 20% de reemplazo del agregado grueso natural (AGN) por agregado grueso reciclado (AGR) para la elaboración de hormigones en masa de hasta 30 MPa, para usarse en las condiciones ambientales A1, A2, A3, M1, Q1, y C1 según el Reglamento CIRSOC 201:2005 [3]. No obstante, no existe una implementación generalizada de la estrategia de reciclado, y parte de las limitaciones se deben a que no existen las plantas necesarias para efectuar la trituración, la separación de gruesos y finos, y la limpieza del material ferroso y contaminantes.

10

En nuestro país los residuos de construcción y demolición (RCD) están contemplados como parte de las corrientes de residuos sólidos urbanos (RSU) por la Estrategia Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (ENGIRSU), no existiendo marco normativo nacional específico sobre RCD. La estrategia mejoró la gestión de los RSU en general, aunque en cuanto a los RCD, al no haber procedimientos normativos, la parte mayoritaria se maneja con volquetes privados, fuera de cualquier regulación, que muchas veces disponen los residuos en vertederos clandestinos. Existen contadas excepciones en algunos distritos como la CABA, en los que la gestión de residuos municipal incluye los RCD, que son clasificados y comercializados, obteniendo por un lado el cascote de mampostería y hormigón, cuando es imposible separar las fracciones, y por el otro los agregados de hormigón reciclado, producto de demoliciones selectivas en las que los bloques de hormigón llegan a planta con bajo contenido de contaminantes. La obtención de agregados reciclados de hormigón a partir de material de demolición proveniente

de obras de construcción inespecíficas, se ve dificultada por falta de protocolos para demolición selectiva y gestión de los RCD en obra, que disminuyan la contaminación de los agregados. Esto puede atribuirse, en principio, a la falta de legislación específica, y a la poca experiencia local de reciclado. Por lo tanto, la producción actual de agregados reciclados en Argentina se deriva casi completamente a partir de obras específicas de demolición de hormigón, generalmente pavimentos, coordinadas previamente entre las partes interesadas, y de la trituración de hormigón de corte como residuo de las mismas plantas elaboradoras. Sin embargo, la aplicación de este agregado reciclado es principalmente para bases y sub bases de pavimentos, implicando un cierto infrarreciclaje y pérdida de oportunidad en usos de mayor valor. El reciclado de RCD podría optimizarse notoriamente si se analiza el ciclo de vida completo de las estructuras.

El análisis de ciclo de vida (ACV) es una herramienta metodológica que fue creada para medir la eco-eficiencia de un producto o servicio. Consiste en la elaboración de un sistema con ingresos y egresos cuantificados de energía y materia, a modo de balance del proceso en estudio. Fue creada en Europa en los 70 y evolucionó a través de congresos y reuniones de trabajo impulsada por organizaciones como la Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) y el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) hasta ser normalizada por la norma ISO 14044 [1], en 2006. A partir de ese momento, se consolidó como la principal herramienta para hacer comparaciones de eco-eficiencia y apoyar decisiones informadas en este aspecto a nivel mundial. La herramienta se organiza en 4 pasos: i) definición de alcance y objetivos, ii) análisis de inventario, iii) análisis de impacto, iv) interpretación. A grandes rasgos, tiene dos formas de evaluar el impacto, una es definir las cargas ambientales que tienen un daño potencial (punto medio) y la otra es determinar el impacto ambiental como un hecho consumado (punto final).

Si bien el marco normativo de ISO permite unificar criterios metodológicos a nivel mundial, las bases de datos usadas para los inventarios deben ser producidas atendiendo condiciones locales para el área de cada estudio, definiendo la precisión necesaria según el alcance y los objetivos planteados en cada estudio. En el caso de Argentina, y en la mayoría de los países de ingresos medios y bajos, las bases de datos tienen un desarrollo incipiente. A nivel local existe la Red Argentina de Ciclo de Vida [4], que realiza congresos anuales desde 2013 y plantea el interés por desarrollar inventarios nacionales. Por lo tanto, en términos locales, las principales limitaciones actuales que se encuentran para la aplicación del ACV en la producción y uso de hormigón y otros materiales cementicios es la escasa información local que permita la confección de un inventario confiable. La realización de inventarios con bases de datos internacionales permiten una primera aproximación, pero es importante la consideración de los condicionantes locales para alcanzar valoraciones e interpretación precisas.

### Herramientas para estudios de ACV

Para elaborar los estudios preliminares de ACV, se tomó el criterio de usar herramientas informáticas de acceso libre, adoptándose el programa de acceso libre Open LCA 1.10.2 [5], de origen alemán. Junto con el programa es necesario definir una base de datos de inventario, en nuestro caso, siguiendo las recomendaciones de Marinković [6] acerca de inventarios de ciclo de vida (ICV) de hormigones, optamos por usar EcoInvent, en su versión 3.6 [7], de origen suizo. Esta base de datos comercial tiene una versión gratuita para países no miembros de la OCDE, como Argentina, y por lo tanto resulta ampliamente aplicable a nivel local. De dicha base de datos pueden obtenerse los ítems para armar los inventarios de la producción de hormigones nuevos, pero no así para hormigones reciclados. El problema más común en estudios exhaustivos con ACV, reside en la fiabilidad de las bases de datos comerciales que, por temas de derechos de propiedad, no siempre

permiten acceder al origen de sus cifras. Es por este motivo que autores que han profundizado en el tema de ACV de hormigones como Gursel [8] y ACV de estructuras como De Wolf [9], plantean la necesidad de establecer herramientas propias con datos fehacientemente obtenidos de fuentes públicas. Aún así, se considera que las bases de datos disponibles permiten una primera aproximación que puede ser luego mejorada respecto a su fiabilidad y fidelidad respecto de los condicionantes locales.

El presente trabajo es un aporte para impulsar la creación de un marco normativo sobre RCD que posibilite la producción de agregados reciclados y hormigón reciclado a gran escala, tomando en cuenta su impacto real con una visión integral. Para valorar la potencialidad local del reciclado, se analizaron y contrastaron -con los condicionantes locales - 3 fuentes bibliográficas principales según cada tema a trabajar: para la producción de agregados reciclados en planta fija [10], para la producción de agregados reciclados con planta móvil [11] y para el ACV de HAR [12].

### Producción de Agregados Gruesos Reciclados

Es importante tener una correcta taxonomía de los residuos para valorar las estrategias de reúso y reciclado y los distintos sistemas de producto que puedan plantearse en estudios de ACV correctamente [13]. Existen 4 escenarios típicos para la producción de agregados gruesos reciclados (Figura 1), en orden creciente de acuerdo al volumen de hormigón que representan son: reciclado de probetas y hormigón de corte en plantas hormigoneras y reciclado de probetas y piezas premoldeadas defectuosas en plantas de prefabricados (los dos escenarios centrales en la Fig. 1), planta móvil para grandes obras de demolición selectiva de hormigón (escenario a la izquierda en Fig. 1), y planta fija como parte de un sistema de gestión de RCD (escenario a la derecha en la Fig. 1). En primer lugar, cabe realizar una distinción entre dos grupos de escenarios. En los dos últimos escenarios mencionados se trata el manejo de fin

de vida de estructuras construidas a través de la demolición, y constituyen por lo tanto gestión de RCD propiamente dicha. Los dos primeros tratan de una gestión de los residuos industriales, en un caso el de la industria del hormigón elaborado, es decir del reciclado de un material de construcción a materia prima (AGR), y en el otro de la industria del hormigón prefabricado con el reciclado de elementos y componentes manufacturados a materia prima, bajando dos niveles en la jerarquía de reúso y reciclado en la construcción planteada por Crowther [14]. Esto sucede porque se convierten elementos constructivos en agregados reciclados a usarse como materia prima en la confección de nuevos elementos estructurales. Cada escenario requiere un enfoque diferente, así como también una ponderación de la contribución que cada uno de ellos hace para desarrollar una economía circular, donde esta última se considera como una estrategia que tiene por objetivo reducir tanto la entrada de los materiales vírgenes como la producción de desechos, cerrando los «bucles» o flujos económicos y ecológicos de los recursos [15].

Es difícil determinar el volumen de hormigón de deshecho que actualmente se recicla localmente, ya que no es una práctica normalizada y las iniciativas privadas son motivadas por el beneficio económico o por dificultades estacionales con

el abastecimiento de los AGN en períodos de gran demanda, alternados con períodos de baja actividad, que hacen que las empresas que tienen canteras se ajusten para evitar riesgos, perdiendo capacidad de abastecimiento. Este factor, que en principio es señalado en la industria como un factor negativo propio de la incertidumbre económica del país, es una oportunidad para valorizar la estrategia de procesamiento centralizado en plantas de reciclado de RCD, ya que permitiría incrementar la capacidad de stockeo de agregados, a la vez de resolver el problema de los RCD. Se configura entonces una práctica dispersa sobre la que existe casi nulo registro. Algunos indicios pueden obtenerse de la consulta a fabricantes de maquinaria nacional específica, como Vibromaq, radicada en José León Suárez, que produce alimentadores y zarandas vibratorias necesarias para obtener AGR a escala industrial. En los últimos cuatro años, esta empresa proveyó de dichas máquinas a varias hormigoneras del AMBA, que tenían dificultad para obtener el AGN de Olavarría, ya que hubo fuerte demanda de hormigón por la obra pública en este período. Este incremento esbozado por el fabricante coincide con las variaciones en las cifras de reciclado de la firma LOMAX [16]. Esto también coincide con la nueva aceptación de la norma IRAM 1531, por lo que puede considerarse un indicio del impacto que ha tenido la aprobación de incorporación del

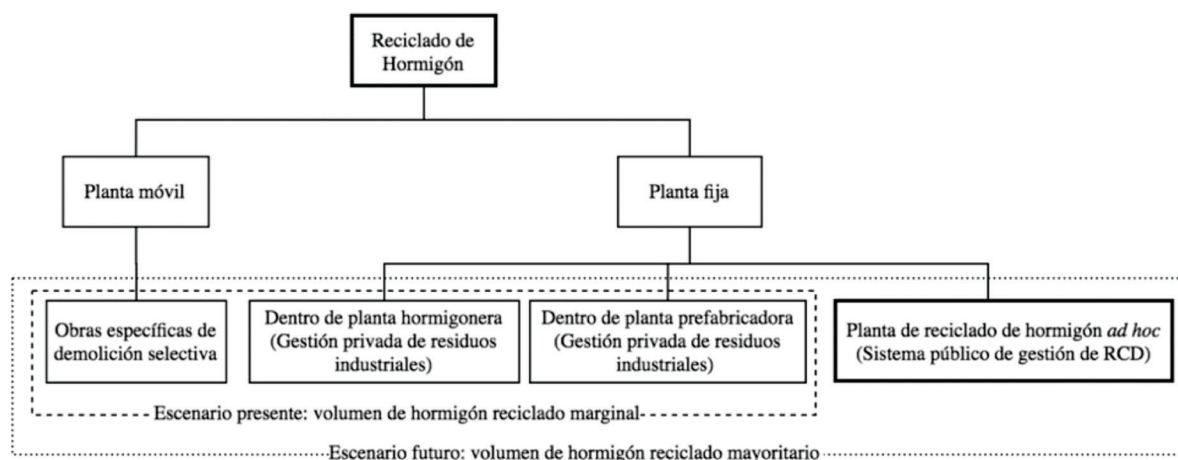


Figura 1: Escenarios de reciclado de hormigón en Argentina.

20% de AGR. Existen por lo tanto señales de la viabilidad económica conjunta con la conservación de rocas naturales en el escenario dentro de plantas hormigoneras en el AMBA. Ciertamente los residuos industriales dentro de la planta resultan menores al límite del 20% de agregado grueso, por lo que el esquema normativo actual permitiría mayor absorción de residuos de hormigón, por las plantas hormigoneras.

Cabe señalar que, al utilizar una planta de reciclado móvil en zonas urbanas, la emisión de material particulado, producto de la trituración, es crítica por la afección que hace a las zonas aledañas. Esto hace evidente la necesidad de contar con plantas que tengan medios que eviten la propagación del polvo. Para ello deben usarse una serie de dispositivos, como cabinas cerradas, aspiradora de polvos e hidratación de los agregados en la trituradora, zaranda y máquina descontaminante. Esto puede significar una desventaja de la aplicación de plantas móviles en zonas urbanas, donde es probable que resulte más conveniente la aplicación de plantas fijas en zonas industriales aptas para recibir el impacto que las mismas generan. Por otra parte, el uso de plantas fijas incrementa el impacto debido al transporte. El balance de impacto ambiental y económico puede hacerse solamente a partir de la interpretación del ACV respectivo.

Con el objetivo de favorecer esta incorporación de residuos de hormigón en la cadena de producción y otras mejoras para la sostenibilidad, se enumeran distintas prácticas y ámbitos que hacen al manejo de los residuos de hormigón, tanto industriales, como provenientes de RCD, y se apuntan las tareas necesarias a realizar en estudios futuros, para obtener los datos para ACV consistentes con las características de la producción local.

#### *Agregados provenientes del lavado de camiones motohormigoneros*

La práctica más común de reciclado, es la recuperación de los agregados naturales producto

del lavado de los camiones motohormigoneros. Esto se debe a que no requiere de equipamiento específico y es un subproducto del necesario proceso de limpieza. La recuperación de los agregados insume una cantidad de agua y otros recursos extra para la limpieza, así como un tamizado que habrá que tomar en cuenta en el ACV. Resulta entonces posible definirlo como subproducto a partir de la inversión de recursos que requiere su acondicionamiento. Esto implica que las cargas involucradas pueden ser asignadas a estos agregados recuperados, y descontadas del hormigón fabricado que les dio origen, de manera que podría contribuir notablemente a la reducción del impacto del hormigón elaborado.

#### *Agregados recuperados del lavado de hormigón fresco sobrante*

Esta práctica se puede realizar con una lavadora con tornillo, la cual consume aproximadamente 4 m<sup>3</sup> de agua por cada m<sup>3</sup> de hormigón. También se puede descargar en piletones con agua para separar por decantación, donde la pasta se separa del agregado y una vez recuperado se le agrega un acidulante para neutralizarla y se la dispone en tambores de 200 l. A primera vista, este proceso es ineficiente por el gran consumo de agua, y la gran cantidad de material (toda la pasta) que lleva a la disposición, que debe ser tratada para neutralizarla. Según lo relevado esta práctica se encuentra prácticamente en desuso, salvo en el caso de pequeñas hormigoneras que lavan volúmenes reducidos en bateas abiertas.

#### *Recuperación del hormigón fresco sobrante en agregados reciclados mediante el uso de químicos*

En el mercado local, la firma trasnacional Mapei comercializa el producto Re-Con Zero Evo, fabricado en Italia, que tiene como finalidad recuperar el hormigón sobrante en forma de agregados reciclados. El producto se presenta en un polvo de dos componentes, que se agregan al hormigón en el camión motohormigonero, generando la aglomeración de la pasta en torno de

los agregados, e inhibiendo la acción cementante posterior. Tras realizarse una mezcla -según indicaciones- se vuelca el material, que estará listo para usar en algunas horas. Las principales ventajas frente a la recuperación por lavado en estado fresco o trituración cuando se lo deja endurecer, es que no insume agua ni trituración para obtener el reciclado, e incluso reduce la cantidad de agua necesaria para lavar el camión. Ahora bien, es necesario, para hacer una justa evaluación de su eco-eficiencia, contar con información detallada de su composición y producción, a través de una declaración ambiental de producto (DAP). Para ello se obtuvo la DAP por parte de la firma [17], la cual será analizada con el fin de verificar su validez según norma ISO 14044 para realizar estudios comparativos. A su vez, es necesario hacer pruebas experimentales del posible lixiviado de dichos químicos en matrices con diferentes porcentajes de reemplazo del AGN. Las propiedades finales de los AGR obtenidos (granulometría, absorción de agua, dureza) son asimismo fundamentales para definir su impacto a través de ACV, ya que permiten definir adecuadamente la unidad funcional, así como verificar el impacto en otros procesos o demandas de materiales (por ejemplo, el contenido unitario de cemento requerido en los hormigones elaborados con estos AGR).

#### *Manejo del hormigón sobrante por endurecimiento segregado para posterior trituración*

Una forma de manejar el residuo industrial de hormigón es verter el sobrante en un patio destinado a tal fin, e ir segregándolo mecánicamente a medida que va endureciendo, para evitar la formación de grandes bloques y poder ingresar el material directamente a la planta de procesamiento sin tener que reducir el tamaño de los bloques o partículas endurecidas por demolición. La principal ventaja de este método es que no usa agua, a diferencia del lavado de hormigón fresco, y que genera un volumen menor de residuos. La principal desventaja es la generación de polvo en la trituración, sobre todo cuando las plantas de reciclado se encuentran en zonas urbanas, y la emisión de material

particulado se convierte en el principal impacto sobre la salud humana en la escala de proximidad. Por los relevamientos efectuados, en Argentina en la actualidad, no hay plantas de trituración, ni importadas ni nacionales, que tengan control de emisión del material particulado. Sí existen máquinas que cuentan con el diseño preparado para incorporar cabinas y cañerías de aspiración, pero no se tiene conocimiento de ninguna planta que lo esté implementando.

#### *Capacidad productiva respecto al manejo de residuos de hormigón endurecido en hormigoneras*

Según consultas realizadas a hormigoneras locales, el hormigón de corte normalmente no alcanza el 0,5% de la producción total, y es usado para obras dentro de las plantas, o triturado y reprocesado en los casos en los que la hormigonera cuenta con trituradora y zaranda. Por lo tanto, es necesario realizar una estadística acerca de esta práctica, sobre la base de una encuesta a las hormigoneras, lo que permitiría una cuantificación certera del volumen de desechos de hormigón que la industria del hormigón elaborado puede absorber efectivamente.

Una estimación preliminar permitiría tener una visión de la magnitud. Considerando únicamente al AMBA, las estadísticas de la Asociación Argentina del Hormigón Elaborado (AAHE), que reúne a las principales empresas del sector, reporta una producción de hormigón elaborado según la Tabla 1 [18]. Este volumen representa casi el 50% de total de hormigón elaborado producido en Argentina. Asumiendo un contenido unitario de agregado grueso típico de 1000 kg/m<sup>3</sup> y el 20% límite establecido por la norma IRAM 1531, tenemos un estimado de 528 mil toneladas. Posteriormente se debería descontar entre 13 mil y 26 mil toneladas (0,5 a 1 % del volumen producido), que corresponde a hormigón de corte y otros residuos de hormigón de las mismas plantas que actualmente se reciclan). Por lo tanto, la estimación preliminar permite definir que podrían ahorrarse hasta 500 mil toneladas



de rocas naturales bonaerenses con aplicación en hormigón (principalmente granito de la zona de Olavarría), si se implementara un sistema de valoración de hormigón de demolición.

#### *Manejo de residuos de hormigón en plantas de prefabricados*

El ámbito de la prefabricación requiere también opciones para la gestión de sus residuos. Por ejemplo, uno de los mayores productores de prefabricados en Argentina, Astori, informa algunos escenarios posibles. Por un lado, un promedio informado de solo 3 piezas defectuosas por año constituye un volumen exiguo de hormigón a reciclar. Por otro lado, con mayor incidencia (y sin armadura, lo que facilita su reciclado), la planta de prefabricación informa 3000 probetas cilíndricas de 15 cm x 30 cm al año, constituyendo un volumen anual de 16 m<sup>3</sup> (o 38 toneladas). En un esquema de reemplazo máximo del 20% de la masa del AGN, en conformidad con IRAM1531, serviría para producir 190 m<sup>3</sup> de HAR con 1000 kg/m<sup>3</sup> de agregado grueso. Con estos volúmenes, el costo del equipamiento necesario para reciclar dentro de la planta parece difícilmente justificado, pero tampoco existe un centro de reciclado disponible como para tercerizarlo. Cabe mencionar que, en el caso de los prefabricados, al tener armaduras, su reciclado es más dificultoso que el del hormigón de corte de las hormigoneras, pero al ser un producto industrializado el proceso es más fácil de implementar y con menos contaminantes que en el hormigón de demolición de edificios tradicionales.

#### *Grandes obras de demolición de hormigón*

Respecto del hormigón demolido en grandes obras, la renovación de pavimentos con plantas móviles constituye la práctica más sencilla de implementar, y de la que pueden encontrarse referencias en Argentina. En la figura 2 se pueden ver distintos esquemas de demolición de hormigón, según el reporte ACI-555-01 [19].

Una experiencia pionera fue desarrollada a fines del 2005 por el LEMIT en cooperación con la dirección de Vialidad de la Provincia de Buenos Aires, con la construcción de un tramo experimental en una vía de tráfico pesado en la circunvalación y el acceso al puerto de Quequén, en Necochea. Si bien los resultados no fueron los esperados por el grupo de trabajo, principalmente por patologías constructivas debidas a dificultades que se presentaron para controlar la ejecución, esta experiencia proveyó información valiosa [20], sobre todo respecto a la gestión del residuo de hormigón y su uso. La utilización de la fracción fina (tamaños menores a 4 mm) y la contaminación del agregado con suelo, aumentó significativamente la demanda de agua, al mismo tiempo que redujo la resistencia y la durabilidad. Por lo tanto, estos aspectos requieren mayor atención respecto al diseño de las mezclas de hormigón reciclado y su implementación en el campo.

En el caso de la firma LOMAX, el uso de AGR representó en el período 2011-2019 un promedio del 3,7 % sobre el consumo total de agregados, con un pico de 5,7 % en 2018, e importantes beneficios económicos y ambientales [16], constituyendo

**Tabla 1.** Producción de hormigón elaborado empresas de la AAHE en 2019, zona AMBA [18].

Subzona	Miles de m <sup>3</sup>
CABA, Riachuelo, San Vicente, Florencio Varela y Berazategui	1.034
La Plata, Gonnet y Berisso	86
GBA Norte	996
GBA Oeste	524
<b>TOTAL</b>	<b>2640</b>

una gran experiencia reproducible para otras empresas hormigoneras de menor escala. Una obra de referencia por su escala en relación al hormigón reciclado fue la renovación de la pista de Aeroparque, en la que el hormigón demolido fue transportado a las plantas de LOMAX ubicadas en el AMBA, constituyendo una experiencia fundante para la empresa en los aspectos prácticos del reciclado a escala industrial. El principal problema que afrontaron fue la emisión de material particulado y su afección a zonas urbanas circundantes. Por su parte, la firma Fenomix posee amplia experiencia en el reciclado, gran cantidad de equipamiento, y cuenta con un importante acopio de agregados reciclados en la ribera del río Luján, alejado de zonas urbanas, lo que evita problemas de afección a zonas urbanas con la emisión de material particulado. Su actividad relacionada al reciclado de hormigón se puede sintetizar en 4 modalidades: i) procesamiento del hormigón con planta móvil para el reúso in situ en grandes obras de demolición de hormigón como pavimentos, ii) retiro de los RCD de hormigón en bloques en

grandes obras de demolición para procesarlos en su planta y comercializarlos, iii) retiro de residuos industriales de hormigón de plantas hormigoneras para procesar y comercializarlos en sus instalaciones, iv) servicio de procesamiento in situ en plantas hormigoneras de sus residuos de hormigón. A la fecha, esta empresa estima que su acopio de agregados reciclados puede abastecer de 6 a 7 meses de producción con el ritmo actual, y considera estratégica dicha posesión para eventuales picos de demandas producto de la ejecución de obras de infraestructura. A su vez, la empresa informa que la mayoría de sus agregados, tanto en la fracción fina como en la fracción gruesa, están siendo demandados como insumos para bases y sub bases de pavimentos, siendo excepcional su comercialización a hormigoneras para la producción de hormigón estructural.

Revisión del caso de estudio de una planta fija de reciclado.

A los fines de introducir las características de

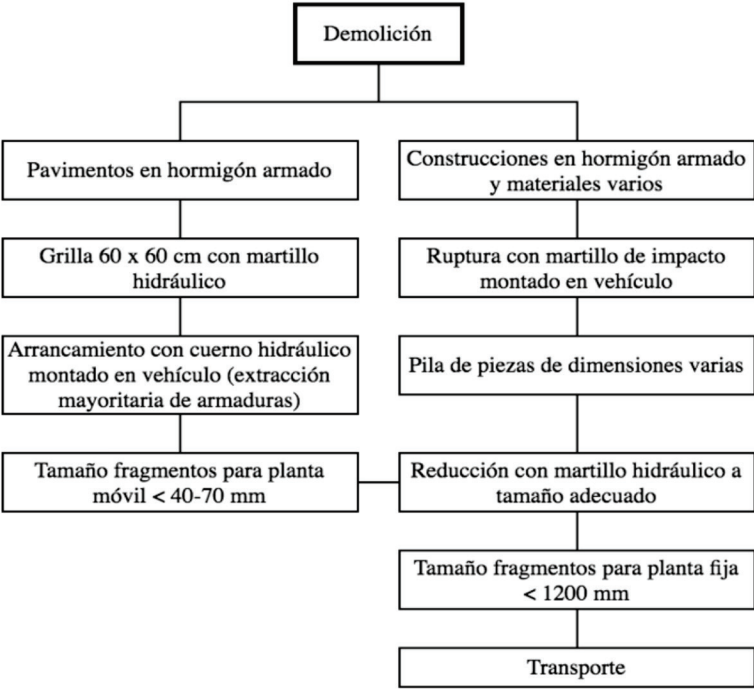


Figura 2: Esquemas de demolición, elaboración propia según reporte ACI-555-01 [19].

las plantas estacionarias para procesamiento de RCD, se presenta en la Figura 3 [19] un esquema de planta estacionaria del tipo de segunda generación, que dispone, además de los medios de trituración y tamizado, dispositivos de limpieza de contaminantes y de control de emisión de polvo (material particulado). La única planta que se asemeja a este tipo, aunque sin control de polvo, de la cual se pudo tomar registro en el ámbito nacional, es la operada por Evasa S.A. en el centro de reciclaje de la CABA. Es necesario recabar información detallada adicional sobre esta planta de reciclado para adoptarla como referencia para un estudio de ACV detallado del reciclado, obteniendo datos primarios consistentes con la tecnología implementada localmente.

La investigación de Ghanbari et al. [10], si bien no es un estudio de ACV y tiene un alcance limitado, serviría de base para diseñar un modelo propio de planta. En dicho artículo se plantea la comparación en cuanto a los consumos de energía eléctrica y emisiones de CO<sub>2</sub>eq, entre una planta de reciclado

fija y una cantera marina. Los condicionantes locales son relevantes, y debe tenerse en cuenta que la investigación de referencia se sitúa en Irán. Puede extraerse información válida en función de una estructura económica y productiva comparable y aplicable al contexto argentino y bonaerense, pero debe tenerse presente que esto implica una simplificación que debe ser luego abordada con mayor profundidad a partir de la recopilación de información a nivel local.

En primer lugar, resulta de interés el planteo de una planta fija de reciclado de segunda generación, lo que permite obtener agregados gruesos, intermedios y finos, libres de contaminantes, en este caso con una capacidad de 200 t/h. En [10] se aporta un listado de la maquinaria y las horas de funcionamiento, y se calculan los consumos generados en el funcionamiento normal de 8 h diarias a 200 t/h durante un año. El lay-out de la planta es una versión simplificada del esquema de planta de segunda generación esbozado en el reporte ACI 555R-01 (Figura 3). El diseño fue

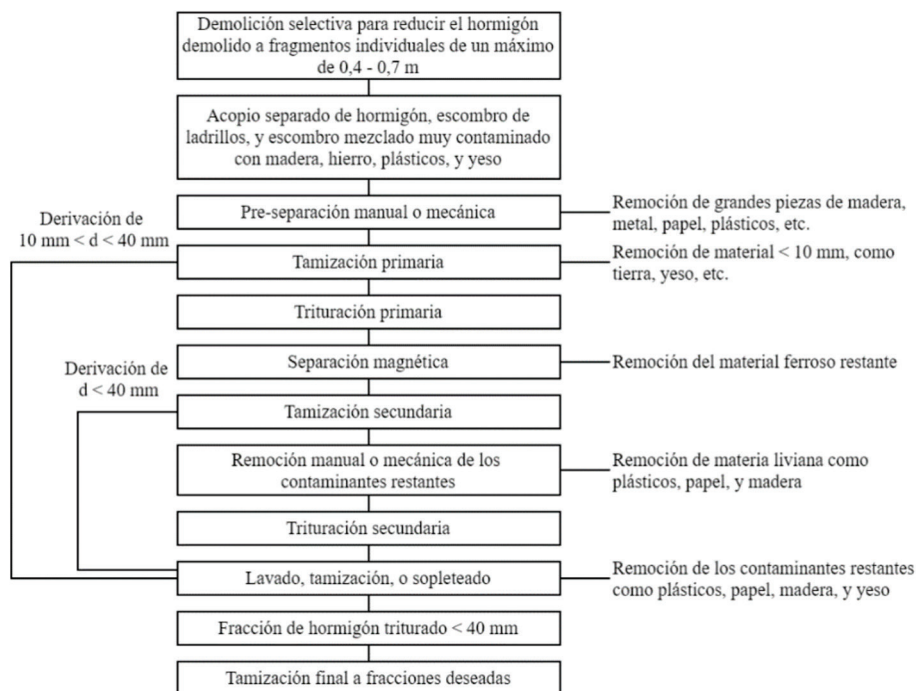


Figura 3: Planta de procesamiento de hormigón de demolición (adaptado de [19]).

realizado por la empresa de maquinaria china Zhengzhou Yifan Machinery Co., Ltd. No se dan precisiones sobre la locación o fecha por lo que resultan fuentes adicionales de incertidumbre. La planta tiene una única zaranda (en lugar de dos), y dos instancias de separación manual (en lugar de una). Se supone que esta decisión obedece a una reducción de maquinaria para disminuir el monto de la inversión inicial, y también justificada por la relación entre costos de maquinaria y mano de obra en el contexto nacional. La planta tiene características tecnológicas que en una primera aproximación parecen válidas para su implementación en el contexto local, ya que la mayoría de las máquinas y equipamiento necesario se producen localmente.

Con respecto al alcance del estudio, se limita a los consumos energéticos de electricidad y de diésel, y las emisiones de  $\text{CO}_2\text{eq}$ . Se concluye que, al cabo de 20 años de funcionamiento de la planta de reciclado, se ahorrarían en la producción de agregados aproximadamente un 30% de energía y emisiones de  $\text{CO}_2\text{eq}$ . Este cálculo fue realizado con las características actuales de la matriz energética de Irán. Para el caso argentino es necesario tomar en cuenta la composición de la matriz energética local, por lo que no se puede trasladar directamente sus resultados. Igualmente es esperable tener una buena aproximación considerando que en ambos países el gas natural y el petróleo tienen alta participación como fuentes de generación de electricidad con una cierta ventaja ecológica para Argentina (en Irán: 71% y 21%, respectivamente, en 2014 [21]; en Argentina: 57% y 14%, respectivamente, en 2016 [22]).

En cuanto al tipo de cantera que se toma en [10], se trata de un yacimiento marino, del cual no se especifican más características que el listado de máquinas usadas. Se listan 2 topadoras diésel, sin especificar si la extracción se realiza directamente con topadoras o se realiza una tarea previa de dragado. Para el caso de la provincia de Buenos Aires, por tratarse de explotaciones mineras mediterráneas, en las que la extracción de la piedra

se hace normalmente por medio de voladuras con explosivos insertados en la roca, es fundamental contemplar las importantes cargas ambientales de dichos procesos destructivos, y la transformación del hábitat y territorio que generan las canteras. En este sentido, el proceso extractivo de roca natural resulta ampliamente desfavorable para las condiciones en AMBA en comparación con el estudio [10]. Aunque resulte obvio, cabe señalar que, minimizando su explotación, estaríamos preservando un recurso natural no renovable y estratégico para el futuro.

### **Producción de Hormigón Elaborado con Agregados Reciclados**

Primeramente, es importante definir los factores de incidencia en función de su impacto en el ACV. La literatura es consistente en definir al contenido de cemento como el más relevante, pero es necesario hacer definiciones con mayor detalle. Gursel [8] realiza en su tesis doctoral una revisión de los estudios de ACV de hormigones publicados, realizados según norma ISO 14044 y establece un análisis de sensibilidad para definir los factores de incidencia de los materiales o procesos constituyentes de los hormigones para el contexto turco, que es comparable al argentino en lo que respecta a la composición de la matriz energética. Las principales estrategias tendientes a la eco-eficiencia del hormigón señaladas por Gursel [8] son: reducción del factor de clinker, optimización de los procesos más significativos con el fin de reducir su intensidad energética, minimización de las cargas por transporte (por reducción de distancias o cambio de modalidad), y cambio de la matriz energética hacia fuentes renovables. Esto coincide con el estudio de Dossche et al [23], donde se hace un análisis de impacto mediante el denominado Eco-indicador 99 y se determina para el caso particular de hormigón armado fabricado con la provisión de una planta elaboradora (ubicada en Bélgica) un eco-impacto de los agregados del 6%, sensiblemente por debajo del 29% para el acero de refuerzo, el 27% para el contenido de cemento, y el 20% para el transporte (incluyendo

solamente el correspondiente al hormigón fresco de la planta a la obra). De esta forma, el factor de clinker y el transporte se presentan en primera instancia como factores a poner en relieve.

Cabe destacar la ausencia en las consideraciones de Gursel [8] de estrategias de reúso y reciclado, ya sea como manejo del fin de vida (FdV) usándolo como sub base y sumidero de carbono o como agregados gruesos reciclados (AGR) para elaborar hormigones con agregados reciclados (HAR). Especialmente esta última estrategia es solo favorecida cuando los agregados son obtenidos mediante una demolición selectiva que permita separar el hormigón de los residuos de la construcción y demolición (RCD). Para un manejo integral, todas las estas estrategias deben ser tenidas en cuenta en función de su complementariedad, ya que pueden, además de conseguir una reducción de los impactos de ciclo de vida más referidos como el potencial de calentamiento global, reducir o eliminar otros impactos como el agotamiento de recursos no renovables, la transformación del territorio, la emisión de material particulado, y otras cargas asociadas a los distintos tipos de minería extractiva.

Visintin et al. [12] realizaron un estudio a gran escala, de 624 dosificaciones extraídas de 61 estudios sobre HAR, entre los cuales se encuentra un trabajo de Zega y Di Maio [24], del Área de Tecnología del Hormigón del LEMIT. Para realizar los cálculos de ACV de las dosificaciones, los autores tomaron como base para su modelo, la herramienta para realizar ACV de hormigones de Gursel, llamada Green Concrete LCA Tool, desarrollado por la autora en su tesis doctoral de la universidad de Berkeley, California. A este modelo, que como se mencionó no incorpora el reciclado, se le agregaron los datos extraídos de la planta de reciclado utilizada en el estudio de Ghanbari [10], creando su propio modelo de cálculo. Cabe señalar que, tal como reconocen los autores, el estudio solo toma en cuenta las emisiones de  $\text{CO}_2\text{eq}$ .

Con respecto a la asignación de las cargas del

reciclado, Visintin et al. [12] plantean que lo indicado recientemente por varios autores como Zhang et al. [25] y Cuenca Moyano et al. [26] sobre particionar las cargas ambientales del reciclado entre el hormigón original (ya que forma parte del manejo de su fin de vida) y el hormigón reciclado, es correcto pero difícil de implementar. Esto se debe a la dificultad que presenta determinar en qué proporción hacerlo, porque las características del AGR son inferiores a las del AGN, por lo que habría que ajustar la asignación de cargas con un criterio cualitativo. Esto fue resuelto anteriormente por Marinković [11] por medio de una regla de asignación por corte, por el mismo motivo. Los autores descartan la necesidad de particionar las cargas, mediante un análisis de sensibilidad estadístico sobre los dos modos, comprobando que el particionado de las cargas de reciclado genera una incidencia de magnitud despreciable. Vale aclarar que este criterio solo alude a la emisión de  $\text{CO}_2\text{eq}$  y el potencial de calentamiento global, y que en otras categorías de impacto las magnitudes podrían variar, justificando el particionado, por esto es necesario verificar este criterio según cada categoría.

En cuanto a la emisión de  $\text{CO}_2\text{eq}$ , tal como señalan Visintin et al. [12] en su análisis de sensibilidad estadístico entre los distintos procesos que involucra la producción de hormigón, la producción de AGR tiene una incidencia similar a la de AGN, y es un orden de magnitud menor que la incidencia del cemento, por lo que no se obtienen importantes mejoras en lo que respecta a  $\text{CO}_2\text{eq}$  con su implementación sobre los agregados naturales. Por este motivo, es relevante enfatizar la ausencia en los estudios de ACV de hormigones reciclados revisados, de los impactos de agotamiento de recursos no renovables, de transformación del territorio, y de emisión de material particulado, entre otros, asociados a la minería extractiva y los vertederos, máxime, cuando son las principales mejoras que supone el uso de AGR. Por otra parte, es importante tener en cuenta que este análisis de Visintin et al. considera principalmente el procedimiento de trituración y



fraccionamiento en la producción del agregado. En el AMBA, la incidencia del transporte es sumamente significativa (por la gran distancia desde la fuente del AGN) y por lo tanto diferente a la que puede encontrarse en la mayoría de la literatura. Sobre este aspecto y sus potenciales beneficios a partir de la implementación de un circuito de producción de agregados reciclados provenientes de RCD resulta un punto de sumo interés para la consideración de los condicionantes locales en el AMBA.

Visintin et al. [12] no tuvieron alternativa de transporte al camión, debido a las condiciones de la región de Australia para la que fue realizado el estudio. En el caso de nuestra región, el AMBA, contamos con la alternativa del tren para transportar los agregados gruesos y el cemento desde Olavarría al AMBA. Se puede hacer un cambio modal o multimodal, combinando ambos medios. Esto tiene la potencialidad de reducir el impacto del transporte, ya que actualmente, la mayoría de las hormigoneras (con varios ejemplos en La Plata) transportan la totalidad de los materiales en camiones que vuelven a Olavarría vacíos, redundando en cargas ambientales considerables, dados los 660 km de ida y vuelta por viaje de 30 t de las bateas. Una alternativa interesante sería la construcción de un centro de transferencia intermodal regional, estratégicamente ubicado en La Plata, con el fin de abastecer a las hormigoneras del Gran La Plata, con el material traído en tren de carga, acopiado y cargado en camiones con bateas que reducirían sus trayectos a la escala local. Para esto sería necesario intensificar la frecuencia de los viajes y realizar la inversión en una rampa para poder cargar las bateas con una pala normal, disponer de una pala especial que permita cargar las bateas, o equipamiento como una cinta transportadora, silos, tolvas para cargar las bateas. De esta manera se reduciría la emisión de GEI dada por el transporte considerablemente. Por lo tanto, el análisis de la aplicación de agregados reciclados no conviene que sea hecho en forma aislada sino integrado en estudios comparativos con la implementación de otros procedimientos y

tecnologías competitivas.

## **Producción de Sistemas Estructurales con Hormigón Reciclado**

El ACV no debe quedar limitado a los aspectos del material. Se requiere mayor profundidad respecto a cómo los diferentes materiales permiten o dificultan la implementación de una economía circular. Los materiales cementicios se encuentran entre los más inconvenientes en estos aspectos. Cuando se los compara con estructuras de madera o de acero, e incluso mampostería, la baja reusabilidad de las estructuras monolíticas de hormigón armado es una deficiencia significativa [27]. Junto con mejoras en la eco-eficiencia del material deben también diseñarse mejoras en el diseño estructural, que habiliten su desmontaje, reúso y transformación, para evitar la obsolescencia anticipada de estructuras que tengan vida útil remanente. De este modo, se asegura la eficacia de la principal estrategia de eco-eficiencia que se plantea para las estructuras de hormigón, cuando es aplicado en estructuras edilicias. En este aspecto es importante verificar la compatibilidad del desempeño de elementos de HAR con elementos reusables.

Al nivel del sistema estructural, según De Wolf [9], las principales estrategias para disminuir el contenido de carbono incorporado son el uso de materiales de bajo coeficiente de carbono incorporado (CCI) y baja cantidad de material estructural (CME) por unidad de superficie edificada. En el caso de las estructuras de hormigón, esto se logra abordando las estrategias mencionadas al nivel del material, y el complemento del resto de los sistemas edilicios de características livianas y eco-eficientes, junto con el reúso de componentes de sistemas desmontables. Cabe destacar que con este enfoque la investigación pasa a tomar una visión multi escalar, abarcando las mejoras en la producción del material, y sumando los recursos disponibles en la escala del sistema estructural y el edificio. Este abordaje incorpora, además de las mejoras antedichas, el reúso y reciclado. En cuanto

al reciclado, abarca la gestión de los residuos propios de la industria del hormigón (como el hormigón de corte, agua de limpieza) y los residuos de la industria de la construcción (RCD) como el hormigón demolido selectivamente y reciclado. Con respecto al reúso, al incorporar el diseño estructural dentro de la estrategia de optimización del manejo del ciclo de vida del hormigón, se plantea la necesidad de desarrollar sistemas estructurales desmontables como estrategia óptima de manejo de fin de uso. La complejidad del análisis requiere basarse primordialmente en estudios de caso, y a partir de los mismos parece posible definir guías de acción que puedan aportar una visión general. En la literatura existen guías de este tipo, pero es inconveniente su aplicación directa al contexto local debido a las diferencias en la matriz productiva y diversos condicionantes locales, ya sea técnicos, económicos o sociales.

## DISCUSIÓN

Aunque es necesaria más información respecto a las condiciones locales, la literatura internacional sienta bases sólidas para realizar ACV en el contexto local. De Gursel y de De Wolf se extrae la necesidad de profundizar en herramientas de ACV para cálculos detallados, que contengan datos obtenidos de fuentes públicas. De Ghanbari et al. se extrae el modelo de planta fija de reciclado que puede ser adaptado a la maquinaria de fabricación nacional disponible para realizar un prototipo de planta de reciclado de hormigón para realizar estudios de ACV consistentes con las características locales.

Como se puede observar en los estudios de ACV de HAR revisados, es necesario contar con más detalle y además es deseable que sean más abarcativos en cuanto a las categorías de impacto que incluyen. En cuanto a la aplicación de los datos obtenidos en dichos estudios, es necesario realizar mediciones para obtener datos primarios y adaptar los inventarios a condiciones locales. En cuanto a características tecnológicas de los procesos, por mencionar un ejemplo, en

los estudios de referencia se plantea una planta estacionaria con control de polvo, y en Argentina por el momento no existe ninguna planta que tenga control de polvo, y de hecho en las experiencias de producción de AGR a escala industrial se registran problemas precisamente por la emisión de material particulado en las inmediaciones. No obstante lo antedicho, y tal como hemos planteado, se pueden tomar referencias de los análisis de sensibilidad (incidencia) de los distintos procesos según cada categoría de impacto para evaluar en qué procesos hacer foco para la mejora de la calidad de los datos, por medio de la obtención de datos primarios, que den mayor consistencia o representatividad local a los estudios.

La importancia de la incidencia del transporte, que depende actualmente en cualquiera de sus modos de los combustibles fósiles, hace que la localización de los recursos y procesos, como son, entre otros, la obtención de los agregados y la producción del hormigón, sea determinante en la eco-eficiencia del material. Para cada escenario de reciclado planteado en la Figura 1, se deben tener en cuenta los emplazamientos y los transportes asociados, en combinación con los demás factores que generan las cargas ambientales. Para determinar los caminos más convenientes para la mejora de la eco-eficiencia del hormigón elaborado en el ámbito bonaerense, se deben realizar análisis de sensibilidad por categoría de impacto, para luego poder establecer lineamientos para mejoras estratégicas.

En el contexto de la creciente preocupación internacional por el calentamiento global y el compromiso argentino con el cumplimiento del objetivo de reducción de emisión de GEI (del 18% + 19%, incondicional + condicionado a asistencia financiera, respectivamente, para el 2030 con base a emisiones de 2005) [28], es importante restringir cualquier estrategia que implique un mayor uso de cemento, dado que es el proceso que mayores emisiones de GEI genera de los constituyentes del hormigón. Es así que se hace necesario realizar un análisis integral de la estrategia de uso de

AGR, para evitar potenciales contrapartidas como la necesidad de un mayor uso de cemento. Cabe mencionar la relevancia que tiene para la implementación generalizada del reciclado por trituración del hormigón endurecido, la demolición selectiva de las estructuras y la subsiguiente gestión de RCD diferenciados. En caso contrario, el hormigón será triturado junto a otros materiales como la mampostería en la fracción general de RCD, constituyendo un infra reciclaje evitable. La aplicación de AGR no debe realizarse sin estar integrada en un análisis integral de impacto.

## CONCLUSIONES

El presente trabajo incluye bibliografía internacional disponible sobre la temática del análisis de ciclo de vida de estructuras con hormigón con agregados reciclados. Todos los estudios disponibles contienen datos específicamente situados, y por lo tanto, se pueden extraer conclusiones parciales, ya que dimensiones como la matriz energética o la matriz de combustibles (por ejemplo los usados en el horno de clínker), las distancias de transporte, los tipos de cantera, deben ser ajustadas a las características propias de nuestro país o región en estudios futuros. Esta información no se encuentra disponible a nivel local y es un aspecto de suma relevancia respecto a la implementación de políticas eco-eficientes en la construcción con hormigón.

Este abordaje propone también el fomento de las

estrategias de reúso y reciclado, con el objetivo primordial de resolver problemas de gestión de residuos, y reducir el consumo de recursos no renovables. Estrategias de este tipo resultan sostenibles siempre que, además de técnicamente viables, permitan la asociación del desarrollo económico y humano. Como conclusión principal se extrae que es necesario tener una estrategia propiamente local de fomento del reúso y reciclado del hormigón, que aparte de fundarse en la agenda del calentamiento global, se base en las condiciones y necesidades particulares de nuestro país y región. Para ello es necesario la recopilación de información detallada del sistema productivo nacional en el circuito de la vida útil de las estructuras de hormigón armado.

## Agradecimientos

Este trabajo es parte de las investigaciones del PICT 0091-2017, financiado por la Agencia Nacional de Promoción de la Investigación, el Desarrollo Tecnológico y la Innovación. Lucio Maselli agradece a la Agencia por el financiamiento, y al LEMIT-CICPBA por el entorno de trabajo. Asimismo, es muy apreciado el conocimiento compartido por Eva Sosa del LEMAC-UTN FRLP (respecto a la gestión de RCD y reciclado de hormigón), y por Quinto Gebert, Darío Campos, Ariel González, Sofía de Abreu, Leonardo Rozze y Pablo Carreño (en función de su experiencia desde la industria) y a Susana Héctor de Vialidad de Provincia de Buenos Aires.

## REFERENCIAS

- 1.- ISO, ISO 14044:2006 Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines Management. Ginebra: ISO, 2006.
- 2.- IRAM, Norma IRAM 1531:2015. Buenos Aires, 2015.
- 3.- CIRSOC, Reglamento CIRSOC 201:2005. Buenos Aires: INTI, 2005.
- 4.- «Red Argentina de Ciclo de Vida». [En línea]. Disponible en: <https://analisisciclodevida.wixsite.com/>. [Accedido: 18-nov-2020].

- 5.- Green Delta, «Open LCA 1.10.2». Berlín, 2019.
- 6.- S. B. Marinković, «Life cycle assessment (LCA) aspects of concrete», en *Eco-Efficient Concrete*, V M John, Fernando Pacheco-Torgal, S Jalali, y Joao Labrincha, Eds. Woodhead Publishing, 2013, pp. 45-80.
- 7.- «ecoinvent 3.6». ecoinvent, Zúrich, 2019.
- 8.- P. Gursel, «Life-Cycle Assessment of Concrete: Decision-Support Tool and Case Study Application», UC Berkeley, 2014.
- 9.- C. De Wolf, «Low Carbon Pathways for Structural Design: Embodied Life Cycle Impacts of Building Structures», Massachusetts Institute of Technology, 2017.
- 10.- M. Ghanbari, A. M. Abbasi, y M. Ravanshadnia, «Production of natural and recycled aggregates: the environmental impacts of energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions», *J. Mater. Cycles Waste Manag.*, vol. 20, n.o 2, pp. 810-822, 2018, doi: 10.1007/s10163-017-0640-2.
- 11.- S. B. Marinković, I. Ignjatović, y V. Radonjanin, «Life-cycle assessment (LCA) of concrete with recycled aggregates (RAs)», en *Handbook of Recycled Concrete and Demolition Waste*, F. Pacheco-Torgal y Y. Ding, Eds. Woodhead Publishing, 2013, pp. 569-604.
- 12.- P. Visintin, T. Xie, y B. Bennett, «A large-scale life-cycle assessment of recycled aggregate concrete: The influence of functional unit, emissions allocation and carbon dioxide uptake», *J. Clean. Prod.*, vol. 248, n.o November, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.119243.
- 13.- L. Maselli, E. Sosa, C. Pico, Y. A. Villagrán Zaccardi, y G. San Juan, «Optimización del ciclo de vida de estructuras de hormigón a través del diseño para el desmontaje», en *Memorias del IX Congreso Internacional y 23a Reunión Técnica AATH*, 2020, pp. 351-358.
- 14.- P. Crowther, «A Taxonomy of Construction Material Reuse and Recycling: Designing for Future Disassembly», *Eur. J. Sustain. Dev.*, vol. 7, n.o 3, pp. 355-363, 2018, doi: 10.14207/ejsd.2018.v7n3p355.
- 15.- V. Prieto Sandoval, M. Jaca García, y M. Ormazabal, «Economía circular: relación con la evolución del concepto de sostenibilidad y estrategias para su implementación», *Mem. Investig. en Ing.*, vol. 15, n.o 15, pp. 85-95, 2017.
- 16.- Q. F. Gebert, «Utilización de agregados reciclados a escala industrial: evolución y aprendizaje de 8 años en el hormigón elaborado», en *Memorias del Workshop sobre gestión de residuos de construcción y demolición*, 2019, pp. 210-252.
- 17.- MAPEI, «Environmental product declaration in accordance with ISO 14025 for Re-Con Zero Evo», EPD International AB EPD, 2018. [En línea]. Disponible en: [https://gryphon4.environdec.com/system/data/files/6/13777/epd1105\\_Mapei\\_Re-Con Zero Evo\\_2018.pdf](https://gryphon4.environdec.com/system/data/files/6/13777/epd1105_Mapei_Re-Con Zero Evo_2018.pdf). [Accedido: 15-nov-2020].

- 18.- AAHE, «AAHE - Producción Anual Empresas Hormigoneras Asociadas 2015-2019», 2019. [En línea]. Disponible en: <https://hormigonelaborado.com/wp-content/uploads/2020/06/Producción-2019.pdf>. [Accedido: 26-sep-2020].
- 19.- ACI Committee 555, «Removal and Reuse of Hardened Concrete - ACI 555-01», Michigan, 2001.
- 20.- C. J. Zega y Y. Casuccio, «Evaluación de testigos de pavimento elaborado con hormigón reciclado», *Cienc. y Tecnol. del Hormigón*, n.o 13, pp. 45-50, 2006.
- 21.- International Energy Agency, «Key energy statistics, Electricity generation by source, Iran», 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.iea.org/countries/iran>. [Accedido: 19-ago-2020].
- 22.- A. Secretaría de Energía, «Informe Estadístico del Sector Eléctrico 2016, Archivo complementario C1.GEN\_POT\_COMB\_2016», 2018. [En línea]. Disponible en: [http://www.energia.gob.ar/contenidos/archivos/Reorganizacion/informacion\\_del\\_mercado/publicaciones/mercado\\_electrico/anuarios\\_electrica/2016/2016.zip](http://www.energia.gob.ar/contenidos/archivos/Reorganizacion/informacion_del_mercado/publicaciones/mercado_electrico/anuarios_electrica/2016/2016.zip). [Accedido: 19-ago-2020].
- 23.- C. Dossche, V. Boel, W. De Corte, P. Van den Heede, y N. De Belie, «A plant based LCA of high-strength prestressed concrete elements and the assessment of a practical ecological variant», *Cem. Concr. Compos.*, vol. 73, pp. 192-202, 2016, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2016.07.011.
- 24.- C. J. Zega y A. A. Di Maio, «Recycled Concretes Made with Waste Ready-Mix Concrete as Coarse Aggregate», *J. Mater. Civ. Eng.*, vol. 23, n.o 3, pp. 281-286, 2011, doi: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000165.
- 25.- Y. Zhang, W. Luo, J. Wang, Y. Wang, Y. Xu, y J. Xiao, «A review of life cycle assessment of recycled aggregate concrete», *Constr. Build. Mater.*, vol. 209, pp. 115-125, 2019, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.03.078.
- 26.- G. M. Cuenca-Moyano, S. Zanni, A. Bonoli, y I. Valverde-Palacios, «Development of the life cycle inventory of masonry mortar made of natural and recycled aggregates», *J. Clean. Prod.*, vol. 140, pp. 1272-1286, 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.10.029.
- 27.- Wrap, Recyclability efficiency metric. Oxford: WRAP, 2008.
- 28.- «República Argentina, First Revision of its Nationally Determined Contribution, Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático». [En línea]. Disponible en: [https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Argentina First/Traducción NDC\\_Argentina.pdf](https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Argentina%20First/Traducción%20NDC%20Argentina.pdf). [Accedido: 18-nov-2020].



# HORMIGÓN RECICLADO CON ARENISCA REACTIVA A LOS ÁLCALIS

## RECYCLED CONCRETE WITH SANDSTONE REACTIVE TO ALKALIS

Claudio J. Zega<sup>1</sup>, Darío D. Falcone<sup>2</sup>, Angel A. Di Maio<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Investigador Adjunto CONICET, LEMIT, [cj.zega@conicet.gov.ar](mailto:cj.zega@conicet.gov.ar)

<sup>2</sup> Profesional Principal CICPBA-LEMIT, [durabilidad@lemit.gov.ar](mailto:durabilidad@lemit.gov.ar)

<sup>3</sup> Profesional CICPBA-LEMIT, [hormigones@lemit.gov.ar](mailto:hormigones@lemit.gov.ar)

### RESUMEN

Uno de los requisitos que debe verificar un agregado natural para su empleo en la elaboración de hormigones está vinculado a la reactividad potencial frente a los álcalis. En el caso de los agregados reciclados provenientes de residuos de hormigón, el cumplimiento de este requisito debería satisfacerse de igual modo. El posible agotamiento de la sílice reactiva en el agregado natural y el consumo de los álcalis aportados por el cemento en el hormigón de origen, sumados a la generación de nuevos planos de fractura en el agregado reciclado y al aporte de álcalis en la nueva matriz, son factores que podrían modificar el desarrollo de la reacción álcali-sílice (RAS) en los hormigones reciclados. En un trabajo anterior se evaluó el comportamiento de hormigones reciclados elaborados con 20 y 50% de agregado grueso reciclado (AGR) respecto al de un hormigón convencional. En este trabajo se analizan las expansiones registradas en dichos hormigones hasta la edad de 156 semanas. Además, se presentan las expansiones de mezclas elaboradas con iguales proporciones de AGR cuando se utilizó un cemento Portland fillerizado, como medida preventiva propuesta para atenuar los efectos deletéreos de la RAS. Se presentan también la resistencia a compresión y el módulo de elasticidad estático de todos los hormigones determinados a las edades de 28 días y 156 semanas.

**Palabras clave:** *agregado grueso reciclado, hormigón reciclado, reacción álcali-sílice, medida preventiva.*

### ABSTRACT

One of the requirements the natural aggregate must satisfied for its use in the production of concrete is related to the potential reactivity against alkalis. For recycled aggregates obtain from crashing waste concretes, this requirement must be satisfied in the same way. The possible exhaustion of the reactive silica in the natural aggregate and the consumption of the alkalis from cement in the source concrete, adding to new fracture plans generated in recycled aggregate and the input of alkalis in the new matrix,

are factors that might modified the alkali-silica reaction (ASR) development in recycled concretes. In a previous paper, expansions recorded up to the age of 52 weeks on specimens of recycled concretes made with 20 and 50% of coarse recycled aggregate (CRA) were contrasted with the performance of a conventional concrete. In this paper, expansions of such concretes recorded up to the age of 156 weeks, are analyzed. In the same way, expansions of concretes made with equal proportions of CRA but using a limestone Portland cement, as proposed preventive action to mitigate the deleterious effect of ASR, are presented. Moreover, compressive strength and static modulus of elasticity of all concretes at the ages of 28 days and 156 weeks are presented.

**Keywords:** *coarse recycled aggregate, recycled concrete, alkali-silica reaction, preventive action.*

## INTRODUCCIÓN

El empleo de hormigón reciclado es una práctica en pleno auge en nuestro país, motivada por el incremento de los volúmenes de hormigones de desecho que se generan, la creciente demanda de hormigón elaborado y la escases de agregados naturales de calidad adecuada para su empleo en hormigones.

La falta de certeza con respecto al comportamiento durable del hormigón reciclado aparece como uno de los mayores limitantes al momento de su empleo. En tal sentido, a partir de algunos resultados informados en la literatura se podría inferir que la durabilidad del hormigón reciclado es inferior a la del hormigón de igual nivel resistente elaborado con agregados naturales, debido a la mayor porosidad del agregado reciclado. Sin embargo, en varios estudios se ha constatado su adecuado desempeño en ambientes agresivos [1-7]. Las diferencias señaladas pueden relacionarse con diferentes factores, como la calidad del agregado reciclado, el tipo de agregado natural que contiene el hormigón de origen, la calidad de la nueva matriz y, fundamentalmente, el mecanismo de transporte o de deterioro involucrado.

Entre los mecanismos de deterioro que pueden afectar la durabilidad del hormigón reciclado, la reacción álcali-sílice (RAS) resulta de particular interés, por cuanto el posible aporte de sílice reactiva y/o álcalis por parte del agregado reciclado genera incertidumbre respecto a la potencialidad de ocurrencia de la RAS. Debido a ello, algunas

normativas restringen el empleo de agregados reciclados que provengan de la trituration de hormigones afectados por dicha reacción [8], mientras que otras consideran su evaluación de igual modo que un agregado natural [9,10].

La potencialidad de reacción de los agregados reciclados frente a los álcalis, incluyendo la evaluación de la eficacia de los métodos inhibidores de la RAS existentes para agregados naturales al ser aplicados a los agregados reciclados, es una temática que ha sido poco abordada en la literatura [11-13]. Se ha indicado que la reactividad del agregado natural del hormigón de origen sigue produciéndose en las mezclas recicladas, con expansiones semejantes a las de las mezclas originales [11,12]. En tal sentido, la formación de gel de reacción en el perímetro de los agregados reciclados debido a la arena natural reactiva del hormigón de origen fue observado por Etxeberria y Vázquez [14]. Shehata et al. [13] han atribuido la elevada expansión de los hormigones reciclados a la generación de nuevas superficies de material reactivo capaz de reaccionar al triturar el hormigón original. Asimismo, el hormigón reciclado requirió una mayor cantidad de adición mineral para mitigar el efecto de la RAS que la habitualmente empleada en el hormigón con agregados naturales de igual naturaleza.

En cuanto a la evaluación de los agregados reciclados frente a la RAS, existen diferentes propuestas que incluyen la modificación de

las condiciones de exposición de los métodos existentes para agregados naturales y la evaluación por separado del mortero y del agregado natural presente en el agregado grueso reciclado (AGR) [12,15]. Barreto Santos et al. [12] señalan que las mayores variaciones en los resultados obtenidos sobre morteros se deben a la fragmentación del AGR, produciendo la pulverización del mortero adherido, lo cual provoca que las características del agregado fino reciclado sean diferentes a las de la fracción gruesa.

Este trabajo tiene por finalidad evaluar la capacidad remanente de reacción frente a los álcalis de un agregado grueso reciclado (AGR) obtenido a partir de la trituración de un hormigón deteriorado por la reacción álcali-sílice (RAS). Se evalúan hormigones reciclados elaborados con 20 y 50% (en volumen) de AGR, empleando distintos tipos de cemento (CPN y CPF) con contenidos de álcalis disímiles. Se comparan las expansiones registradas hasta la edad de 156 semanas, tanto en probetas expuestas a las condiciones de la IRAM 1700 como en probetas gemelas mantenidas en cámara húmeda. Se presentan también resultados de resistencia a compresión y módulo de elasticidad estático de los hormigones a las edades de 28 días y 156 semanas.

## EXPERIENCIAS

### Materiales

Para la elaboración de los hormigones reciclados se empleó un cemento Portland normal (CPN 40) ( $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}} = 0,86\%$ ) y un cemento Portland fillerizado (CPF 40) ( $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}} = 0,73\%$ ). Como

agregado fino se utilizó una arena silíceas natural no reactiva. El agregado grueso natural (AGN) fue una piedra partida granítica, no reactiva. El agregado grueso reciclado (AGR) fue obtenido de la trituración y posterior tamizado (retenido en el tamiz de 4,75mm) de un hormigón cuyo agregado grueso estuvo compuesto por combinación de piedra partida granítica (no reactiva) y arenisca cuarcítica del Chaco (reactiva) en proporciones 90%-10% respectivamente. El bajo porcentaje de cuarcita empleado se debe a que en estudios previos se comprobó que es altamente reactiva frente a los álcalis, generando un efecto “pessimun” con 10% de reemplazo [16]. Las propiedades evaluadas a los agregados naturales y al AGR se presentan en la Tabla 1.

### Desarrollo experimental

Se elaboraron hormigones reciclados con 20 y 50% (en volumen) de AGR, todos ellos de relación agua-cemento 0,42. Cuando se utilizó el CPN se adicionó NaOH en el agua de mezclado a fin de tener un contenido de álcali equivalente en el cemento de 1,25%, mientras que cuando se utilizó el CPF se mantuvo el contenido de álcali propio del cemento. En la Tabla 2 se presentan las proporciones de las mezclas elaboradas con el cemento CPN (HR20-N y HR50-N) y con el cemento CPF (HR20-F y HR50-F), junto con las propiedades determinadas en estado fresco. De esta manera se pretende, por un lado, evaluar la potencialidad de reacción del AGR para diferentes contenidos del mismo, y por otro lado, verificar el comportamiento del AGR al emplear un cemento de uso general (IRAM 50000), considerando la medida prescriptiva de bajar el contenido de

**Tabla 1.** Propiedades de los agregados fino y gruesos.

Propiedad	Arena silícea	AGN		AGR
		Granito	Arenisca	
Módulo de finura	2,70	6,92	6,67	6,64
Densidad ( $\text{kg}/\text{dm}^3$ )	2,64	2,71	2,50	2,54
Absorción (%)	0,3	0,2	1,3	5,1

álcalis en la mezcla (IRAM 1531/2016). En todos los casos, el AGR fue empleado en condición de saturado y superficie seca, a fin de evitar modificación en la consistencia de las mezclas debido a la mayor absorción del mismo.

Con cada una de las mezclas elaboradas se moldearon probetas cilíndricas de 150x300mm para la determinación de la resistencia a compresión y módulo de elasticidad estático y prismáticas de 75x75x300mm destinadas a la evaluación de los cambios de longitud debido a la RAS.

Las probetas permanecieron en los moldes durante 24 horas y luego se almacenaron en cámara húmeda ( $T: 23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ;  $\text{HR} > 95\%$ ) hasta las edades de ensayo (28 días y 156 semanas). A partir de las 24 horas del desmolde, se realizaron las mediciones de las longitudes iniciales en 2 grupos de probetas gemelas de cada uno de los hormigones en estudio (Fotografías 1 y 2). Un grupo fue mantenido en cámara húmeda (Fotografía 3) mientras que el otro fue expuesto a las condiciones especificadas en la Norma IRAM 1700 ( $T: 38^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ) (Fotografía 4). Además, a la edad de 28 días se evaluó la resistencia a compresión y el módulo de elasticidad estático.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 3 se presentan los resultados de resistencia a compresión y módulo de elasticidad estático obtenidos en los hormigones reciclados a la edad de 28 días y 156 semanas. Se informan también los correspondientes desvíos estándar.

A la edad de 28 días, la resistencia a compresión del hormigón HR50-N fue 11% menor que la del hormigón HR20-N, con un incremento del desvío estándar. En el caso del hormigón HR50-F, la resistencia fue igual a la del HR20-F. Asimismo, la resistencia de los hormigones elaborados con el cemento CPF resultó 19 y 33% superior a las de los hormigones HR20-N y HR50-N respectivamente, mientras que los desvíos estándar fueron similares al del HR20-N. Lo que habitualmente sucede con un agregado natural reactivo se produjo también en este caso para un agregado reciclado reactivo, donde la mayor disponibilidad de álcalis de los hormigones con CPN ( $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}} = 5,25\%$ ) resultó determinante en el desarrollo de la reacción álcali-sílice, hecho que se evidenció en mayor medida cuando se empleó 50% de AGR reactivo.

**Tabla 2.** Proporciones ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) y propiedades en estado fresco de las mezclas.

Materiales	Hormigones			
	HR20-N	HR50-N	HR20-F	HR50-F
Agua	176	176	176	176
Cemento CPN 40	420	420	420	420
Agregado fino	697	697	697	697
AGN (Granito No reactivo)	875	545	875	545
AGR	201	503	201	503
Álcalis $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$	5,25	5,25	3,07	3,07
Propiedades en estado fresco				
Asentamiento (mm)	150	130	150	170
PUV ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	2399	2357	2392	2343
Aire incorporado (%)	2,5	3,6	2,6	3,5

**Tabla 3.** Propiedades de los hormigones en estado endurecido.

Hormigón	Edad de evaluación	Resistencia a compresión (MPa)	Módulo de elasticidad estático (GPa)
HR20-N	28 días	32,9 (1,7)	32,0 (1,6)
HR50-N		29,2 (5,2)	30,8 (0,2)
HR20-N	156 semanas	41,0 (4,6)	28,6 (13,6)
HR50-N		35,1 (7,1)	22,5 (7,3)
HR20-F	28 días	39,2 (2,3)	35,7 (1,1)
HR50-F		38,9 (2,2)	34,3 (0,4)
HR20-F	156 semanas	49,9 (1,3)	40,7 (2,2)
HR50-F		48,1 (3,6)	34,4 (5,8)

**Fotografía 1:** Medición del cambio de longitud debido a la RAS en probetas almacenadas según IRAM 1700.**Fotografía 2:** Medición del cambio de longitud debido a la RAS en probetas almacenadas en cámara húmeda.





**Fotografía 3:** Cámara húmeda (T: 23±2° C; HR >95%).

30



**Fotografía 4:** Cámara para curado a 38° C (IRAM 1700).

A la edad de 156 semanas todos los hormigones mostraron un incremento de la resistencia a compresión con respecto a la determinada a los 28 días. En aquellos elaborados con CPN el incremento fue del 25 y 20% para el HR20-N y HR50-N respectivamente, acompañado de un incremento del desvío estándar. En el caso de los

hormigones con CPF los incrementos de resistencia fueron del 27 y 24% para el HR20-F y HR50-F respectivamente, siendo el desvío estándar algo superior para el HR50-F. Al comparar los distintos cementos utilizados, se mantiene la tendencia observada a los 28 días, con un incremento de la resistencia en los hormigones con CPF, respecto a los de CPN, del 22 y 37% para 20 y 50% de AGR. La menor resistencia a compresión que presentaron los hormigones con CPN, sumado a sus mayores desvíos estándar, debe asociarse a una mayor evolución de la RAS en dichos hormigones.

Con relación al módulo de elasticidad estático a la edad de 28 días, se observó una leve disminución (~4%) del mismo en los hormigones con 50% de AGR, respecto a los elaborados con 20%, para ambos tipos de cementos utilizados. Este hecho debe ser atribuido en parte a un mayor desarrollo de la RAS, pero fundamentalmente al mortero adherido que poseen las partículas del agregado reciclado, el cual le otorga una menor rigidez que el agregado grueso natural empleado, tal como ha sido verificado en estudios previos [17-20].

Los valores del módulo de elasticidad a la edad de 156 semanas en los hormigones con CPN resultaron menores que los determinados a los 28 días, siendo dicha disminución del 11 y 27% para el HR20-N y HR50-N respectivamente. Además, los desvíos estándar se incrementaron con respecto a los de 28 días. Ambos hechos se encuentran asociados a un mayor desarrollo de la reacción álcali-sílice a medida que se incrementa el contenido de AGR, y por lo tanto el contenido de sílice reactiva. En el caso de los hormigones con CPF, el módulo de elasticidad resultó 14% mayor para el HR20-F y de igual valor para el HR50-F, en comparación con los obtenidos a 28 días, aunque los desvíos estándar resultaron en ambos casos superiores. Si bien la disponibilidad de álcalis en este caso es menor que en los hormigones con CPN, el contenido de álcalis del CPF no es despreciable y ante una mayor disponibilidad de sílice reactiva aumenta la posibilidad de que la reacción prospere. De este modo, el cambio experimentado en el módulo de



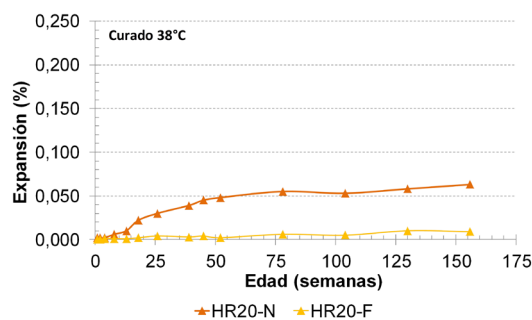
elasticidad será función de la preponderancia que adquieran dos efectos contrapuestos, dados por un lado por el incremento de resistencia con la edad del hormigón, y por otro por la mayor deformabilidad debido a un desarrollo de la RAS más avanzado como consecuencia del mayor contenido de AGR reactivo.

En la Figura 1 se presentan las expansiones registradas hasta las 156 semanas en los hormigones HR20-N y HR20-F expuestos a 38°C. En la Figura 2 se hace lo propio con las expansiones de los hormigones HR50-N y HR50-F

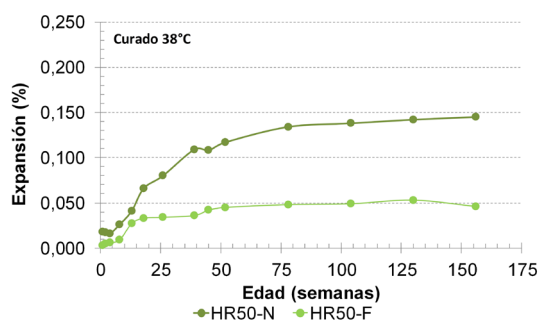
La evaluación de las expansiones según IRAM 1700 nos permite determinar la potencial reactividad de un agregado. En experiencias anteriores se utilizó un agregado grueso natural compuesto por un 10% de arenisca cementada con ópalo y calcedonia y un 90% de roca granítica. El hormigón elaborado con este conjunto de agregados presentó una expansión a las 52 semanas de 0,208% [21], pudiéndoselo calificar como altamente reactivo (expansión  $>0,120\%$  - IRAM 1531, Anexo B), con lo cual se deberían tomar medidas preventivas frente a la reacción álcali-sílice.

En el caso de los hormigones reciclados HR20-N y HR50-N motivo de este estudio, las expansiones registradas a las 52 semanas fueron de 0,048 y 0,117% respectivamente (Figuras 1 y 2). Estos resultados indican que el agregado conformado por 20% AGR – 80% granito debe ser considerado como moderadamente reactivo ( $0,040\% < \text{expansión} < 0,120\%$  - IRAM 1531, Anexo B), mientras que el conformado por 50% AGR – 50% granito se lo debe considerar como altamente reactivo (expansión  $\approx 0,120\%$ ). De este modo, las medidas preventivas de carácter prescriptivo serán de distinta exigencia según el contenido de AGR a emplear.

Se analizan a continuación dos casos referidos a la adopción de medidas preventivas desde el punto de vista prescriptivo, según lo establecido en la norma IRAM 1531/2016, a partir de considerar



**Figura 1:** Expansiones de hormigones con 20% de AGR evaluados según IRAM 1700.



**Figura 2:** Expansiones de hormigones con 50% de AGR evaluados según IRAM 1700.

distintos porcentajes de uso del AGR.

- Caso 1:

Categoría de la estructura: Elementos de fácil reemplazo, riesgo asociado bajo (S1)

Composición del agregado: 20% AGR – 80% granito

Grado de reactividad: Moderadamente reactivo

Nivel de riesgo: grado 3

Nivel de prevención: A

Se acepta el agregado sin necesidad de adoptar medidas de acción preventivas. Es necesario, sin embargo, asegurar mediante controles periódicos que la reactividad del agregado

extraído no haya cambiado. En este caso, la medida adoptada fue verificada por los valores de expansión determinados, más allá que dicha medida prestacional no está indicada en la norma IRAM 1531/2016.

- Caso 2:

Categoría de la estructura: Elementos de fácil reemplazo, riesgo asociado bajo (S1)

Composición del agregado: 50% AGR – 50% granito

Grado de reactividad: Altamente reactivo

Nivel de riesgo: grado 4

Nivel de prevención: B

Se acepta el agregado adoptando medidas de acción preventivas. Si se adopta limitar el contenido de álcalis en el hormigón, el mismo debería ser menor que  $3,0 \text{ Kg/m}^3$  y se debería evaluar el agregado según lo establecido en la norma IRAM 1531. Para verificar el contenido de álcalis del hormigón, se procede como se indica en el ejemplo siguiente:

- Contenido de cemento del hormigón =  $420 \text{ kg/m}^3$
- Contenido total de álcalis del cemento, expresado en  $\text{Na}_2\text{O}$  equivalente =  $0,73\%$
- Desviación estándar del contenido de álcalis del cemento = se adopta  $0,05\%$ , por no tener información.
- Contenido máximo de álcalis en el hormigón aportados por el cemento =  $3,0 \text{ kg Na}_2\text{Oeq./m}^3$

Con estos datos es posible calcular el contenido máximo de álcalis del cemento:

$$\left( \frac{3,0 \text{ kg Na}_2\text{Oeq./m}^3}{420 \text{ kg/m}^3} \cdot 100 \right) - 0,05\% = 0,66\%$$

Dado que el contenido de álcalis del cemento de uso general empleado ( $0,73\%$ ) es mayor que el máximo admitido ( $0,66\%$ ), el contenido de álcalis del hormigón no cumple con el valor límite requerido, siendo del orden del  $10\%$  mayor. Si se analizan las expansiones obtenidas con dicha combinación de agregados y el cemento CPF,

se observa que las mismas superan el límite especificado a las 52 semanas, en el orden del  $12\%$ , habiendo coincidencia entre ambas maneras de evaluar la medida preventiva.

Si el destino del agregado AGR es utilizarlo en estructuras catalogadas como de riesgo normal (S2 - La mayor parte de las construcciones y estructuras de ingeniería civil con vida útil en servicio prevista entre 5 y 75 años), la medida preventiva a adoptar debería ser más exigente.

A la edad de 156 semanas los hormigones con CPN alcanzaron valores de expansión de  $0,063$  y  $0,145\%$  para el HR20-N y HR50-N respectivamente, hecho que evidencia una continuidad en el proceso de reacción, aunque mucho más paulatino que a edades tempranas. En las Fotografías 5 y 6 se observan geles y fisuración características de las RAS. En el caso de los hormigones en los cuales se utilizó un cemento comercial de uso general (CPF 40), sin la adición extra de álcalis, las expansiones de las probetas expuestas a  $38^\circ\text{C}$  a la edad de 156 semanas fueron de  $0,009\%$  y  $0,046\%$  para el HR20-F y HR50-F respectivamente.

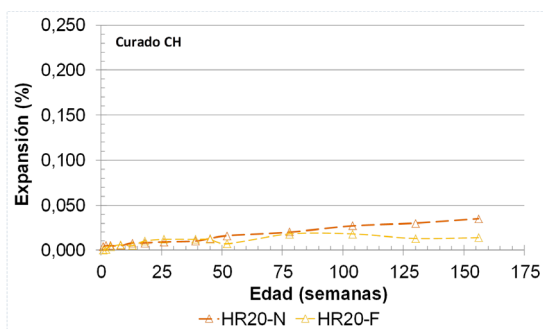
En la Figura 3 se presentan las expansiones correspondientes a los hormigones con  $20\%$  de AGR, elaborados con CPN y CPF, mantenidos en cámara húmeda. En la Figura 4 se hace lo propio para los hormigones con  $50\%$  de AGR.

En el caso de las probetas que permanecieron en cámara húmeda (Figuras 3 y 4), las expansiones a 52 semanas en los hormigones con CPN fueron de  $0,016$  y  $0,043\%$ , y en los hormigones con CPF de  $0,007$  y  $0,029\%$ , para reemplazos del  $20$  y  $50\%$  de AGR respectivamente en cada caso. Hasta la edad de 156 semanas, los hormigones con CPN presentaron una expansión de  $0,035\%$  (HR20-N) y  $0,112\%$  (HR50-N), mientras que para los elaborados con el cemento CPF las expansiones fueron de  $0,014\%$  (HR20-F) y  $0,029\%$  (HR50-F). Las expansiones registradas a las 52 semanas en las probetas de los hormigones HR-N expuestas en cámara húmeda resultaron del orden de  $1/3$  de

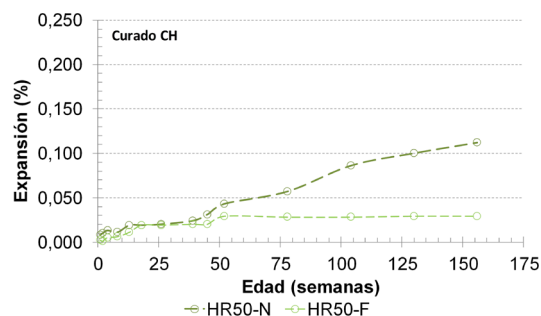
las registradas en las muestras expuestas a 38°C. Cuando se consideran las expansiones a la edad de 156 semanas, las diferencias señaladas resultan de menor magnitud, evidenciando que la temperatura es un factor que modifica la cinética de la reacción pero no así los daños generados en el tiempo.



**Fotografía 5:** Geles y fisuración características de las RAS observados en probetas de hormigón reciclado.



**Figura 3:** Expansiones de hormigones con 20% de AGR estacionados en cámara húmeda.



**Figura 4:** Expansiones de hormigones con 50% de AGR estacionados en cámara húmeda.

## CONCLUSIONES

En este trabajo se evaluó el desarrollo de la reacción álcali-sílice (RAS) durante 156 semanas en hormigones reciclados elaborados con dos tipos de cemento Portland (CPN: 5,25 kg/m<sup>3</sup> de álcalis y CPF: 3,07 kg/m<sup>3</sup> de álcalis). Los hormigones fueron elaborados con 20 y 50% de agregado grueso reciclado (AGR) proveniente de la trituración de un hormigón dañado por RAS, el cual contenía un 10% de arenisca del Chaco reactiva como agregado grueso. Los resultados obtenidos permiten indicar que:

- La resistencia a compresión y el módulo de elasticidad estático de los hormigones reciclados resultan más afectados por el desarrollo de la RAS conforme aumenta el contenido de AGR y/o el de álcalis totales. Dicho comportamiento fue observado a la edad de 28 días como también a las 156 semanas.
- Si bien los valores de expansión registrados a las 52 semanas en las probetas a 38°C permitirían caracterizar al AGR como potencialmente reactivo o altamente reactivo, según se emplee 20 o 50% de reemplazo, al emplear un cemento de uso general no se observó un mayor desarrollo de la reacción más allá de las 52 semanas.
- La medida preventiva adoptada es apta para ser

utilizada en estructuras de bajo nivel de riesgo (elementos temporarios con vida útil en servicio requerida menor o igual a 5 años y elementos de fácil reemplazo).

- Al exponer las probetas en un ambiente húmedo, pero con menor temperatura (23°C), solamente en el caso del hormigón con 50% de AGR y elaborado con el cemento CPN se evidenció un notable desarrollo de la reacción, alcanzando a las

156 semanas un valor de expansión de 0,120%.

### Agradecimientos

Los autores agradecen a Alejandro Pittori (Técnico Principal CICPBA-LEMIT) por su colaboración en la caracterización de los agregados utilizados y a la ANPCyT por el financiamiento a través del proyecto PICT2015-3339.

### REFERENCIAS

- 1.- Gonçalves, A., Esteves, A., Vieira, M., "Influence of recycled concrete aggregates on concrete durability", International RILEM Conference "The use of recycled materials in building and structures", Barcelona, Spain. Ed. E. Vázquez, Ch.F. Hendriks y G.M.T. Janssen, RILEM; (2004), 554-562.
- 2.- Otsuki, N., Miyazato, S., Yodsudjai, W., "Influence of recycled aggregate on interfacial transition zone, strength, chloride penetration and carbonation of concrete", Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 15, N° 5, (2003), 443-451.
- 3.- Levy, S.M., Helene, P. "Durability of recycled aggregates concrete: a safe way to sustainable development", Cement and Concrete Research, Vol. 34, N° 11, (2004), 1975-1980.
- 4.- Zega, C.J., Fornasier, G., Ponce, M., Di Maio, A.A., "Hormigones reciclados expuestos a ciclos rápidos de congelación y deshielo", Hormigón, N° 41, (2005), 53-61.
- 5.- Villagrán-Zaccardi, Y.A., Zega, C.J., Di Maio, A.A., "Chloride Penetration and Binding in Recycled Concrete", Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 20, N° 6, (2008), 449-455.
- 6.- Zega CJ, Dos GSC, Villagrán-zaccardi YA, Maio AA Di. Performance of recycled concretes exposed to sulphate soil for 10 years. Constr Build Mater, Vol. 102, (2016), 14–21. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.11.025>.
- 7.- Zega, C.J., Di Maio, A.A. (2009) "Recycled concrete made with different natural coarse aggregates exposed to high temperature". Construction and Building Materials, Elsevier, Vol. 23, N° 5, pp. 2047-2052.
- 8.- EHE-08. Instrucción de Hormigón Estructural. Anejo 15, Recomendaciones para la utilización de hormigones reciclados; (2008). ([www.fomento.es](http://www.fomento.es))
- 9.- BS EN 12620:2002. Aggregates for concrete. European Committee for Standardization.
- 10.- DIN 4226-100:2002-02. Aggregates for mortar and concrete, Part 100: recycled aggregates. Deutsche Norm, (2002), 18p.

- 11.- Sota, J., Falcone, D., Batic, O., "Hormigones con agregados de hormigón reciclado afectado por RAS", 16° Reunión Técnica de la AATH, Mendoza, Argentina, (2006), 7-13.
- 12.- Barreto Santos, M., de Brito, J., Santos Silva, A., "Métodos de evaluación de las reacciones álcali-sílice en hormigones con áridos reciclados", Revista Ingeniería de Construcción, Vol. 24, N° 2, (2009), 141-152.
- 13.- Shehata, M.H., Christidis, C., Mikhaiel, W., Rogers, C., Lachemi, M., "Reactivity of reclaimed concrete aggregate produced from concrete affected by alkali-silica reaction", Cement and Concrete Research, Vol. 40, (2010), 575-582.
- 14.- Etxeberria, M., Vázquez, E., "Reacción álcali-sílice en el hormigón debido al mortero adherido del árido reciclado", Materiales de Construcción, Vol. 60, 297, (2010), 47-58.
- 15.- Shehata, M.H., Johnson, R., "The efficacy of accelerated test methods to evaluate Alkali Silica Reactivity of recycled concrete aggregates", Construction and Building Materials, Vol. 112, (2016), 518-528.
- 16.- Batic, O., Cortelezzi, C., Pavlicevic, R. y Traversa, L., "Caracterización tecnológica de las areniscas cementadas con calcedonia y opalo del noroeste de la provincia del Chaco, República Argentina", 12° Reunión Técnica de la AATH, La Plata, Argentina, (1995), 191-197.
- 17.- Zega, C.J., Taus, V.L., Villagrán Z., Y.A., Di Maio, A.A., "Comportamiento físico-mecánico de hormigones sometidos a reciclados sucesivos", Simposio fib El Hormigón Estructural y el Transcurso del Tiempo, La Plata, Argentina, (2005), 761-768.
- 18.- Zega, C.J., Taus, V.L., Di Maio, A.A., "Comportamiento físico-mecánico de hormigones reciclados elaborados con canto rodado", Boletín Técnico IMME, Vol. 44, N° 3, (2006), 17-26.
- 19.- Zega, C.J., Di Maio, A.A., "Efecto del agregado grueso reciclado sobre las propiedades del hormigón", Boletín Técnico IMME, Vol. 45, N° 2, (2007), 1-11.
- 20.- Zega, C.J., Falcone, D.D., Di Maio, A.A., "Elaboración de hormigones reciclados empleando restos de hormigones de corte", III Congreso Internacional y 17° Reunión Técnica de la AATH, Córdoba, (2008), 23-30.
- 21.- Zega, C.J., Falcone, D.D., Di Maio, A.A., "Desarrollo de la reacción álcali-sílice en hormigones con agregados reciclados", VII Congreso Internacional y 21° Reunión Técnica de la AATH, Salta, (2016), 365-372.





# TRATAMIENTOS SUPERFICIALES CON POTENCIAL APLICACIÓN EN CONSTRUCCIONES DE HORMIGÓN DE IMPORTANCIA PATRIMONIAL

## SURFACE TREATMENTS WITH POTENTIAL APPLICATION IN CONCRETE CONSTRUCTIONS OF HERITAGE IMPORTANCE

M. Verónica Correa<sup>1</sup>, Silvia E. Rastelli<sup>2</sup>, Anahí López<sup>3</sup>, Vilma G. Rosato<sup>†4</sup>, Sandra G. Gómez de Saravia<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Investigadora Asistente CIC, LEMIT. [mavecorrea@hotmail.com](mailto:mavecorrea@hotmail.com)

<sup>2</sup> Profesional Adjunto CONICET, CIDEPINT. [e.rastelli@cidepint.ing.unlp.edu.ar](mailto:e.rastelli@cidepint.ing.unlp.edu.ar)

<sup>3</sup> Investigadora Asistente CIC, LEMIT. [colores@lemit.gov.ar](mailto:colores@lemit.gov.ar)

<sup>†4</sup> Investigadora Adjunta CONICET, LEMIT.

<sup>5</sup> Investigadora Independiente CIC, CIDEPINT. [s.gomez@cidepint.ing.unlp.edu.ar](mailto:s.gomez@cidepint.ing.unlp.edu.ar)

### RESUMEN

Las microalgas pueden crecer y desarrollar biopelículas sobre diferente tipo de construcciones, pudiendo afectarlas estéticamente y provocar su deterioro superficial. En este trabajo se evaluó el efecto alguicida de diferentes tratamientos superficiales para prevenir la formación de biopelículas fototróficas en superficies de hormigón. Las superficies fueron tratadas utilizando solución de base acuosa sólo con tensioactivos (papeta) y adicionada con timol al 1% y al 2 %. El efecto alguicida se evaluó sobre papel de filtro y probetas de hormigón, dejándose en ambos casos, un set de muestras control, sin tratamiento. El inóculo utilizado en los ensayos fue una comunidad de algas, aislada de construcciones de hormigón. Las muestras se rociaron con una solución de la comunidad en una concentración de  $\approx 4.106$  algas mL<sup>-1</sup>. Posteriormente, fueron incubadas bajo condiciones controladas de fotoperíodo y temperatura (16:8 h de luz: oscuridad, 25°C) durante 28 días, registrándose resultados parciales de las observaciones semanalmente. Todos los tratamientos empleados inhibieron el crecimiento algal tanto en los ensayos de papel de filtro como en las probetas de hormigón. Estos tratamientos superficiales serían potencialmente útiles para realizar limpiezas que impidan la formación de biopelículas fototróficas sobre edificaciones históricas.

**Palabras clave:** Hormigón, tratamiento superficial, timol, biopelículas fototróficas.

### ABSTRACT

Microalgae can grow and develop biofilms on different types of buildings, being able to aesthetically affect them and cause their surface deterioration. In this work, the algicidal effect of different surface treatments was evaluated to prevent the formation of phototrophic biofilms on concrete surfaces. The

*Trabajo presentado en el IX Congreso Internacional y 23a Reunión Técnica de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón, "A 73 años de la Primera Conferencia del Hormigón en Argentina", La Plata, 2020.*

surfaces were treated using aqueous-based solution only with surfactants (paper) and added with 1% and 2% thymol. The algicidal effect was evaluated on filter paper and concrete specimens, leaving in both cases a set of control samples, without treatment. The inoculum used in the tests was a community of algae, isolated from concrete constructions. The samples were sprayed with a community solution at a concentration of  $\approx 4,106$  algae mL<sup>-1</sup>. Subsequently, they were incubated under controlled photoperiod and temperature conditions (16:8 h light: dark, 25°C) for 28 days, recording partial results of the observations weekly. All the treatments used inhibited algal growth both in filter paper tests and in concrete specimens. These surface treatments would be potentially useful for cleaning that prevents the formation of phototrophic biofilms on historical buildings.

**Keywords:** Concrete, surface treatment, thymol, phototrophic biofilms.

## INTRODUCCIÓN

La mayoría de las construcciones del patrimonio arquitectónico está en riesgo, no sólo por los daños causados por el paso del tiempo y la exposición a distintas condiciones ambientales, sino también por las alteraciones producidas por la colonización microbiana (bacterias heterótrofas, cianobacterias, algas y hongos) sobre la superficie.

Los microorganismos se consideran agentes potenciales del biodeterioro [1] del patrimonio cultural, ya que sobre las paredes de muchos monumentos y obras de arte desarrollan biopelículas, que se definen como comunidades estructuradas de microorganismos protegidos por una matriz de exopolisacáridos [2-3]. La colonización de las paredes por microorganismos se puede observar incluso poco tiempo después de finalizada la construcción de un edificio [4]. La estética de la fachada suele verse alterada por la aparición de manchas de diferentes colores (verdes, rojas o negras), y el impacto visual generado por el cambio de color está relacionado a la cercanía de la observación realizada en la inspección visual [5]. Las observaciones microscópicas han demostrado que estas manchas antiestéticas están vinculadas principalmente con el desarrollo de microalgas en la superficie [6]. Por lo tanto, la limpieza es un importante recurso para la conservación de edificios y estructuras de piedra.

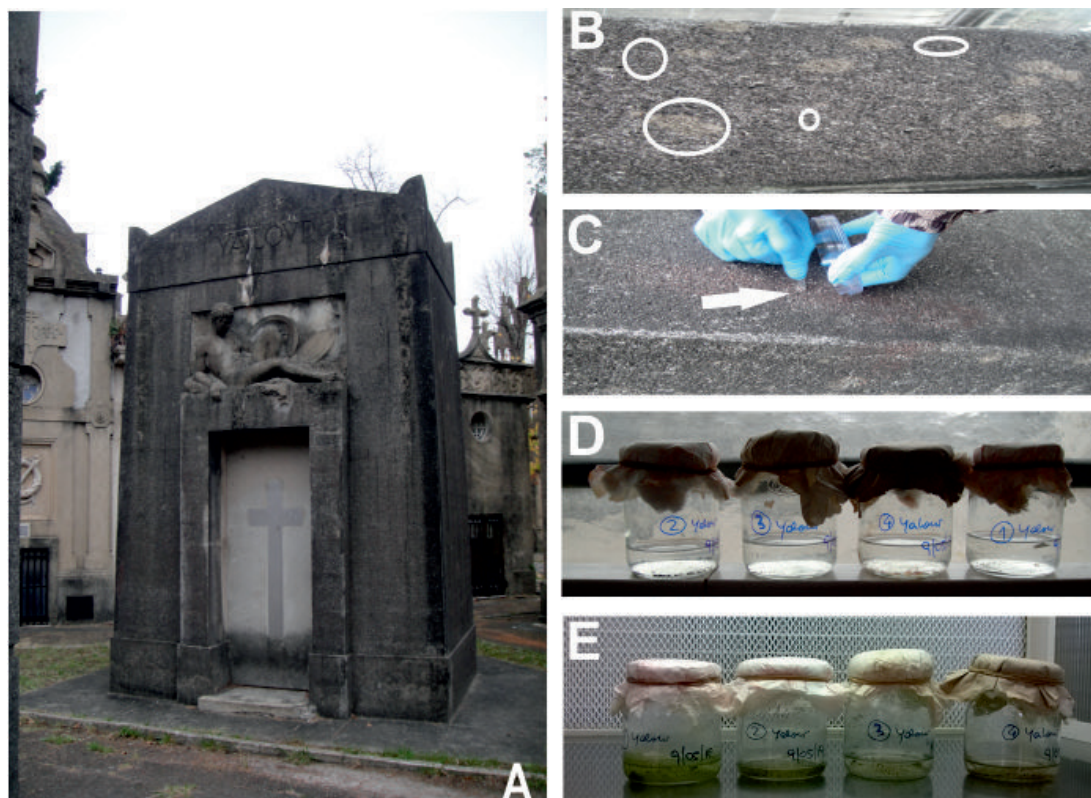
Tradicionalmente, el control del biodeterioro se basa en la aplicación de productos químicos

(biocidas). Sin embargo, estos productos tienen limitaciones debido a sus impactos negativos en el medio ambiente, salud humana y sustratos tratados. Aunque bien establecida en ciencias agrícolas, la búsqueda de alternativas ecológicas, como el uso de productos naturales de origen vegetal, en el área del biodeterioro de materiales aún es escasa [7]. Por este motivo, en este trabajo se utilizó timol, un compuesto fenólico que puede encontrarse en aceites esenciales aislados de hierbas y especias y que exhibe propiedades antibacterianas y antifúngicas [8-10].

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ensayos biológicos

Las muestras de las comunidades microalgales fueron obtenidas de biopelículas de un monumento de importancia patrimonial ubicado en el cementerio municipal de la Ciudad de La Plata, Prov. de Buenos Aires, Figura 1 A y B. Se colectaron 4 muestras de biopelículas con la ayuda de bisturíes estériles, raspando suavemente la superficie, Figura 1 C [11]. Las muestras se colocaron en cajas de Petri estériles y fueron selladas con papel parafilm para su transporte al laboratorio. Cada muestra se sembró en un frasco con 50 mL de medio BG-11 líquido [12] (Figura 1 D) y se incubaron a  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  con fotoperiodo de 16:8 h (luz:oscuridad), hasta que se observó crecimiento, Figura 1 E.



**Figura 1.** Recolección de biopelícula. A: Monumento seleccionado. B: Paredes del monumento donde se aprecia el cambio de coloración de la superficie (círculos). C: Toma de muestra mediante raspado. D: Siembra de muestras en medio BG11 líquido. E: Crecimiento algal luego de 28 días de incubación.

### Tratamientos superficiales

Las superficies fueron tratadas utilizando “papeta” (solución de base acuosa compuesta por bicarbonato de amonio 0,38 M; bicarbonato de sodio 0,6 M; EDTA sal bisódica 0,085 M; 20-Polioxietilensorbitano Monolaurato Polisorbato, 1% y carboximetilcelulosa 6% disueltos en agua destilada) [13] sólo con tensioactivos (PS) y adicionada con timol al 1% (T1%) y al 2% (T2%). En trabajos previos hemos observado la eficiencia de la “papeta” como método de limpieza [14]. El timol<sup>1</sup> se encuentra entre los compuestos incluidos como aditivos alimentarios para el consumo humano aceptado por la Administración de Drogas y Alimentos de los Estados Unidos (FDA).

Se lo considera como parte de las sustancias generalmente reconocidas como seguras (GRAS). La Oficina de Programas de Plaguicidas de EE. UU. establece que el timol tiene una toxicidad potencial mínima y presenta un riesgo mínimo, ya que se encuentra clasificado como Grado III. Esta decisión se basó en los resultados de estudios de laboratorio en animales que indican la baja toxicidad del timol, la presencia de timol en la dieta humana normal, en otros productos de consumo no pesticidas y en la extensa historia de uso de timol sin efectos adversos conocidos para la salud humana o el medio ambiente, lo posiciona como un compuesto seguro para el tratamiento y la prevención del biodeterioro de materiales [15-17]. El efecto alguicida de la “papeta” sola y con timol

<sup>1</sup> En nuestro país no se encuentra incluido en libro sobre *Químicos prohibidos y restringidos en Argentina*, editado por el Ministerio de Salud de la Nación, 2013. ISBN 978-950-38-0159-8.



se evaluó sobre cuadrados de papel de filtro (2,5 cm de lado) y probetas cilíndricas de hormigón producto de desecho (5 cm de diámetro y 5,5 cm de alto). El acondicionamiento de la superficie consistió en la aplicación, con pincel, de tres capas del tratamiento a evaluar sobre el papel de filtro y sobre las probetas de hormigón, una en sentido vertical, una en sentido horizontal y otra en sentido oblicuo, dejando secar entre cada aplicación. Las muestras así tratadas se dejaron secar durante 7 días, se esterilizaron con luz UV (30 min.) y posteriormente, se inocularon en forma de rociado con una solución de la comunidad de algas en una concentración de  $\approx 4.106$  algas mL<sup>-1</sup>. Se colocaron tres papeles de filtro por cada tratamiento en cápsulas de Petri con agar BG11 [12]. Las probetas de hormigón se colocaron en frascos de vidrio que se cerraron con papel film. Todos los tratamientos se realizaron por duplicado, dejándose un set de muestras sin tratamiento como control del crecimiento algal. Todas las muestras se incubaron bajo condiciones controladas de fotoperíodo y temperatura (16:8 h de luz:oscuridad,  $25 \pm 1$  °C) durante 28 días, registrándose semanalmente resultados parciales de los ensayos. Las muestras se observaron bajo microscopio óptico (MO) (Olympus BX51), microscopio electrónico de

barrido (MEB) y barrido ambiental (MEBA) (FEI Quanta 200).

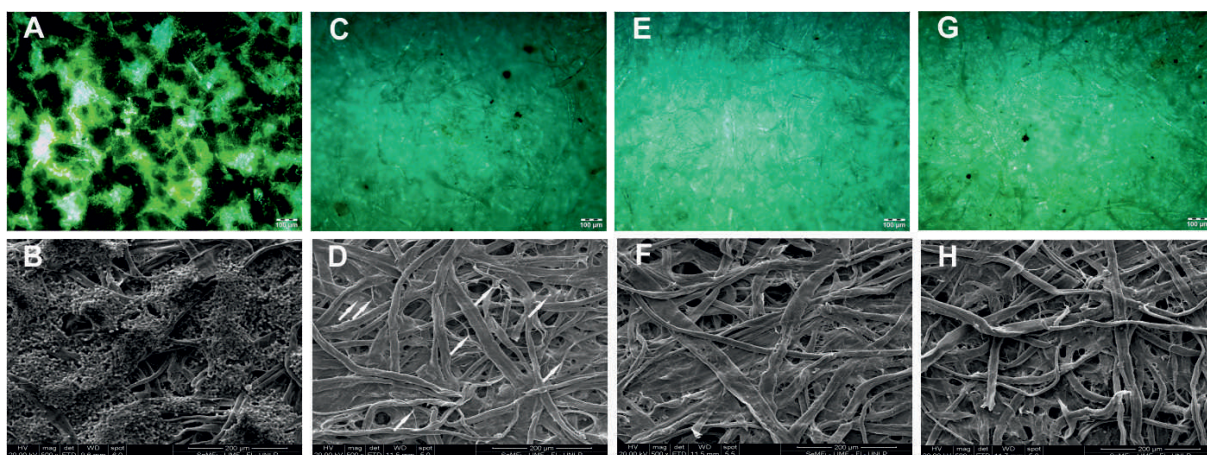
## RESULTADOS y DISCUSIÓN

### Tratamiento superficial en el papel

Inicialmente, se probó el efecto de los tratamientos sobre el papel de filtro. En las muestras control de papel se observó crecimiento de la comunidad algal en un 100% de la superficie inoculada, Figura 2 A y B. Las muestras cuya superficies fueron tratadas con PS mostraron pequeños focos de crecimiento algal, Figura 2 C y D. Las muestras cuyas superficies fueron tratadas con T1% y T2% mostraron una muy marcada inhibición del crecimiento algal, Figura 2 E-H.

### Tratamiento superficial en el hormigón

En la Figura 3 se muestran las superficies de las probetas de hormigón observadas en el MEBA. En las probetas cuyas superficies no recibieron ningún tratamiento se observó el crecimiento de la comunidad algal inoculada, Figura 3 A y B. Respecto de lo observado sobre los papeles de filtro, en las probetas cuyas superficies se trataron

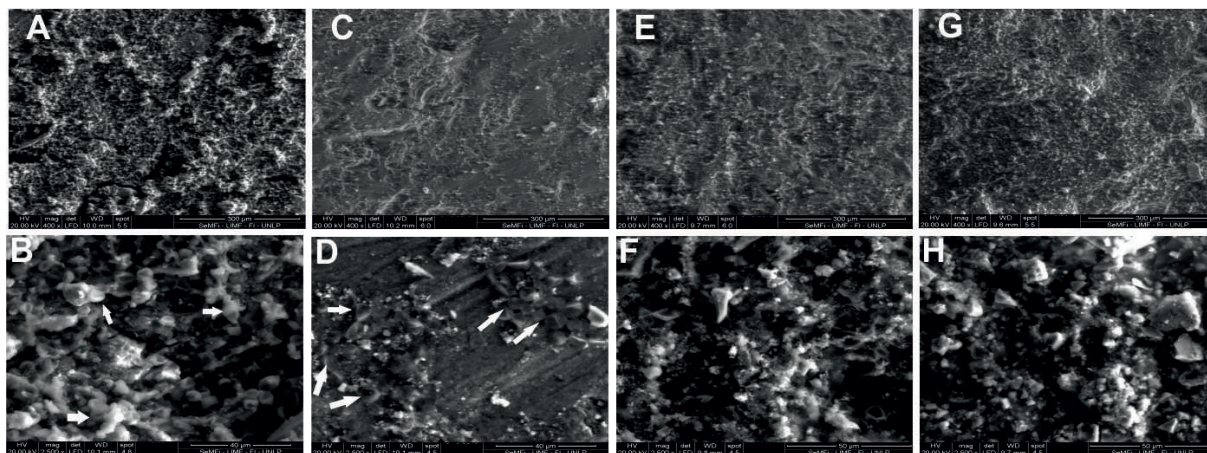


**Figura 2.** Fotomicrografías de los tratamientos superficiales en papel. A: Superficie de papel sin tratamiento que muestra estar totalmente colonizada por algas (MO), al igual que en B (MEB). C: Superficie de papel tratada con PS, muestra pequeños focos de colonización algal (MO) al igual que en D (flechas blancas, MEB). E: Superficie tratada con T1%, se observa inhibición del crecimiento (MO) al igual que en F (MEB). G: Superficie tratada con T2 % se observa inhibición del crecimiento (MO) al igual que en H (MEB).

con PS también se detectó crecimiento algal, Figura 3 C y D. En cambio, las probetas cuyas superficies fueron tratadas con T1% y T2% mostraron muy marcada inhibición del crecimiento algal, Figura E-H, indicando una buena efectividad biocida del timol.

La presencia de biopelículas fototróficas es común en materiales de construcción expuestos a condiciones de elevada humedad e iluminación. La porosidad, rugosidad y composición mineral del material, son características que también influyen en la formación de estas biopelículas [18]. La rugosidad aumenta la adherencia, la retención y, por lo tanto, el crecimiento de microorganismos. La porosidad alta promueve la retención de agua después de cualquier forma de humidificación. Finalmente, la composición mineral del material de la superficie juega un papel importante en la bioreceptividad, ya que puede favorecer la colonización, proporcionando una fuente de nutrientes (calcita y sílice componentes del sustrato cementíceo), evitando la colonización debido, por ejemplo, a su alto valor de pH (pH de materiales cementíceos antes de su carbonatación) o a la presencia de iones

metálicos [19-20]. El tratamiento de las superficies de hormigón con la papeta adicionada con timol 1% logró inhibir completamente el crecimiento de la biopelícula fototrófica. La actividad biocida del timol es atribuida principalmente a la acción de su estructura fenólica. Este compuesto actúa sobre la membrana citoplasmática produciendo su desorganización estructural, lo que conduce a una falla en la permeabilidad celular [21]. Las sustancias utilizadas durante mucho tiempo como antisépticos naturales, como los aceites esenciales o los derivados de plantas, tienen un poder de conservación natural para los alimentos y se utilizan también en el campo del tratamiento y prevención del biodeterioro, sus dosis de aplicación son más seguras en comparación con muchos biocidas químicos tradicionales [22-23]. Uno de los componentes de estos aceites esenciales derivados de plantas es el timol que forma parte naturalmente de frutas cítricas y hierbas usadas como condimentos, también se encuentra entre los compuestos incluidos como aditivos alimentarios para el consumo humano [24-26]. Recientemente Bruno y colaboradores (2019), evaluaron la eficacia de dos aceites esenciales de diferentes herbáceas que contienen timol que fueron



**Figura 3.** Fotomicrografías de MEBA de los tratamientos superficiales en probetas de hormigón. A: Superficie sin tratar colonizada por algas. B: Detalle de la fotomicrografía A, se observan microorganismos (señalados con flechas blancas). C: Superficie de las probetas tratadas con PS, se observa el crecimiento de microalgas. D: Detalle de la microfotografía C, se destaca la presencia de crecimiento de microalgas señalados con flechas blancas. E: Superficie de las probetas de hormigón tratadas con T1 %. F: Detalle de microfotografía E, no se observa crecimiento algal. G: Superficie de las probetas de hormigón tratadas con T2 %. H: detalle de la microfotografía G, no se observa crecimiento algal.

utilizados para inhibir el desarrollo en tres cepas de microorganismos que comúnmente forman biopelículas [27].

## CONCLUSIONES

Los tratamientos superficiales propuestos, la solución de base acuosa con tensioactivos solamente o adicionada con timol 1% o con timol al 2%, cumplen con uno de los principios de la intervención en la conservación del patrimonio que es la reversibilidad, ya que todos sus componentes son solubles en agua y por ende fácilmente removibles. Los resultados demostraron que los tratamientos que tuvieron timol (1% y 2%) fueron más eficientes para inhibir el desarrollo de las biopelículas fotosintéticas sobre las superficies

tratadas que la solución de base acuosa con tensioactivos.

En virtud de los resultados obtenidos estos tratamientos serían de gran utilidad para prevenir la formación de biopelículas fototróficas en edificios de importancia arquitectónica o patrimonial fabricados con hormigón, independientemente de las propiedades de dicho material.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Nacional de la Plata (Proyecto de Incentivos 11/ I201) y CONICET (PUE 2018) por los subsidios recibidos para financiar las investigaciones.

## REFERENCIAS

- 1.- Galindo-Alcázar, O.; N.B. Medina-Jaritz, G. Garduño-Solórzano, R. Olvera-Ramírez. Cyanobacteria and microalgae from surface biofilm from Malinalco, Mexico, an archaeological site. *Polibotánica*. Vol. 45 (2018) 131-146.
- 2.- Gorbushina A.A. Life on the rocks, *Environ. Microbiol.* 9 (2007) 1613–1631.
- 3.- Guiamet, P., Battistoni, P., Gómez de Saravia, S. Biodeterioro, ¿dónde estás? Desde la Patagonia difundiendo saberes 5 (2008) 34-38.
- 4.- Wee Y.C, Lee K.B. Proliferation of algae on surfaces of buildings in Singapore. *Int. Biodeterior. Bull.* (1980) 16 113–117.
- 5.- López, A. “Patrimonio moderno: Evaluación de los aspectos estéticos que modifican la apariencia del hormigón”. *Jornada de Técnicas de Reparación y Conservación del Patrimonio*, 11 (2013).
- 6.- Gaylarde, C.C., Gaylarde, P.M. A comparative study of the major microbial biomass of biofilms on exteriors of buildings in Europe and Latin America. *Int. Biodeterior. Biodegrad.* 55 (2), (2005), 131–139p.
- 7.- Salvadori, O. The control of biodeterioration. *Coalition* 6 (2003). 16-20.
- 8.- Bollmann, U, Vollertsen, J, Carmeliet, J, Bester, K. Dynamics of Biocide Emissions from Buildings in a Suburban Stormwater Catchment—Concentrations, Mass Loads and Emission Processes. *Wat. Res.*, 56 (2014) 66–76 .



- 9.- Veneranda, M., Blanco-Zubiaguirre L., Roselli G., Di Girolami, G Castro K., Madariaga J.M.. Evaluating the exploitability of several essential oils constituents as a novel biological treatment against cultural heritage biocolonization. *Microchem. J.* 138 (2018) 1–6.
- 10.- Sandra G. Gómez de Saravia, Silvia E. Rastelli, Guillermo Blustein, Marisa R. Viera. Natural compounds as potential algacides for waterborne paints. *J. Coat. Technol.* 15 (2018) 1191-1200p.
- 11.- Rindi F. Guiry L. Diversity, life history, and ecology of *Trentepohlia* and *rintzina* (Trentepohliales, chlorophyta) in urban habitats in Western Ireland. *J. Phycol.* 38 (2002) 39-54.
- 12.- Bischoff H.W, Bold H.C. “Some Soil Algae from Enchanted Rock and Related Algal Species”. University of Texas, Austin, Tex, (1963). 268 p.
- 13.- Mora, P., Mora, L., Metodo per la rimozione di incrostazioni su pietre calcaree e dipinti murali, in *Problemi di Conservazione Urbani*, ed. Compositori, Bologna, (1974): 339-344p.
- 14.- Rosato, V.G., Gómez de Saravia, S.G., Rastelli, S.E., Lofeudo, R. “Estudio de la Pátina Biológica en el Mausoleo Yalour, Cementerio de La Plata”. *Memorias - V Congreso Iberoamericano y XIII Jornada Técnicas de Restauración y Conservación del Patrimonio. Libro de trabajos extendidos del congreso COIBRECOPA 2017*, (2017) pp.284-293. ISBN: 978-987-3838-07-1.
- 15.- United States Environmental Protection Agency, <https://www.epa.gov/pesticides> (Consultada el 10 de junio de 2020).
- 16.- Kachur, K., Suntres, Z., The antibacterial properties of phenolic isomers, carvacrol and thymol. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition.* (2019) 1-12p.
- 17.- Marchese, A., Orhan, I.E., Daglia, M., Barbieri, R., Lorenzo, A.D., Nabavi, S.F., Gortzi, O., Izadi, M., Nabavi, S.M., Antibacterial and antifungal activities of thymol: a brief review of the literature, *Food Chemistry.* 210 (2016) 402-414p.
- 18.- Tran, T.H., Govin, A., Guyonnet, R., Grosseau, P., Lors, C., Damidot, D., Deves, O., Ruot, B., Influence of the intrinsic characteristics of mortars on their biofouling by pigmented organisms: comparison between laboratory and field-scale experiments. *Int. Biodeterior. Biodegrad.* 86, (2014) 334–342p.
- 19.- Ribas Silva, M. “L’aide du programme Minéraux à l’étude de la biodétérioration du béton”. En: *First International RILEM Workshop on Microbial Impact on Building Materials*, São Paulo. (2000) RILEM Publications SARL, Paris, p. 6.
- 20.- Wessel, D. Case study: field observations on the effectiveness of zinc strips. en: Charola, A.E., McNamara, C., Koestler, R.J. (Eds.), “Biocolonization of Stone: Control and Preventive Methods: Proceedings from the MCI Workshop Series, Smithsonian Contributions to Museum Conservation”, vol. 2. Smithsonian Institution Scholarly Press, Washington, DC, (2011). 109-112 p.

- 21.- Trombetta, D, Castelli, F, Sarpietro, MG, Venuti, V, Cristani, M, Daniele, C, Saija, A, Mazzanti, G, Bisignano, G, Mechanisms of Antibacterial Action of Three Monoterpenes. *Antimicrob. Agents Chemother.* 49(2005) 2474–2478 p.
- 22.- Donsì F., Ferrari G., Essential oil nanoemulsions as antimicrobial agents in food, *J. Biotechnol.* 233 (2016) 106–120p.
- 23.- Fidanza M.R., Caneva G., Natural biocides for the conservation of stone cultural heritage: A review, *Journal of Cultural Heritage*, Volume 38, (2019) 271-286p.
- 24.- Hudaib M., Speroni E, Di Pietra A.M., Cavrini V. GC/MS evaluation of thyme (*Thymus vulgaris* L.) oil composition and variations during the vegetative cycle, *J. Pharm. Biomed. Anal.* 29 (2002) 691–700p.
- 25.- Santos I.C., Simoes M.M., Pereira M.M., Martin R.R., Neves M.G., Silvestre A.J., Cavaleiro J.A.S., Cavaleiro A.M.. Oxidation of Monoterpenes with Hydrogen Peroxide Catalysed by Keggin Type Tungstoborates. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*; 195 (2003) 253-262p.
- 26.- Naghdi Badi H, Abdollahi M, Mehrafarin A, Ghorbanpour M, Tolyat M, Qaderi A.. An Overview on Two Valuable Natural and Bioactive Compounds, Thymol and Carvacrol, in Medicinal Plants. *J. Med. Plants.*; 16 (63) (2017) 1-32p.
- 27.- Bruno, L.; Rugnini, L.; Spizzichino, V.; Caneve, L.; Canini, A.; Ellwood, N.T. Biodeterioration of Roman hypogea: The case study of the Catacombs of SS. Marcellino and Pietro (Rome, Italy). *Ann. Microbiol.*, 69, (2019) 1023–1032p.

# UN MONUMENTO DE F. SALAMONE PARA RECORDAR AL DIP. FORTUNATO CHIAPPARA ASESINADO EN LA LEGISLATURA PROVINCIAL

## A MONUMENT OF F. SALAMONE TO REMEMBER THE DIP. FORTUNATO CHIAPPARA MURDERED IN THE PROVINCIAL LEGISLATURE

*Luís P. Traversa<sup>1</sup>, Fabián H. Iloro<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Investigador Emérito CIC-LEMIT. [direccion@lemit.gov.ar](mailto:direccion@lemit.gov.ar)

<sup>2</sup> Profesional Principal CIC-LEMIT. [patrimonio@lemit.gov.ar](mailto:patrimonio@lemit.gov.ar)

### RESUMEN

En el año 1937 el Diputado provincial Fortunato Chiappara de la localidad de Arroyo Corto, partido de Saavedra fue asesinado en la Legislatura provincial por el Diputado Bessone de la localidad de Goyena del mismo partido por disputas políticas. Los padres de Chiappara encomiendan al Ing. Arq. F. Salamone la construcción de un monumento en el cementerio de la localidad para recordar este infausto hecho. Chiappara tiene además en Pigüé en su recuerdo un monumento diseñado por el artista Numa Ayrinhac, quien durante el 1º gobierno de Perón pintó cuadros emblemáticos de la pareja presidencial. En este trabajo se realiza una revisión de la historia de la localidad de Arroyo Corto y de las principales construcciones existentes en la misma como así también del monumento existente en el cementerio que presenta características diferenciadas de los otros Cristos ejecutados por F. Salamone.

**Palabras clave:** *Arroyo Corto, Chiappara, Salamone.*

### ABSTRACT

In 1937 during the Provincial Legislature of Buenos Aires, for political disputes Mr Bessone murdered Fortunato Chiappara, Deputy from the town Arroyo Corto, Saavedra's party. Mr Bessone was also Deputy from the town of Goyena, Saavedra's party. The parents of Fortunato Chiappara parents contract Engineer F. Salamone to build a monument in the town's cemetery to remember this unfortunate event. In the town of Pigüé, Chiappara also has in his memory a monument designed by the artist Numa Ayrinhac, who during the 1st government of Perón painted emblematic pictures of the presidential couple. In this work, an historic review of the Arroyo Corto town was made analyzing the main constructions existing in it, as well as the monument in the cemetery that presents different characteristics from other Christ sculptures constructed by F. Salamone.

**Keywords:** *Arroyo Corto, Chiappara, Salamone.*

## INTRODUCCIÓN

Arroyo Corto es una localidad argentina del Partido de Saavedra, Provincia de Buenos Aires, Argentina, que cuenta en la actualidad con 500 habitantes aproximadamente. Se encuentra a unos 16 km de la ciudad de Pigüé, actual cabecera del partido. Fue fundada el 15 de abril de 1884 por Juan Biga y Benigno Gossetti.

En 1880, con la llegada de inmigrantes a la región, Clemente Cabanettes y Eduardo Casey especulan con el establecimiento de una Colonia en la región del Pi-hue, antigua denominación de la ciudad de Pigüé. La Ley 2421 del año 1891 crea el Partido de Saavedra, tomando zonas a Coronel Suárez y Puán, y designa como cabeza del Partido al centro Agrícola establecido en la estación Alfalfa, que se denominará en adelante Saavedra. La causa de la creación de este partido fue favorecer los intereses de un nuevo personaje que entra en el escenario político regional, el diputado Don Cecilio López [1].

Por Ley 4222 del 19 de Julio de 1934 se designa cabeza del partido de Saavedra y sede de las autoridades municipales del mismo, al pueblo de Pigüé. El partido de Saavedra cuenta con las localidades de Arroyo Corto, Dufaur, Goyena, Espartillar, Pigüé y Saavedra

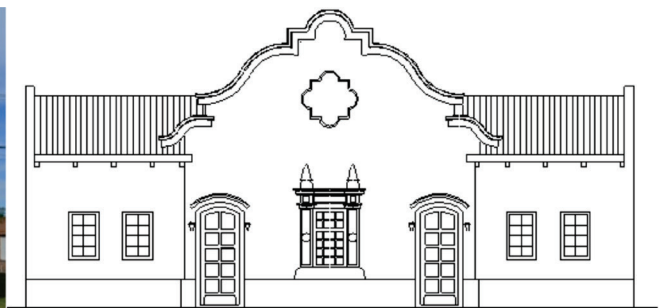
Los primeros habitantes de Arroyo Corto eran originarios de Torino, Italia, de ahí el nombre “La

Torinesa”, primera denominación con la que se conoció a la localidad. Con la llegada del tren el pueblo tomó forma e importancia, estableciéndose alrededor de su plaza los principales edificios, como por ejemplo la Delegación Municipal (Figura 1).

En la Argentina, el surgimiento de la arquitectura neocolonial se vio impulsado por los festejos del Centenario de la Revolución de Mayo en 1810. Luego del período de gobierno de la Generación del 80, que buscó despegar a la Argentina de sus orígenes hispánicos, copiando la moda y la arquitectura de Francia o Italia, se dio un movimiento que buscó sus raíces en el arte del período colonial [2]. El gobierno nacional había basado su economía en una relación bilateral con Inglaterra, y el país había recibido oleadas migratorias de miles de europeos que huían de la miseria para establecerse en la América.

Rápidamente, la oligarquía tradicional argentina comenzó a tomar conciencia de la pérdida de identidad que estaba causando esta suma de factores, y reaccionó, mirando con nostalgia el período anterior a 1880. Comenzó un estudio histórico de las épocas coloniales, destacándose entre otros, los arquitectos Ángel Guido, Estanislao Pirovano, Johannes Kronfuss y Martín Noel [3].

La arquitectura neocolonial en la Argentina tuvo una fuerte influencia del Barroco español y las restauraciones históricas de la Casa de Tucumán



Arroyo Corto

Figura 1: Delegación Municipal Arroyo Corto.

y el Cabildo de Buenos Aires, dos monumentos históricos que habían sido modificados y semi-demolidos, implicaron un resurgimiento y la creación de edificios modernos adornados con estilo neocolonial.

Si bien Salamone en los Palacios Municipales, con excepción del edificio de la Municipalidad de Chascomus (Figura 2), ni en los mataderos emplea el neocolonial, en los edificios para Delegaciones Municipales a ejecutar en pequeñas localidades, introduce fuertemente los conceptos de este estilo arquitectónico [4]. Esta situación puede visualizarse en las Delegaciones Municipales de Casbas, San Jorge (Laprida), Cuartel VII y Miranda (Rauch), Los Pinos y San Agustín (Balcarce) [5]. La Delegación Municipal de Arroyo Corto (Saavedra) también está ejecutada en este estilo arquitectónico pero no puede atribuirse a F. Salamone.



**Figura 2:** Municipalidad de Chascomus.

En 1887 se levantó en Arroyo Corto la primera capilla. Posteriormente, desde la localidad de Saavedra llegaban los sacerdotes para dar las misas, hasta que en 1927 se construyó el edificio de la iglesia actual (Figura 3) quedando la capilla como Salón Parroquial; en el interior de la iglesia se encuentra una imagen de “Nuestra Señora del Carmen” que fue realizada en el año 1972, en Cádiz, sobre un tronco de árbol.

En los jardines de la Iglesia existe un recordatorio a los Misioneros del Verbo Divino Instituto Católico internacional de Religiosos-Misioneros (Figura 3), fundado por Arnoldo Janssen. Están distribuidos en los cinco continentes y desde 1889 están en la Argentina -en respuesta a insistentes pedidos de asistencia espiritual- año en el que llegaron los 2 primeros misioneros. Comenzaron atendiendo a los inmigrantes europeos, de preferencia suizos y alemanes del Volga, en sus colonias de Santa Fe, Entre Ríos y Buenos Aires [6].



**Figura 3:** Iglesia Nuestra Señora del Carmen y recordatorio de la llegada de los misioneros del Verbo Divino en el año 1903.



Frente a la plaza principal, 9 de Julio (Figura 4) se ubica el salón La Unión (Figura 5) que presenta algunos indicios de Art Decó en su fachada la cual ha sido modificada a través del tiempo, este edificio estaba destinado al cine-teatro de la Sociedad “La Unión” de Arroyo Corto cuyo primer presidente fuera el Diputado Chiappara. En la localidad existen algunas viviendas y locales públicos como por ejemplo la Sala de Primeros Auxilios (Figura 6) con una tipografía identificatoria típica de este estilo arquitectónico.

En la localidad todavía quedan en pie antiguas construcciones como por ejemplo “La Torinesa” del año 1884, que era un antiguo almacén de ramos generales de la familia Chiappara, Figura 7. Según la tradición oral en dicha esquina, auspiciada por los dueños del local, se festejaba la fiesta de San Juan con la realización de grandes fogatas, que todavía hoy se siguen realizando. La Fiesta de San Juan, también llamada víspera de San Juan o noche de San Juan es la festividad del nacimiento de San Juan Bautista por parte del cristianismo el día 24 de junio.



Figura 4: Plaza 9 de Julio. Arroyo Corto.



Figura 5: Salón La Unión actual (propia) y durante su construcción [7].





**Figura 6:** Vivienda con detalle Art Decó y Sala de Primeros Auxilios con identificación Art Decó, construida en 1938 en un terreno donado por Rosa Barutta de Chiappara [8].



**Figura 7:** Vista de antiguas construcciones [9].

La idea inicial de la construcción de la gruta Nuestra Señora de Lourdes, en Pigüé, fue de la señora María Rettier de Cabanettes, que donó en 1921 para este fin, un cerrito de dos hectáreas en el viejo camino a Saavedra. En 1931, la misma trajo de Lourdes Francia, la imagen de la virgen. El constructor, Domingo Oresti, reprodujo la gruta original, luciendo en ella, dos piedras traídas de la gruta de Francia: una por la Sra. Rosa B. de Chiappara (madre de la Hna. María Ignacia y de Fortunato) y otra por la exalumna Enriqueta Olivier.

En Arroyo Corto existe en la actualidad un edificio prácticamente en ruinas, que antiguamente

perteneciera a un templo masónico de la logia Unión y Constancia. Fue construido a principios de siglo pasado y cerró sus puertas en la década de 1930 [9]. No quedan registros de su actividad. En el frente del edificio, el emblema del compás y la escuadra, enmarcado sobre un triángulo, permanece como si no hubiese pasado el tiempo (Figura 8). Hoy se duda si éste fue el primer edificio que tuvo la logia masónica Unión y Constancia en la población, aunque se conoce que allí funcionó desde 1901 hasta su cierre durante la década de 1930. Solo se sabe que el terreno fue adquirido a principios de siglo XX a Juan Bautista Lelos y que en él se construyó el templo (Figura 8). No quedaron muchos nombres de integrantes de la

Logia, aunque es seguro que Dionisio Farías fue uno de ellos ya que su tumba posee una columna trunca y un capitel en el suelo, Figura 9 [9].

Es probable que los primeros integrantes de la logia en Arroyo Corto hayan sido los colonos italianos llegados desde Turín. Las logias se fueron abriendo

en la zona a medida que llegaba el tren, como una suerte de primer foco de asociativismo en el pueblo, sobre todo para los inmigrantes europeos. En la región había logias como por ejemplo en Carhué, Pigüé, Guaminí y Coronel Suárez.

En Arroyo Corto existe una comunidad importante



Figura 8: Imágenes de la ruina y copia de la documentación catastral [9].



de descendientes de alemanes del Volga. Se estima que hoy día hay más de dos millones de descendientes de alemanes del Volga en Argentina. La mayoría se encuentra en pequeñas colonias de 1500-2000 habitantes en las provincias Entre Ríos, Buenos Aires y La Pampa mientras que otros se han integrado a localidades vecinas a las ciudades colonias [10]. Las razones de su migración a Argentina tuvieron que ver con el cambio de leyes en Rusia que derivó en un recorte de privilegios inicialmente consentidos a los colonizadores alemanes por la zarina por un lado, y por el empeoramiento de la situación económica en las colonias alemanas en el Volga por el otro lado. También, debe manifestarse que el gobierno argentino fomentaba la colonización dando facilidades para el viaje de los inmigrantes.

Los hermanos Adan y Andrés Stoessel, descendientes de Alemanes del Volga, acompañados por dos técnicos mecánicos Ernesto Tontini y Carlos Díaz, partieron el 15 de abril de 1928 de su pueblo Arroyo Corto, con la intención de unir Buenos Aires (Arroyo Corto) y Nueva York (Manhattan).

Para realizar esa epopeya utilizaron un automóvil Chevrolet modelo 1928, y el raid fue cubierto en dos años y 15 días. Desde la plaza salieron los hermanos Stoessel en un Chevrolet de cuatro cilindros (Figura 10). Con paciencia y convicción, recorrieron 1900 millas para llegar a Nueva York dos años después, siendo recibidos por el alcalde de la ciudad [11].



**Figura 9:** Vista del monumento a Dionisio Farías y vista general del cementerio.



**Figura 10:** Partida de los hermanos Stoessel [11].

## LA OBRA DE F. SALAMONE EN ARROYO CORTO

El Distrito de Saavedra es promocionado por la Provincia de Buenos Aires, como uno de los lugares en la ruta de F. Salamone ya que tiene una de las obras de este destacado profesional. El monumento existente en Arroyo Corto se construyó en el año 1938 a partir de la Ordenanza Municipal del 2 de Noviembre de 1937, la cual autorizaba reparaciones en el cementerio de la localidad.

52

La concreción de la incorporación del Cristo crucificado se realizó en memoria del asesinato del Diputado Provincial Fortunato Chiappara (h.), quien fuera el impulsor de las modificaciones en el cementerio. La obra del Cristo fue financiada por sus padres Fortunato Chiappara y Rosa Barutta. Fortunato Chiappara (h.) fue intendente del partido de Saavedra durante los años 1934 y 1935 y del 1935 hasta su asesinato Diputado Provincial.

En el cementerio de Arroyo Corto puede observarse entre las pocas bóvedas existentes, la construida por la familia Chiappara. Está bóveda de mármol gris presenta algunos indicios de Art Decó y podría haber sido diseñada por Salamone, siendo este el posible contacto con los padres de Chiappara (Figura 11).



**Figura 11:** Bóveda de Fortunato Chiappara.



## ASESINATO DEL DIPUTADO FORTUNATO CHIAPPARA

Antonia y Juana Chiappara Rollero (Figura 12) fueron las hijas menores del matrimonio conformado por Antonio y Benita, sus padres eran naturales del poblado de Sestri Levante, en la provincia de Génova, Liguria, Italia, donde se habían casado el 30 de mayo de 1870. Luego de casarse, emprenden el viaje que los trae a la Argentina, radicándose en el barrio de La Boca en la Capital Federal, donde nacería su primera hija Catalina en 1871. En 1874 nace otra hija María en Baradero, donde vivía un hermano de Don Antonio, llamado Juan. Luego nacen más hijos nuevamente en La Boca, Juan Fortunato 1876, María 1880, Josefa 1882 y Antonia 1885 [12].

Alrededor de esta época, 1885, se trasladan a vivir a Arroyo Corto en el partido de Saavedra donde nacería su última hija Juana en 1886. Antonia Chiappara contrae matrimonio en 1907 en Pigüé



**Figura 12:** Antonia Chiappara, Rosa Barutta y Juana Chiappara [12].

con Emilio Mombelli. Juana Chiappara en 1909 en Arroyo Corto con Martín Barutta. Rosa Barutta, hermana de Martín, fue la hija de Martín Barutta e Isolina Valli. Antes del 1905 se casa con Juan Fortunato Chiappara siendo Fortunato Martin Chiappara su hijo, teniendo en total diez (10) hijos. La hija más chica, Irene Juana, toma los hábitos de la Congregación de las Hermanas del Niño Jesús adoptando el nombre de Sor María Ignacia.

En el distrito de Saavedra la disputa política había enfrentado desde hacía tiempo al conservador Fortunato M. Chiappara y al radical Mario Bessone, un médico santiagueño radicado en Goyena, localidad próxima a Arroyo Corto, siendo ambos diputados provinciales los protagonistas del único asesinato que recuerda la historia en la Cámara de Diputados de la Provincia, en ciudad de La Plata [13].



**Figura 13:** Fortunato Martin Chiappara (1905-1937).

Fortunato Chiappara (h.), Figura 13, se destacó siempre por su labor pública, reconocido como un político muy hábil que aportó obras de importancia para el desarrollo del distrito y por comandar los destinos del distrito por medio de la fuerza, la violencia y el miedo, situación que con otros protagonistas se repetía en otros distritos de la provincia. Debe recordarse que la localidad de Arroyo Corto en algún momento recibió el apodo



de “Avellaneda Chica” por los enfrentamientos entre radicales y conservadores que bañaron de sangre varias páginas en su historia [14] [15].

El 15 de diciembre de 1937, la tragedia no duró más que unos segundos. Un encontronazo en un pasillo entre ambos protagonistas, un cruce de palabras, amenazas y seis disparos (Figura 14). Esa misma noche, la Cámara aprobó en forma unánime el desafuero del diputado asesino. Luego de la autopsia, el cuerpo de la víctima se envió a Arroyo Corto, donde fue inhumado en el mausoleo familiar. Casi un año después, previo al juicio, se pediría cambiar el nombre del pueblo por el de Fortunato Chiappara, aunque la iniciativa no prosperó [16].

Existía en la prensa una suerte de benevolencia hacia el asesino, a quien se lo presentaba como la víctima de una persecución política y el asesinato como “la gota que colmó el vaso”. Durante el proceso judicial, Chiappara pasó de víctima a victimario. Los testigos que llegaron desde el distrito de Saavedra reafirmaron la hipótesis de que Bessone había sido blanco de una persecución política que hasta lo había obligado a irse de Goyena para radicarse en Buenos Aires. Finalmente, la Justicia se expidió: homicidio en

estado de emoción violenta y la condena fue de 3 años de cárcel (más costas) para Mario Bessone. No se supo casi nada más de su vida, pero con los años y ya siendo una persona mayor, se lo ubicó en Capital Federal, donde había continuado trabajando como médico [16].

## MONUMENTO

El monumento se ubica en cementerio local de Arroyo Corto, Figura 15. Su diseño responde a la serie de cruces (crucifijos), correspondiente al prototipo de la escultura del Cristo, ejecutada en hormigón armado siendo una reproducción a escala de la que realizó para el portal del cementerio de Laprida [17], Figura 16. Esta obra es similar a la que realizó en varios puntos de la provincia y se halla ornamentando el pasillo central del cementerio.

El escultor Santiago J. Chiérico (1891-1974) se caracterizó fundamentalmente por la realización de obras de carácter monumental, ejecutando en escala reducida por ejemplo el Cristo Crucificado para poder luego dar forma a sus distintas partes, en las dimensiones del Cristo del portal del cementerio de Laprida; las partes fueron construidas en Buenos Aires y ensambladas en el lugar de emplazamiento



**Figura 14:** Recreación del asesinato F. Chiappara [16] y recordatorio 1º Aniversario de su muerte, 1938 [7].

definitivo [18] [19]. Con el molde se ejecutaron una serie de Cristos crucificados en distintas localidades de la provincia de Buenos Aires durante 1936-1940, gobierno de J. M. Fresco [21] [22], uno de los cuales corresponde al del Cementerio de Arroyo Corto, siendo el único que se encuentra identificado y cuya base se encuentra revestida con partículas de vidrio (Figura 17). También, existe una placa de bronce, realizada por sus padres en memoria del fatal hecho (Figura 18)

La muestra de revestimiento del pedestal fue identificada en el LEMIT bajo lupa binocular, se trata de fragmentos angulosos, incoloros y transparentes, con fractura concoide, y tamaños próximos a 10,0 mm. Mientras que según la identificación con microscopio de luz polarizada corresponde a material vítreo (vidrio de origen artificial), transparente e incoloro, a veces con impurezas diminutas. Posee índice de refracción inferior al nitrobenzeno ( $n < 1,55$ : composición ácida).



Figura 15: Vista del portal del cementerio.



Figura 16: Vista del Cristo Crucificado.





**Figura 17:** Detalle de la Base. Se observa la firma y fragmentos de vidrio.



**Figura 18:** Placa existente en el monumento.



**Figura 19:** Monumento a F. Chiappara en el Parque Municipal de Pigüé.

En la localidad de Pigüé existe otro monumento a Fortunato Chiappara ubicado en el Parque de la localidad que también lleva su nombre (Figura 19), próximo a la antigua casona en la que vivía Mary Gorman de Sewell, una maestra estadounidense que vino a Argentina en 1869 a pedido de Domingo Faustino Sarmiento. Este monumento fue realizado por Numa Ayrinhac, artista de renombre nacional e internacional, quien migró desde Francia a la Argentina con su familia cuando tenía cinco años y murió en Buenos Aires el 23 de marzo de 1951. Había estudiado pintura con Ernesto de la Cárcova [22].

En la intendencia Municipal de Pigüé existe un

cuadro al óleo de Chiappara realizado por Numa Ayrinhac, que fuera encargado por el Comité de la Juventud del Partido Demócrata Nacional.

Durante el gobierno de Juan Perón, fue el único pintor elegido por Eva Perón para que la retratará. Ayrinhac realizó también un retrato de la madre de Evita, Juana Ibarburen, y de su hermano, Juan Duarte. Su cuadro más famoso es el retrato de cuerpo entero de Juan Perón y Eva Perón, de 1948, único oficial realizado a la pareja (Figura 20), actualmente expuesto en el Museo del Bicentenario. En este retrato Evita, de 27 años, viste un famoso vestido diseñado por Jacques Fath, un diseñador de moda francés que fue considerado una de las

tres influencias dominantes en la alta costura de la posguerra, conjuntamente con Christian Dior y Pierre Balmain.

En 1950 pintó el retrato de Evita que luego fuera utilizado como tapa del libro *La razón de mi vida*. El cuadro original fue destruido por los militares en 1955 (Figura 20).

### CONSIDERACIONES FINALES

Arroyo Corto es una localidad argentina del Partido de Saavedra, Provincia de Buenos Aires, Argentina, fundada el 15 de abril de 1884 por Juan Biga y Benigno Gossetti, cuenta en la actualidad con aproximadamente 500 habitantes. Se encuentra a unos 16 km de la ciudad de Pigüé, actual cabecera del partido.

El Distrito es promocionado por la Provincia de Buenos Aires, como uno de los lugares que

integran la ruta de F. Salamone conformada por los municipios de Adolfo Alsina, Azul, Balcarce, Coronel Pringles, Gonzales Chaves, Guaminí, Laprida, Rauch, Tornquist y Saavedra, ya que tiene una de las obras de este destacado profesional. El monumento existente en Arroyo Corto se construyó en el año 1938 y la incorporación del Cristo crucificado se realizó en memoria del asesinato del Diputado Provincial Fortunato Chiappara, quien fuera el impulsor de las modificaciones en el cementerio. La obra fue financiada por sus padres Fortunato Chiappara y Rosa Barutta, siendo similar a la existente en otras localidades de la Provincia de Buenos Aires.

En el año 2016 el Honorable Concejo Deliberante haciendo uso de sus facultades, sanciona una ordenanza para el partido de Saavedra, declarando Bien de Interés Histórico y Artístico por su valor como patrimonio cultural al Crucifijo realizado por Francisco Salamone en el cementerio



**Figura 20:** Retrato presidencial [23] y retrato de Eva Perón [24].

de la localidad de Arroyo Corto, basándose en:

- La existencia de la Ley Provincial N° 12854 del año 2001, la cual declara Patrimonio Cultural de la Provincia de Buenos Aires a los bienes muebles e inmuebles, cuyos proyectos y ejecuciones de obra fueran realizados por el ingeniero arquitecto Francisco Salamone,
- El desconocimiento de la obra de Francisco Salamone de Arroyo Corto, a nivel regional y nacional.

El Cristo crucificado de Arroyo Corto, presenta algunas particularidades que lo diferencian de los existentes en otras localidades. En primera instancia se encuentra firmado y datado por F. Salamone y su pedestal se encuentra revestido con pequeños trozos de vidrio de origen artificial, transparente e incoloro. Además, fue erigido en forma particular como homenaje al diputado asesinado Fortunato Miguel Chiappara, pero en la actualidad es un lugar referencial del Cementerio ya que se colocan en su pedestal placas que recuerdan distintos acontecimientos.

## REFERENCIAS

- 1.- Zuccarini M. (2014) "Importancia del turismo histórico-cultural como actividad de revalorización patrimonial y alternativa de desarrollo local en Pigüé". Tesis de Magister. Universidad Nacional del Sur. <http://www.repositoriodigital.uns.edu.ar>
- 2.- Bruno P. (2007) "Un balance sobre los usos de la expresión generación del 80, 1920-2000". Secuencia. n° 68, pp. 115-161. ISSN: 0186-0348.
- 3.- Feal N. (2005). "La aparición de la historia" II Jornadas sobre Arte y Arquitectura en Argentina. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. ISBN: 987-22474-0-4.
- 4.- Novacosvsky A., Paris Benito F., Roma S. (2001). "Francisco Salamone en la Provincia de Buenos Aires. Reconocimiento Patrimonial de sus obras". Vol. 1, 322 p.
- 5.- Bellucci A. (1992) "Art-Decó: el arte urbano de F. Salamone". The Journal of Decorative and Pro Arts. N° 18.
- 6.- Misioneros del Verbo Divino. <http://www.svdargentina.org.ar>
- 7.- Studer A. (1939) "Diputado Chiappara: su vida, su obra, su muerte". Ed. Imp. López.
- 8.- Pueblos pintorescos: Arroyo Corto - Conoce La Provincia. [www.conocelaprovincia.com.ar](http://www.conocelaprovincia.com.ar)
- 9.- "Un templo masón en ruinas, la joya escondida de Arroyo Corto" (2018). [www.lanueva.com/nota](http://www.lanueva.com/nota)
- 10.- Walter H. A. (2012) "Los senderos del Wolga". ISBN 978-987-605-392-1.
- 11.- Stoessel A., Stoessel A. (1930) "32.000 Kilómetros de Aventuras". Ed. Linari y Cía. <http://www.alemanesdelwolga.com.ar>
- 12.- Antiguas Fotografías Argentinas (2018). <https://gramho.com/location/arroyo-corto-buenos-aires-argentina>



- 13.- “Hace 82 años un diputado de Goyena asesinaba a Fortunato Chiappara en la Legislatura”. (2019). <https://semreflejos.com.ar>
- 14.- “Historias de corrupción. Barracas al sur, la muerte” (1998) <http://www.lanacion.com.ar>.
- 15.- “Barcelo y Ruggierito”(2014). <http://danieleugeniopena.blogspot.com.ar>
- 16.- “Dos diputados de la zona y un odio que termino en asesinato”. (2019). <https://www.lanueva.com/nota/>
- 17.- Traversa L. P., Di Maio A. A., Rosato V., Iloro F. (2008) “Arquitectura Modernista en La Pampa Argentina: Diagnóstico, Restauración y Puesta en valor de Portales de Cementerio Construidos en La Década de 1930”. Revista Apuntes vol.21 no.2 .p.p 194-205. ISSN 1657-9763.
- 18.- Longoni R., Traversa L. P. (2001) “Modernity in the pampa; Francisco Salamone’s 1930s slaughterhouses”. DocomomoJournal, nº 24 pp. 38-41. 46-55
- 19.- Traversa, L.P., Di Maio, A.A., Longoni, R. (2001). “Evaluación y técnicas de reparación empleadas en construcciones Art-Decó del Ing. Arq. F. Salamone”. Memorias Jornadas Científico tecnológicas sobre Prevención y protección del patrimonio cultural Iberoamericano de los Efectos del Biodeterioro ambiental. CYTED. La Plata, pp. 195-209
- 20.- Traversa L. P., Martínez G. A. (2011) “Portales de Cementerios de Francisco Salamone”. Simposio Muerte, Sociedad y Cultura, Instituto Municipal de Investigaciones Antropológicas de Chivilcoy. ISBN 978-987-20550-3 5
- 21.- “Provincia de Buenos Aires. Cuatro años de gobierno: período 1936-1940”. Ocho tomos. Ed. Talleres gráficos de Guillermo Kraft.
- 22.- NumaAyrinhac, el pincel de Evita (2019). <https://www.agenciapacourondo.com.ar>
- 23.- Retrato del Presidente Juan Domingo Perón y su señora esposa María Eva Duarte de Perón- Museo del Bicentenario.[www.casarosada.gob.ar/la-casa-rosada/museo](http://www.casarosada.gob.ar/la-casa-rosada/museo)
- 24.-Perón E. (1951) “La razón de mi vida”. Eds. Peuser. Buenos Aires.



# ESTUDIO DE LA SOLIDIFICACIÓN DE UNA PRÓTESIS DE CADERA FUNDIDA EN ACERO INOXIDABLE AUSTENÍTICO ASTM F745

## STUDY OF THE SOLIDIFICATION OF A HIP PROSTHESIS CAST IN ASTM F745 AUSTENITIC STAINLESS STEEL

Alex Kociubczyk<sup>1</sup>, Jorge E. Grau<sup>2</sup>, José L. Sarutti<sup>2</sup>, Ricardo W. Gregorutti<sup>2</sup>, Alicia E. Ares<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Materiales de Misiones, IMAM (CONICET-UNaM), Félix de Azara 1552, (N3300LQD) Posadas, Misiones, Argentina.

<sup>2</sup> Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica (LEMIT-CICPBA), Av. 52 s/n e/121 y 122, (B1900AYB) La Plata, Buenos Aires, Argentina.

### RESUMEN

La solidificación de una prótesis de cadera ha sido estudiada mediante curvas de enfriamiento en dos regiones distintas: la zona próxima a acetábulo, de mayor masa, y el vástago distal, que es la zona más fina de la prótesis. Los análisis térmicos mostraron que la velocidad de enfriamiento en el vástago fue mayor, debido a la mayor extracción calórica registrada en esta zona. Esto produjo a que tanto el subenfriamiento, cuanto el gradiente térmico fueran mayores. Como consecuencia, se obtuvo una estructura dendrítica más fina que en la zona próxima a acetábulo, con menores espaciamientos dendríticos primario y secundario. Al mismo tiempo, se observó que la microsegregación fue menor en el vástago, lo que podría ser atribuido a que la mayor velocidad de avance de la intercara sólido/líquido en esta región no permita que los átomos de los elementos que componen la aleación se transfieran al líquido.

**Palabras clave:** Prótesis de cadera, solidificación, curvas de enfriamiento, microestructura.

### ABSTRACT

The solidification of a hip prosthesis has been studied by means of cooling curves in two different regions: the area next to the acetabulum, with the highest mass, and the distal stem, which is the finest area of the prosthesis. Thermal analyzes showed that the cooling rate in the stem was higher, due to the higher caloric extraction registered in this area. This caused both subcooling and the thermal gradient to be higher. As a consequence, a finer dendritic structure was obtained, with lower primary and secondary dendritic spacings. At the same time, it was observed that the micro-segregation was lower in the stem, which could be attributed to the fact that the higher advance rate of the solid / liquid interface in this region does not allow the atoms of the elements that make up the alloy to be transferred to the liquid.

**Keywords:** Hip prosthesis, solidification, cooling curves, microstructure.

## INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas los implantes quirúrgicos han cobrado gran importancia para mejorar la calidad de vida, ante la necesidad de reemplazar o recuperar un tejido dañado[1].

Las prótesis e implantes quirúrgicos se usan en artroplastia, mayormente de cadera y rodilla, fijación ósea e implantes dentales. Los materiales habitualmente usados para tales fines son los aceros inoxidables austeníticos del tipo 316L (ASTM F138 y ASTM F745), la aleación cobalto-cromo-molibdeno (ASTM F75), la aleación de titanio Ti-6Al-4V y el Ti Grado 4.

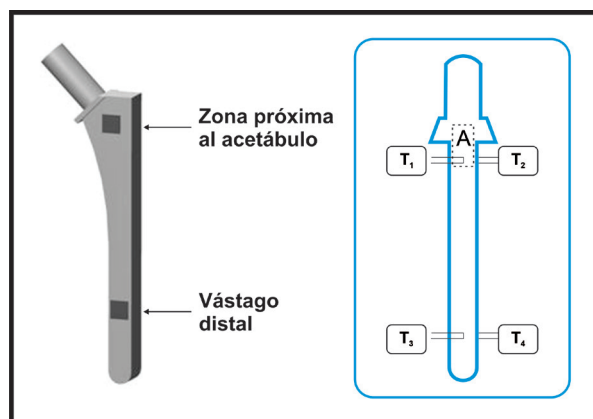
Estos materiales deben satisfacer propiedades intrínsecamente relacionadas, como biocompatibilidad, resistencia mecánica y principalmente, resistencia a la corrosión. Desde el punto de vista electroquímico, las prótesis están sometidas al entorno biológico consistente en fluidos oxigenados con presencia de iones cloruros, proteínas, enzimas, bacterias y suero, los que eventualmente pueden causar la corrosión del material. Por otro lado, los movimientos propios del cuerpo generan cargas dinámicas que pueden ocasionar el fallo de la pieza por fatiga mecánica. Las cargas dinámicas varían en distintos puntos del cuerpo, ya que una prótesis de cadera durante una caminata puede llegar a sufrir picos equivalentes a 4 veces el peso del cuerpo, mientras que una de rodilla hasta 3 veces[2]. La conjunción de los efectos electroquímicos y mecánicos generan a su vez, fallas por el mecanismo conocido como corrosión-fatiga[3]. Tanto la resistencia mecánica como la resistencia a la corrosión dependen de la microestructura del material, que a su vez está determinada por el proceso de fabricación. El método de cera perdida o Investment Casting es uno de los procesos por el cual se fabrican prótesis de cadera y rodilla, donde la pieza se obtiene por solidificación[4]. Las principales variables de este proceso de fundición son la temperatura del líquido y la temperatura del molde cerámico, que

definen la microestructura del metal en términos de las fases presentes, el tamaño del grano y la micro y macroagregación. Por este motivo se realizó un estudio de la solidificación de una prótesis de cadera fundida en la aleación ASTM F745, determinando las curvas de enfriamiento en dos zonas con distintas geometría y masa de la pieza, vinculando los parámetros térmicos con la microestructura obtenida en cada una de ellas.

## Materiales y métodos

Las experiencias de solidificación se realizaron con las aleaciones ASTM F745 colada en moldes cerámicos obtenidos por el método de cera perdida. La aleación se fundió en un horno de inducción de media frecuencia y 25 Kg de capacidad, realizándose el llenado por gravedad mediante una cuchara. La composición química fue la siguiente: 0,05% C; 18,64% Cr; 10,21% Ni; 2,65% Mo; 0,54% Si; 0,49% Mn; resto Fe. Las cáscaras se colocaron en un horno cilíndrico, donde fueron calentadas a 700 °C para aumentar su permeabilidad y mejorar así la colabilidad. Para los análisis térmicos se usaron termocuplas Pt-PtRh conectadas a un adquisidor de datos FieldLogger 1.4.6, con el cual se tomaron registros de temperaturas cada 50 ms. Las regiones estudiadas de la prótesis fueron la zona próxima al acetábulo (ZPA) y el vástago distal (VD), como se ilustra en la Figura 1. Las termocuplas se dispusieron sobre la línea longitudinal central de la prótesis (T1 y T3) y sobre la pared del molde (T2 y T4) para registrar las curvas de enfriamiento y determinar el gradiente térmico en cada una de las zonas estudiadas. La separación de las termocuplas T1 y T2 en ZPA fue de 7 mm, mientras que la de T3 y T4 en VD fue de 6 mm.

Los análisis microestructurales se realizaron mediante microscopía electrónica de barrido (SEM), con análisis espectroscopia de dispersión de energía de rayos X (EDS).



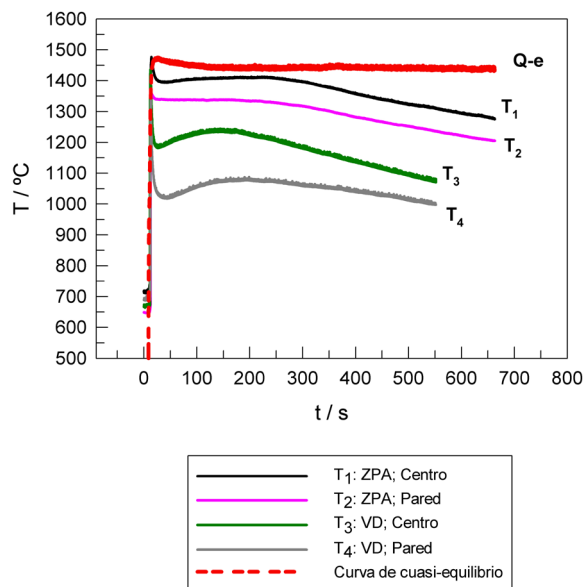
**Figura 1:** Zonas estudiadas de la prótesis de cadera y disposición de las termocupas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis de las curvas de enfriamiento

Las curvas de enfriamiento obtenidas en las distintas zonas de la prótesis de cadera se ilustran en la Figura 2, donde también se representa la curva correspondiente a un cilindro de gran volumen que simuló una condición de solidificación de cuasi-equilibrio.

En la práctica habitual de fundición, la solidificación de las aleaciones se produce en condiciones de no equilibrio debido a las altas velocidades de enfriamiento. Por este motivo la solidificación se produce a una temperatura menor a la correspondiente al equilibrio. La Figura 2 muestra las diferencias de las temperaturas de solidificación en cada una de las zonas, dadas



**Figura 2:** Curvas de enfriamiento en ZPA y VD del ASTM F745.

por las respectivas mesetas de las curvas de enfriamiento, cuyos datos se registran en la Tabla 1.

Considerando la temperatura RCE, se observó una gran diferencia en la temperatura de solidificación en el centro de ZPA y VD. Esto se debe a que el vástago es la zona más fina de la prótesis, como se puede observar en la Figura 1, con lo cual la relación volumen/superficie es menor que en ZPA, produciéndose una mayor extracción calórica, y por lo tanto un mayor subenfriamiento.

**Tabla 1.** Temperatura de solidificación de las zonas estudiadas.

Zona	T solidificación (°C)	Diferencia con RCE (°C)
ZPA centro	1408 ± 2	36 ± 4
ZPA pared	1335 ± 3	109 ± 5
VD centro	1234 ± 2	210 ± 4
VD pared	1075 ± 3	369 ± 5
Referencia de cuasi-equilibrio (RCE)	1444 ± 2	



El análisis de la velocidad de extracción calórica y los consecuentes subenfriamientos se realizaron en función de la Figura 3, donde se observan las curvas de enfriamiento ampliadas de las regiones centrales de ZPA y VD.

En el recuadro inferior se ilustra las pendientes de disminución de temperatura, que son función de la velocidad de enfriamiento ( $V_e$ ), de acuerdo a la siguiente expresión:

$$V_e = \frac{dT}{dt} \quad (1)$$

Los cálculos realizados indicaron que  $V_e$  es considerablemente mayor en VD, como se indica en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Valores de velocidad de enfriamiento y subenfriamiento térmico en ZPA y VD.

	$V_e$ ( $^{\circ}\text{C s}^{-1}$ )	$\Delta T$ ( $^{\circ}\text{C}$ )
ZPA	10,6	16
VD	41,6	50

La mayor  $V_e$  provocó un mayor subenfriamiento térmico ( $\Delta T$ ) que está dado por la diferencia entre la temperatura de solidificación ( $T_s$ ) y la temperatura de punto de recalcancia ( $T_r$ ), indicado en la Figura 3.

$$\Delta T = T_s - T_r \quad (2)$$

El subenfriamiento térmico es un parámetro relevante, ya que define las condiciones de solidificación de la aleación, y por lo tanto, la microestructura resultante. Cuanto mayor sea  $\Delta T$ , menor será el radio crítico necesario para que un “cluster” de átomos se convierta en un núcleo, aumentando de esa forma la velocidad de nucleación durante la solidificación, obteniéndose una microestructura más fina.

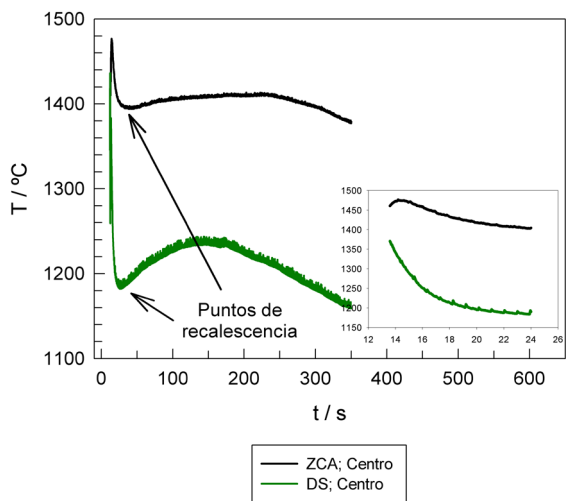
### Análisis de los gradientes de temperaturas en el líquido

La velocidad de enfriamiento también influye sobre el gradiente de temperaturas en el líquido (GL) delante de la intercara sólido/líquido, cuya expresión se indica en la ecuación (3).

$$G_L = \frac{dT}{dx} \quad (3)$$

Los gradientes registrados en los planos de las termocupas T1-T2, correspondiente a ZPA y T3-T4 del VD se lustran en la Figura 4.

En el instante inicial, cuando el líquido entra en el molde, se produce la mayor extracción calórica, registrándose un pico en el GL, que posteriormente tiende a estabilizarse. Comparando ambas zonas, se observó que el pico de GL fue considerablemente mayor en VD respecto de ZPA, estabilizándose a valores superiores. De acuerdo a estos resultados, el líquido delante de la intercara sólido/líquido estuvo más subenfriado en VD, lo que indicaría que en esta zona la velocidad ( $V$ ) de avance de la intercara es mayor.



**Figura 3:** Curvas de enfriamiento en ZPA y VD ampliadas.

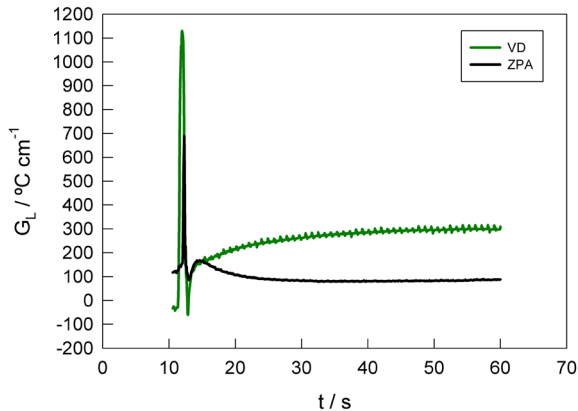


Figura 4: Gradientes térmicos en el líquido en ZPA y VD.

### Análisis de las microestructuras

La Figura 5 muestra la estructura de colada del acero inoxidable ASTM F745 en cada una de las zonas analizadas, consistente en dendritas de austenita con sus brazos primarios y secundarios. Los espaciamientos de los brazos primarios y secundarios son menores en VD respecto de ZPA. Esto se debe a que ambos espaciamientos son inversamente proporcionales al producto del gradiente y la velocidad de avance de la intercara sólido/líquido[5, 6].

$$\lambda_i \propto \frac{1}{G_L \cdot V} \quad (4)$$

Como se describiera previamente, tanto  $G_L$  como  $V$  fueron mayores en VD como consecuencia de la mayor velocidad de enfriamiento en esta zona.

Otro aspecto importante de las estructuras de colada es la segregación de los elementos que componen la aleación, lo que ocasiona inhomogeneidades de composición química en las distintas zonas de la prótesis. La segregación fue evaluada mediante análisis EDS, habiéndose realizado medidas de composición en las dendritas de austenita y en las regiones interdendríticas. Los resultados obtenidos

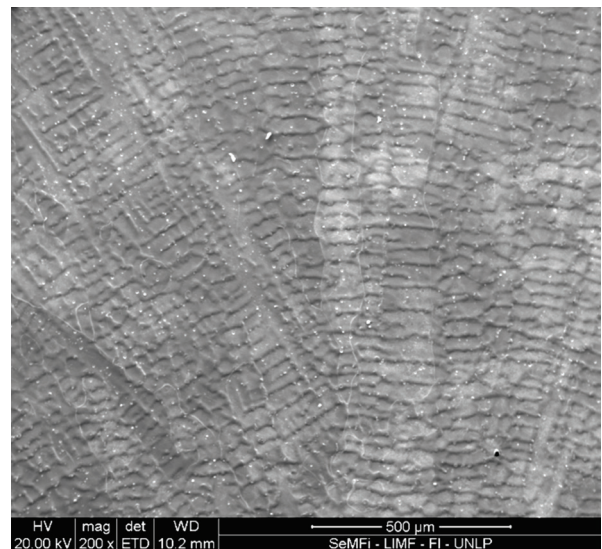
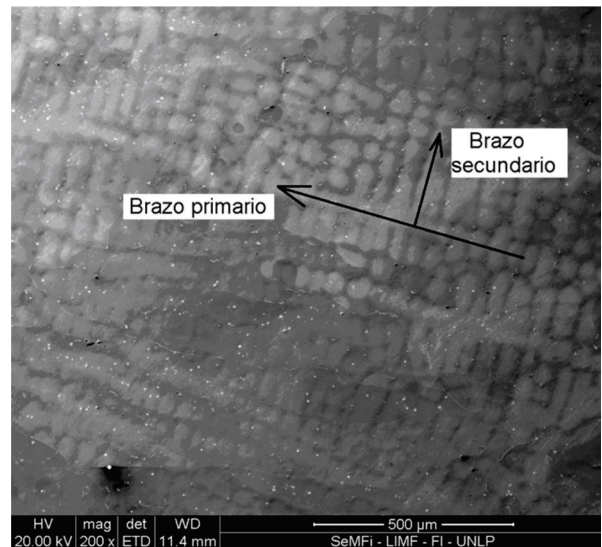


Figura 5: Arriba: Microestructura de ZPA. Abajo: Microestructura de VD.

en las dos zonas de la prótesis se indican en la Tabla 3.

Las mayores diferencias se observaron en el Cr y Mo, que se segregan en forma directa hacia el líquido, lo que se refleja en el aumento de sus porcentajes en las regiones interdendríticas. Ello es debido a que su coeficiente de partición ( $K$ ) es menor que 1. Otro elemento que ha mostrado una segregación directa es el Mn, mientras que el Si

**Tabla 3.** Microsegregación en ZPA y VD.

Elementos	ZPA			VD		
	General	Dendrita	Interdendrita	General	Dendrita	Interdendrita
Cr	19,39	16,54	18,56	17,88	16,83	17,79
Ni	10,34	10,08	10,47	10,08	9,92	10,24
Mo	2,95	1,82	2,46	2,34	1,49	1,98
Si	0,58	0,66	0,57	-	0,46	0,42
Mn	0,43	0,44	0,52	-	0,41	0,43
Fe	Resto	Resto	Resto	Resto	Resto	Resto

se segregó inversamente, en este caso, hacia el cuerpo de la dendrita, debido a que su  $K$  es mayor que 1. El Ni ha mostrado un comportamiento errático, ya que es un elemento que se segrega en forma inversa. Sin embargo, los valores medidos por EDS no mostraron esa tendencia.

Comparando ambas zonas, se observó que la microsegregación de los elementos en VD fue de menor intensidad que en ZPA. Esta conducta podría estar relacionada con la mayor velocidad de crecimiento de la intercara sólido/líquido en esta zona, lo que llevaría a que su avance sea más rápido que el escape de los átomos de soluto al líquido, con lo cual se obtiene un material más homogéneo.

## CONCLUSIONES

Las curvas de enfriamiento del acero inoxidable austenítico ASTM F745 en ZPA y VD de la prótesis de cadera mostraron diferencias apreciables

que se reflejaron en la microestructura. La zona correspondiente al vástago distal mostró una estructura dendrítica más fina, con un menor nivel de microsegregación, respecto a zona próxima al acetábulo. Esto se debe a que el vástago es la zona más fina de la prótesis de cadera, donde se produce una mayor extracción calórica, por lo que tanto el subenfriamiento como el gradiente térmico serán mayores. Las diferencias microestructurales en las zonas de la prótesis podrían conducir a que se produzcan variaciones locales de las propiedades, y por ende distintas respuestas ante una misma sollicitación, sea mecánica o electroquímica.

## Agradecimientos

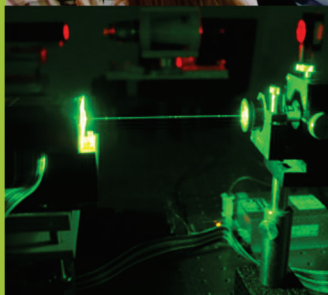
Los autores agradecen al LEMIT, Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires e Instituto de Materiales de Misiones, IMAM (CONICET-UNaM) por el apoyo económico para realizar las tareas.

## REFERENCIAS

- 1.- M. Vallet Regí. Biomateriales, CSIC, Madrid, España, 2013.
- 2.- V. Sudhakar. Engineering Failure Analysis, 12, (2005), 249–256.
- 3.- R. Altobelli Antunes, M. C. Lopes de Oliveira. Acta Materialia, 8, 2012, 937-962.

- 4.- B. D. Ratner, A. S. Hoffman, F. J. Schoen, J. E. Lemons. Biomaterials Science: An introduction to materials in medicine. Academic Press, San Diego, 1996.
- 5.- W. Kurz and D. J. Fisher. Fundamentals of Solidification, 3rd edn., 63-92, 1992, Netherlands, Trans Tech Publications.
- 6.- M. C. Flemings. Solidification Processing, Materials Science and Engineering Series, Mc Graw-Hill, Inc, New York, 1974.

# Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires



Ministerio de Ciencia,  
Tecnología e Innovación

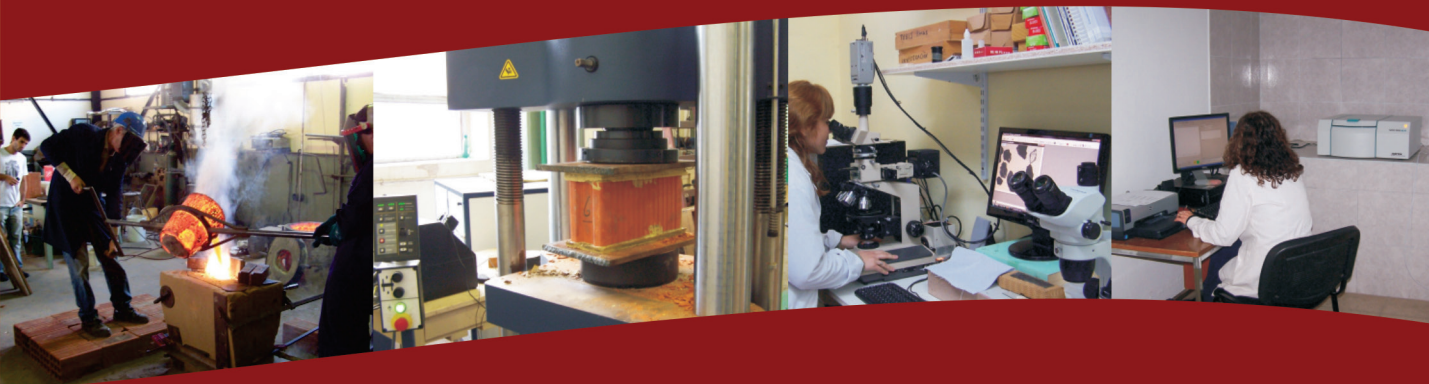


**Buenos Aires  
Provincia**

Calle 526 e/ 10 y 11 - CPA B1906APO - La Plata, Provincia de Buenos Aires  
Tel.: 0221 421 7374 - 482 3795 / 9581 - Fax: 0221 425 8383

[www.cic.gba.gov.ar](http://www.cic.gba.gov.ar)





# LEMIT

**LABORATORIO DE ENTRENAMIENTO  
MULTIDISCIPLINARIO PARA LA  
INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA**

52 e/121 y 122 - 1900 - La Plata - Argentina  
Tel.: (54-0221) 483-1142 al 44 - Fax: (0221) 425-0471  
direccion@lemit.gov.ar

[www.lemit.gov.ar](http://www.lemit.gov.ar)