

ISSN 2250-5989  
ISSN-L 2250-5989

# CIENCIA y de los TECNOLOGÍA MATERIALES

LABORATORIO DE ENTRENAMIENTO  
MULTIDISCIPLINARIO PARA LA  
INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA



Revista N° 9 - 2019

### • 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

Dr. Ing. MOREA, Francisco

Dra. Ing. TORRIJOS, María Celeste

Ing. TRAVERSA, Luis P.

Dra. ROSATO, Vilma G.

Dr. Ing. VILLAGRAN ZACCARDI, Yury A.

Dr. Ing. ZERBINO, Raúl L.

## ÍNDICE

- |   |           |
|---|-----------|
| <b>1.- Pinturas híbridas de alto contenido de sólidos basadas en resina epoxi alifática-alcoxisilanos para la protección de maderas.</b>                    | <b>7</b>  |
| <i>P. V. Alfieri, L. P. Traversa, G. Canosa, C. A. Giudice</i>  |           |
| <b>2.- Crecimientos biológicos sobre materiales de construcción y el ambiente: biofilmes sobre las torres de enfriamiento y construcciones de La Plata.</b> | <b>23</b> |
| <i>V. G. Rosato</i>   |           |
| <b>3.- Nuevos registros de polaridad magnética en la ciudad de La Plata, Argentina.</b>   | <b>29</b> |
| <i>Y. Rico, M. Gómez Samus, M. S. Mendoza, A. M. Alfonso Ariza</i>  |           |
| <b>4.- Evaluación de la resistencia al impacto de hormigones reforzados con fibras.</b>   | <b>53</b> |
| <i>J. C. Vivas, R. Zerbino, M. C. Torrijos, G. Giaccio</i>  |           |
| <b>5.- Impacto de las construcciones de hormigón en el paisaje urbano.</b>  | <b>67</b> |
| <i>A. López, A. R. Di Sarli, L. P. Traversa</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
- Estatuaria
- 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 trabajos cuyas temáticas abarcan diferentes temas relacionados con protección de maderas, crecimientos biológicos, constitución de suelos, hormigones reforzados con fibras y el uso del hormigón en el entorno urbano. El primer trabajo analiza el desempeño de pinturas hídras de alto contenido de sólidos para protección de maderas con requerimientos de mínimo mantenimiento y alta durabilidad, donde el empleo de alcóxidos como modificadores de resinas epoxi alifáticas mostraron un desempeño superior al de la pintura de referencia, siendo aptas para su empleo en maderas expuestas a la intemperie. En el segundo trabajo se presenta un estudio de caracterización e identificación de crecimientos biológicos en una estructura particular de La Plata, realizándose su comparación con diferentes biofilmes hallados en otras construcciones de la región. La mayoría de los organismos hallados coinciden con los presentes en otras edificaciones de la ciudad, a excepción de uno de ellos (*Cosmarium*), el cual puede haber crecido debido a condiciones favorables del entorno. El tercer trabajo presenta los resultados de un estudio geológico realizado en una cantera de la ciudad de La Plata, observándose una consistencia en la susceptibilidad magnética registrada en otros loess/paleosuelos de la región pampeana. El cuarto trabajo versa sobre el desempeño bajo impacto de hormigones reforzados con fibras, siendo de particular interés la contribución que realizan las fibras frente a este tipo de solicitaciones una vez el hormigón se ha fisurado. Si bien existe una clasificación basada en la resistencia residual a flexión, no hay relaciones entre ésta y la respuesta al impacto. Se presenta una propuesta de método de ensayo, cuyos resultados indican una gran sensibilidad para valorar la respuesta al impacto del HRF. El último de los trabajos analiza la versatilidad de las mezclas cementíceas y el impacto generado por tres diferentes obras elaboradas en hormigón en el entorno de su emplazamiento. El común denominador de los tres casos analizados es la inspiración, como eje motivador para lograr la modificación del paisaje urbano a través del uso del hormigón.

La Plata, noviembre de 2019



# PINTURAS HÍBRIDAS DE ALTO CONTENIDO DE SÓLIDOS BASADAS EN RESINA EPOXI ALIFÁTICA-ALCOXISILANOS PARA LA PROTECCIÓN DE MADERAS

## HYBRID HIGH SOLIDS COATING BASED ON ALPHATIC EPOXY RESIN-ALKOXYSILANES FOR WOOD PROTECTION

Paula V. Alfieri<sup>1</sup>, Luis P. Traversa<sup>2</sup>, Guadalupe Canosa<sup>3</sup>, Carlos A. Giudice<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Profesional Asistente CICPBA-LEMIT, paulaalfieri@gmail.com

<sup>2</sup> Investigador Emerito CICPBA-LEMIT, direccion@lemit.gov.ar

<sup>3</sup> Inv. Adjunto CIDEPINT-CONICET, guadalupecanosa@yahoo.com.ar

<sup>4</sup> UTN-FRLP, giudiceca@gmail.com

### RESUMEN

Se diseñaron pinturas híbridas de alto contenido de sólidos, destinadas a la protección de maderas con necesidades de mínimo mantenimiento y alta durabilidad incluso expuestas a la intemperie, basadas fundamentalmente en una resina epoxi alifática, curada con un aminosilano y modificada químicamente con alcoxisilanos como material co-formador de película, dióxido de titanio como pigmento opaco y un silicato de calcio sintético y barita como extendedores.

Las formulaciones híbridas de la resina epoxi alifática y los siloxanos, preparadas en dos envases libres de humedad (uno de ellos con la base pigmentada indicada y el segundo con el aminosilano), presentaron una excelente estabilidad durante 12 meses en condiciones de laboratorio, corroborada a través de determinaciones de viscosidad a muy bajas velocidades de corte (control reológico). Además, estas pinturas reactivas mostraron excelente resistencia al agua y a la luz solar por lo que se concluye que pueden emplearse para la protección de maderas expuestas a la intemperie.

**Palabras clave:** alcoxisilanos, epoxi, recubrimiento, hidrorrepelencia, protección UV

### ABSTRACT

Hybrid high solids coatings were designed for wood protection. These presented high durability even those exposed to the weathered, with a minimum maintenance needed. Coating was based mainly on an aliphatic epoxy resin, cured with an aminosilane and chemically modified with alcoxysilanes as the film co-forming material, titanium dioxide as an opaque pigment and a synthetic calcium silicate and barite as extenders.

The hybrid formulations of the aliphatic epoxy resin and the siloxanes were prepared in two moisture-free containers (one with the indicated pigmented base and the second with the aminosilane), showed an excellent stability for 12 months in laboratory conditions, corroborated by through viscosity

determinations at very low shear rates (rheological control). In addition, these reactive paints exhibit excellent resistance to water and to sunlight, so it is concluded that they can be used for the protection of wood exposed to weathered.

**Keywords:** *alkoxysilanes, epoxy, coating, water repellency, UV protection*

## INTRODUCCIÓN

Entre los polímeros inorgánicos se encuentran los derivados del silicio; los alcoxisilanos, precursores de los polisiloxanos, tienen en su estructura molecular enlaces químicos del tipo  $\equiv\text{Si-O-}$  de alta resistencia; en ellos, el valor de la energía de enlace supera holgadamente a la del  $-\text{C-C-}$  presente en los polímeros orgánicos (por ejemplo, resinas epoxídicas y poliuretánicas) [1].

Los alcoxisilanos de uso más frecuente en pinturas presentan cadenas hidrocarbonadas vinculadas al silicio por enlaces covalentes, preferentemente alifáticas para evitar el amarillamiento que generan las estructuras aromáticas expuestas a la luz solar; a medida que aumenta la longitud de la cadena la hidrofobicidad se incrementa.

Los restantes enlaces covalentes vinculan el silicio con átomos de oxígeno y a través de éstos con hidrógeno o con grupos alquilo también con una cadena de longitud menor a los cinco o seis átomos de carbono para facilitar la cinética de las reacciones incluidas en el proceso sol-gel.

Los alcoxisilanos son solubles en alcoholes y en hidrocarburos tanto aromáticos como alifáticos.

Resulta oportuno explicitar que la reactividad de los alcóxidos se incrementa con el número de grupos  $-\text{OH}$  y  $-\text{OC}_2\text{H}_2\text{n}^+$  presentes en su estructura ya que éstos permiten la obtención de redes macromoleculares que contienen átomos de oxígeno, a través de reacciones de hidrólisis y condensación (resulta conveniente que haya al menos dos grupos hidrolizables para la polimerización) [2-6].

En este proceso, el pH juega un papel importante; a valores inferiores al punto isoeléctrico de la sílice se forma un gel polimérico mientras que a valores netamente alcalinos se forma un gel coloidal de menor superficie específica y densidad. A medida que la gelificación progresa, se produce una contracción volumétrica espontánea e irreversible de la red gelificada, con la expulsión del líquido de los poros (alcohol y agua de las reacciones de hidrólisis y condensación) formando el llamado xerogel.

En pinturas conformadas particularmente sólo por polisiloxanos se debe evitar la formación de grietas durante el secado provocadas por la elevada tensión superficial (creciente diferencia de presión a medida que disminuye la distancia entre las partículas).

La solución más simple consiste en permitir la evaporación de los productos de reacción a una velocidad muy reducida; este método, si bien es efectivo, no resulta en muchos casos práctico debido a los prolongados tiempos de secado requeridos (semanas e incluso meses para formar un sistema seco sin grietas). El citado lapso puede disminuirse sustancialmente incorporando aditivos químicos que modifiquen la tensión superficial del líquido intersticial, permitiendo la eliminación rápida de los componentes volátiles sin formación de grietas.

Resulta oportuno mencionar que cuando los polisiloxanos se emplean conjuntamente con resinas orgánicas, generalmente no se observan grietas durante la formación de la película.

El objetivo de la presente investigación fue el diseño de pinturas híbridas de alto contenido de sólidos, destinadas a la protección de maderas con necesidades de mínimo mantenimiento y alta durabilidad incluso expuestas a la intemperie, basadas fundamentalmente en una resina epoxi alifática, curada con un aminosilano y modificada químicamente con alcoxisilanos como material co-formador de película, dióxido de titanio como pigmento opaco y un silicato de calcio sintético y barita como extendedores.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología incluyó las siguientes etapas: (i) la selección de la resina epoxi alifática, (ii) la selección de un aminosilano como agente de curado de la resina epoxi alifática y de alcoxisilanos como material co-formador de película, (iii) el diseño de la pigmentación, (iv) la formulación y manufactura de las pinturas híbridas, y finalmente, (v) la preparación de los paneles.

### Selección de la resina epoxi alifática

Las pinturas epoxídicas son ampliamente conocidas y han logrado alta aceptación comercial como pinturas de fondo en sistemas protectores para su aplicación sobre sustratos diversos (acero, hormigón, madera, etc.). En general no presentan buena resistencia a la fracción ultravioleta de la luz solar cuando son expuestas por lapsos prolongados a la intemperie antes de la aplicación de la pintura intermedia o de terminación [7].

Por lo tanto, surgió la necesidad de desarrollar pinturas basadas en resinas epoxídicas con mejor retención de color y brillo. Ello se ha logrado modificando las resinas epoxi convencionales (glicídicas, elaboradas a partir del bisfenol A y epíclorhidrina) con resinas acrílicas y también empleando resinas melamínicas co-eterificadas con grupos epoxi y resinas de poliéster epoxidadas. Resulta oportuno mencionar que los desarrollos citados, si bien permitieron alcanzar mejor resistencia a la intemperie, no alcanzaron

la eficiencia de materiales poliméricos específicos para exteriores tales como las resinas acrílicas, poliuretánicas, etc. [8-12].

Como es bien conocido, las resinas epoxi alifáticas parten de alcoholes (generalmente dioles y sólo en algunos casos mono y polioles) epoxi-funcionalizados con epíclorhidrina, generando glicidil éteres mono, di y polifuncionales. Los alcoholes alifáticos conducen a resinas de mayor flexibilidad mientras que los cicloalifáticos compatibilizan mejor el balance de la dureza con la flexibilidad.

En los últimos años se están estudiando sistemas híbridos conformados por resinas epoxi y polisiloxanos para pinturas de terminación [13-19]. En estos estudios se han empleado resinas epoxi alifáticas para mejorar el comportamiento frente a la luz solar (las estructuras aromáticas producen pérdida de color y brillo), con dos grupos epóxido por molécula, preferentemente en forma líquida (habitualmente incoloras a ligeramente amarillentas; densidad entre 1,05 y 1,10 g.cm<sup>-3</sup>) para reducir el nivel de componentes volátiles de la composición y con un peso equivalente de epóxido (WPE, "weight per epoxide") generalmente entre 150 y 300.

Para las presentes investigaciones que involucran el estudio de pinturas híbridas de altos sólidos se ha seleccionado una resina epoxi alifática líquida: éter diglicídico del 1,4-butanodiol (WPE 171).

### Selección de un aminosilano como endurecedor de la resina epoxi alifática y de alcoxisilanos como material co-formador de película

En lo referente al aminosilano como agente de curado de la resina epoxi alifática, es importante mencionar que, en general, resulta conveniente seleccionar aminosilanos difuncionales (reactividad dos, es decir que presenten sólo dos hidrógenos amínicos) dado que reaccionan con la resina diepoxídica alifática para formar un polímero epoxídico lineal con una superior

resistencia a la intemperie.

Teniendo en cuenta que a valores ácidos se forma un elevado número de oligómeros (reducido peso molecular) y que a valores alcalinos se constituyen pocas y grandes unidades poliméricas (alto peso molecular), se seleccionó para esta investigación el aminopropil metildietoxisilano (fórmula química,  $C_8H_{21}NO_2Si$ ; peso molecular, 191,3; peso equivalente, 95,7; aspecto, líquido claro; densidad,  $0,916 \text{ g.cm}^{-3}$ ). Los grupos amino de los alcóxidos seleccionados le otorgan alcalinidad en solución acuosa y se comportan como catalizadores alcalinos de las reacciones de hidrólisis y condensación.

A partir del peso equivalente del aminosilano (peso molecular dividido por el número de átomos de hidrógeno activos) y el WPE de la resina epoxi alifática considerada, se calculó la cantidad estequiométrica de aminosilano a incorporar a una masa dada de la base epoxídica.

Con respecto al polisiloxano seleccionado como material co-formador de película, el peso molecular más conveniente depende del uso. Así, por ejemplo, para su empleo como único aglutinante en pinturas no debe ser inferior a 700-800 con el fin de producir una densa red macromolecular con adecuadas propiedades de película ni tampoco superior a 5000-6000 para no generar sistemas muy viscosos que obliguen a la incorporación de solventes para facilitar su aplicación y que incrementan además el contenido de componentes orgánicos volátiles de la formulación (VOC, "Volatile Organic Compounds"). En cambio, el peso molecular de los polisiloxanos como modificadores reactivos de otros materiales formadores de película que conducen a sistemas híbridos (epoxi, poliuretano, acrílico, etc.) resulta conveniente que sea inferior a 300-400 para elaborar productos de alto contenido de sólidos.

Las características mencionadas de los compuestos inorgánicos derivados del silicio condujeron a la selección de los siguientes alcóxidos como coligante de la citada resina epoxi

alifática: dimetildietoxisilano (fórmula empírica,  $C_6H_{16}O_2Si$ ; peso molecular, 148,3; líquido claro; densidad,  $0,851 \text{ g.cm}^{-3}$ ); metiltrietoxisilano (fórmula empírica,  $C_7H_{18}O_3Si$ ; peso molecular, 178,3; líquido claro; densidad,  $0,895 \text{ g.cm}^{-3}$ ); líquido claro; densidad,  $0,865 \text{ g.cm}^{-3}$ ) y finalmente tetraetoxisilano (fórmula empírica,  $C_4H_{20}O_4Si$ ; peso molecular, 208,3; líquido claro; densidad,  $0,934 \text{ g.cm}^{-3}$ ).

Las películas híbridas fueron formuladas con las siguientes relaciones en volumen resina epoxi alifática/alcóxido en la composición del material polimérico base: 30/70, 40/60, 50/50, 60/40 y 70/30.

Resulta oportuno mencionar que se empleó como referencia una pintura basada en una epoxi convencional (WPE, 500) reticulada con un agente poliamínico (dietilentriamina, peso equivalente 20,6), empleando la misma pigmentación e idéntico valor de la PVC (25%) que en las pinturas híbridas orgánica-inorgánicas.

### Diseño de la pigmentación

Se incluyó un dióxido de titanio tipo R1 (según norma DIN 55912, un tratamiento de superficie con productos orgánicos e inorgánicos, hasta 3; densidad,  $4,2 \text{ g.cm}^{-3}$ ; índice de absorción de aceite, 16) como pigmento opaco y un silicato de calcio sintético (densidad,  $2,3 \text{ g.cm}^{-3}$ ; índice de absorción de aceite, 280) y barita (densidad,  $4,5 \text{ g.cm}^{-3}$ ; índice de absorción de aceite, 9) como extendedores, en relación 1,0/1,5 p/p.

### Formulación y manufactura de las pinturas híbridas

*Agua para la hidrólisis de los alcóxidos y la policondensación de los silanoles.* En la presente experiencia no se incorporó agua en las formulaciones para no afectar la estabilidad en el envase de las pinturas híbridas. Se consideró suficiente la provisión de agua principalmente desde la atmósfera y aquella absorbida en el

pigmento y los restantes componentes de la formulación.

*Contenido de componentes orgánicos volátiles.* Los siloxanos tienen viscosidades muy bajas y por lo tanto permiten la formulación de composiciones de alto contenido de sólidos, es decir pinturas con reducidos valores de VOC (“Volatile Organic Compounds”).

Por su parte, los sistemas epoxi alifáticos-siloxanos tampoco requieren teóricamente solventes en la formulación ya que ambos materiales formadores de película son líquidos; por lo tanto, estos sistemas híbridos podrían diseñarse con un volumen de sólidos de 100%. Sin embargo, para sistemas pigmentados esto no resulta posible desde un punto de vista práctico.

Las pinturas diseñadas en esta experiencia, basadas en epoxi alifático-siloxano, fueron formuladas con un volumen de sólidos del 90% (como solvente se empleó acetato de butilo).

*Concentración de pigmento en volumen.* Una serie preliminar de pinturas fueron formuladas en un amplio espectro de valores de concentración de pigmento en volumen (PVC, “Pigment Volume Concentration”) con el fin de estimar la concentración crítica de pigmento en volumen (CPVC, “Critical Pigment Volume Concentration”); la preparación de las citadas pinturas y de los correspondientes paneles, con la tensión superficial ajustada en todos los casos a un valor de  $40 \text{ dina.cm}^{-1}$ , fue realizada como se indica más abajo.

Los valores de la CPVC obtenidos en ensayos preliminares de permeabilidad y de resistencia a la formación de ampollas oscilaron en un estrecho rango comprendido entre 32 y 35% para un espesor de película seca entre 220 y 230  $\mu\text{m}$  para todas las muestras. El bajo valor de la CPVC es atribuible al elevado índice de absorción de aceite del silicato sintético. El valor de la PVC seleccionado fue 25,0 %.

2.4.4 Manufactura. Los pigmentos se dispersaron en el vehículo consistente en la resina epoxi alifática, el solvente calculado para alcanzar aproximadamente el 90% de sólidos en volumen y el dispersante/estabilizante de la dispersión; el proceso se realizó en una dispersora de alta velocidad, durante aproximadamente 25-30 minutos (7-8 de la cuña Hegman); luego, se incorporó el correspondiente siloxano y finalmente el agente reológico.

Las formulaciones híbridas de resina epoxi alifática y siloxano se prepararon en dos envases libres de humedad; uno de ellos con la base pigmentada indicada y el segundo con el aminosilano.

En forma previa a la aplicación de las pinturas se mezclaron los componentes de ambos envases (la vida de la mezcla, es decir el “pot-life”, osciló entre 5 y 7 horas a 20 °C, sin requerir tiempo de inducción).

En esta investigación, una resina comercial epoxi bifenol A se usó como ligante para preparar la pintura de referencia basada en la misma pigmentación que las pinturas híbridas diseñadas; dietilentriamina en cantidad estequiométrica fue usada como agente de curado a temperatura ambiente. Dado que su peso equivalente es 20,6 (PM, 103,0; cantidad de H<sup>+</sup>, 5), para polimerizar 100,0 g de resina epoxi de WPE (“weight per epoxyde”) igual a 500, se requirió 4,1 g de agente de curado (20,6x100/500). La manufactura se realizó de manera similar a la indicada para las pinturas híbridas.

### Preparación de las probetas de madera

Se seleccionó la especie *Araucaria angustifolia* debido a que es una madera porosa y moderadamente penetrable. Las probetas, libre de defectos, se prepararon con el tamaño adecuado para cada ensayo. Debido a que los grupos hidroxilo de la celulosa presentan baja accesibilidad (reactividad) [23] y con el fin de mejorar la adhesión por interacción química con los alcoxisilanos de la

pintura, la celulosa fue previamente activada por inmersión durante 2 horas con una solución de hidróxido de sodio (pH 8,5); luego, durante unos 5 minutos, se lavó con agua destilada para eliminar el álcali remanente de la superficie. En este proceso, se observa generalmente una eliminación parcial de la hemicelulosa y la lignina.

Luego del secado de las probetas en condiciones controladas de laboratorio ( $25\pm 2$  °C y  $65\pm 5\%$  de humedad relativa) hasta peso constante, se aplicaron con pincel dos capas de las pinturas experimentales alcanzando un espesor de película seca que osciló entre 220 y 230  $\mu\text{m}$ .

En todos los casos, y con el fin de asegurar el total secado/curado de las películas, las probetas fueron mantenidas en las citadas condiciones controladas de laboratorio durante diez días antes de comenzar los ensayos.

## ENSAYOS DE LABORATORIO

14

### Resistencia al agua

#### *Resistencia a la formación de ampollas*

Esta propiedad se determinó de dos maneras diferentes, una indirecta (permeabilidad al vapor de agua) y la siguiente directa (grado de ampollamiento):

- Permeabilidad al vapor de agua. Este ensayo sobre las películas de pinturas basadas en una epoxi alifática modificada en diferentes proporciones con alcoxisilanos se llevó a cabo bajo los lineamientos de la norma DIN 52615.

Se utilizaron placas de filtro de vidrio de borosilicato de 60 mm de diámetro, 4,5 mm de espesor y porosidad 3; el espesor de película seca osciló entre 220 y 230  $\mu\text{m}$ . Las placas de filtro, con la cara pintada hacia arriba, se introdujeron en un recipiente también de 60 mm de diámetro, en cuyo interior se dispuso agua destilada que no entró en contacto directo con las placas; luego se

selló el espacio anular entre la placa y el interior del recipiente de ensayo. Posteriormente, se determinó el peso de referencia.

La probeta se ubicó en una estufa de convección en condiciones de humedad y temperaturas controladas (50% y 23 °C, respectivamente); se determinó la cantidad de vapor que difundió en estado estacionario (peso constante en pesadas con intervalos de 24 horas).

Primeramente, se calculó la densidad de flujo de difusión de agua DDV, expresándola en  $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$  y luego el espesor de aire equivalente a la difusión de vapor de agua  $S_d$  (capa de aire en reposo que tiene la misma resistencia a la difusión de vapor de agua que la película de pintura del espesor considerado), empleando la expresión  $S_d = 20/\text{DDV}$  según DIN 52615 (valores crecientes se corresponden con menor permeabilidad al vapor de agua).

- **Grado de ampollamiento.** Este ensayo, realizado sobre paneles experimentales preparados de manera similar a los indicados anteriormente, se realizó durante 2500 horas en una cámara de humedad relativa 100%, bajo los lineamientos de la norma ASTM D2247. La evaluación de la resistencia al proceso osmótico se realizó aplicando la norma ASTM D714, en la que el tamaño de las ampollas se describe en una escala numérica arbitraria de 0 a 10, en la cual 10 representa ausencia mientras que la frecuencia es definida cualitativamente: D (densa), MD (medio densa), M (media) y P (poca).

#### *Permeabilidad al agua líquida*

El método de ensayo empleado sobre las películas híbridas para determinar la absorción capilar de agua se fundamentó en la norma DIN 52617.

La absorción capilar se determinó empleando ladrillos sílico-calcáreos de 4 cm de espesor; la superficie de ensayo fue 80,5  $\text{cm}^2$ . Los sustratos se dispusieron en una estufa de convección en condiciones de humedad y temperaturas

controladas (50% y 23 °C, respectivamente), hasta alcanzar peso constante.

Luego, en una de las caras, se aplicaron con pincel tres capas cruzadas a 90° con 24 h de intervalo entre ellas; el consumo equivalente fue 600 g.m<sup>-2</sup>. Las caras laterales de los ladrillos se impermeabilizaron con un esmalte bituminoso; la cara posterior permaneció sin tratamiento.

Las probetas preparadas de la manera descripta se dispusieron nuevamente en la estufa citada durante 28 días y se determinó el peso de referencia.

Posteriormente las probetas se ubicaron sobre un bastidor sumergiendo en agua destilada la cara de ensayo a una profundidad constante de 2 mm. Luego de 24 h de inmersión, los ladrillos fueron extraídos, secados superficialmente con papel y pesados.

El coeficiente de absorción debe ser igual o inferior a  $0,1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot(24 \text{ h})^{-1/2}$  (masa de agua absorbida por unidad de superficie durante 24 h de inmersión) para evitar el deterioro del sustrato.

### Resistencia a la luz solar

El envejecimiento acelerado de los paneles se realizó en un intemperiómetro de arco de xenón, según ciclo 1 de la Norma ASTM G155 (filtro, luz día; irradiancia, 0,35 W/m<sup>2</sup>.mm; longitud de onda, 340 nm; ciclo, 102 minutos de luz a 63 °C de temperatura de panel negro y 18 minutos de luz y pulverización de agua destilada) durante 300 horas.

*Retención de brillo.* La determinación de brillo se implementó con un equipo BYK Gardner Spectro Guide, aplicando un ángulo de incidencia y de reflexión de 60°. A los efectos de calcular la retención del brillo de las películas híbridas, se calculó el porcentaje del brillo inicial retenido dividiendo el valor del brillo de la película envejecida por el valor del brillo inicial y multiplicando por 100.

*Retención de color.* La determinación de color (Sistema CIELAB) se realizó con un aparato BYK Gardner Spectro Guide, empleando la fuente C (representa la luz solar promedio) con un recorrido de los rayos luminosos 45°/0°. Para determinar la retención de color se utilizó la ecuación  $\Delta E = (\Delta a^2 + \Delta b^2 + \Delta L^2)^{1/2}$ , donde  $\Delta a$  y  $\Delta b$  representan el incremento o la disminución de los índices de cromaticidad y  $\Delta L$  la diferencia de luminosidad.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se estima que la formación de película de las composiciones híbridas involucra la reacción de adición de los grupos funcionales oxirano, es decir los óxidos de etileno dispuestos en los extremos de la cadena lineal de la resina epoxídica alifática, con los hidrógeno reactivos del aminosilano empleado como agente de curado de la resina epoxi alifática y las reacciones de hidrólisis y condensación de los alcoxisilanos empleados como coligantes de la citada resina epoxi alifática y de la parte alcoxisilano del propio agente de curado.

Se forma así un polímero totalmente reticulado de resina epoxi-polisiloxano, es decir que los componentes orgánico e inorgánico de la pintura se encuentran mutuamente vinculados a través de enlaces químicos.

Ensayos de resistencia a la abrasión (método chorro de arena, ASTM D968 y desgaste por rotación, Taber Abraser) realizados en forma complementaria en laboratorio de los sistemas conformados por la resina epoxi alifática-aminosilano por un lado y alcoxisilanos por otro indican que la reacción de curado de la resina epoxi tiene una cinética sensiblemente más baja que las reacciones de hidrólisis y policondensación de los alcóxidos; esto fundamenta la formación de las citadas estructuras híbridas y además justifica la no incorporación de agua en la formulación de la pintura.

Paralelamente, las moléculas de alcóxidos que después de la hidrólisis conducen a la formación de

silanoles, también establecen enlaces covalentes con la madera: los grupos silanol son rápidamente adsorbidos sobre la superficie mediante formación de enlaces hidrógeno con los grupos hidroxilo de la celulosa (celulosa-OH); en una etapa posterior, tales enlaces se convierten en enlaces estables del tipo  $\equiv\text{Si-O-C}\equiv$  en la interfase por pérdida de agua [20-23].

## Resistencia al agua

### Resistencia a la formación de ampollas

- Permeabilidad al vapor de agua. El espesor de aire Sd, que se corresponde con un índice de permeabilidad al vapor de agua de las películas formuladas con los productos híbridos diseñados, fue en general decreciente (menor flujo difusional de vapor) con la disminución del contenido de alcoxisilanos en el material formador de película, Tabla 1.

Los resultados obtenidos indican que, para cada una de las relaciones resina epoxi alifática/alcóxido estudiadas, los correspondientes valores de Sd se incrementaron para las pinturas basadas en dimetildietoxisilano, metiltrietoxisilano y tetraetoxisilano. Ello se fundamentaría en la creciente reactividad de los alcóxidos en el orden citado (mayor número de grupos hidrolizables y condensables), lo que conduciría a una estructura polimérica más compacta y por lo tanto con mayor resistencia al flujo difusional de vapor.

Los valores obtenidos también permiten mencionar que la pintura basada en la resina epoxi alifática presentaría mayor índice de permeabilidad que los tres alcoxisilanos seleccionados (extrapolando los valores obtenidos, el valor de Sd se incrementa con el contenido de resina epoxi en el ligante).

Por su parte, la pintura de referencia basada en una resina epoxi convencional presentó el mayor valor

**Tabla 1.** Resistencia a la formación de ampollas

Tipo de alcóxido	Relación resina epoxi/alcóxido	Resistencia a la formación de ampollas		Permeabilidad al agua líquida, $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot(24\text{ h})^{-1/2}$
		Sd, m	Grado de ampollamiento	
Dimetildietoxisilano	30/70	0,03	10	1,22
	40/60	0,05	10	0,49
	50/50	0,07	10	0,09
	60/40	0,11	8-MD	0,04
	70/30	0,20	7-MD	0,03
Metiltrietoxisilano	30/70	0,04	10	1,21
	40/60	0,06	10	0,48
	50/50	0,08	9-F	0,10
	60/40	0,17	7-MD	0,04
	70/30	0,24	6-D	0,04
Tetraetoxisilano	30/70	0,05	10	1,18
	40/60	0,08	9-F	0,51
	50/50	0,09	8-F	0,11
	60/40	0,21	7-MD	0,05
	70/30	0,37	5-D	0,03
Referencia	-----	0,67	4-D	0,01

de Sd (0,67 m), es decir el menor valor de densidad de flujo de difusión de vapor de agua DDV.

- Grado de ampollamiento. Los valores experimentales incluidos en la Tabla 1 indican que, para todos los ligantes, la disminución de alcóxidos en el material formador de película (relación creciente de resina epoxi/alcóxido) condujo a un mayor grado de ampollamiento.

Por otro lado, el grado de ampollamiento se incrementó para los ligantes basados en dimetildietoxisilano, metiltrietoxisilano y tetraetoxisilano, en ese orden, para todos los niveles porcentuales incluidos en la composición.

La citada diferente reactividad de los alcóxidos que conduce a estructuras poliméricas con diferente resistencia al flujo difusional de vapor e interacción química con el sustrato (enlace  $\equiv\text{C}-\text{O}-\text{Si}\equiv$ ) sustenta los resultados obtenidos.

Los valores obtenidos también permiten mencionar que la pintura basada en la resina epoxi alifática presentaría mayor grado de ampollamiento que los tres alcoxisilanos seleccionados (extrapolando los valores obtenidos, la formación de ampollas se incrementa con el contenido de resina epoxi en el ligante).

Por su parte, la pintura de referencia presentó el mayor valor de grado de ampollamiento, 4-D.

El grado de ampollamiento de las películas está en total concordancia con los datos del índice de permeabilidad de las películas: valores crecientes de Sd indican mayor dificultad para la disipación del vapor de agua, lo cual contribuye a la formación de ampollas (proyecciones ocupadas con líquido o gas por pérdida localizada de adhesión de la película).

- Análisis simultáneo de la permeabilidad al vapor de agua y del grado de ampollamiento. Con el fin de establecer la eficiencia de cada pintura,

se promediaron los valores obtenidos en ambos ensayos.

Todos los valores se llevaron a una escala de 0 a 10; para Sd, se asignaron respectivamente 0,67 m (panel de referencia) y 0,03 m (el valor más bajo de la serie, el cual cumple con los mayores requisitos de calidad). Por su parte, para el grado de ampollamiento, inicialmente se promediaron los correspondientes al tamaño y la frecuencia; para cuantificar la frecuencia, los siguientes valores numéricos fueron asignados: sin ampollamiento, 10,0; F (poco), 7,5; M (medio), 5,0; MD (medio denso), 2,5 and D (denso), 0,0.

Los valores medio de la resistencia a la formación de ampollas permitieron evaluar la influencia de las variables consideradas (tipo de alcóxido y relación resina epoxi alifática/alcoxisilano).

Los resultados se muestran en la Tabla 2; los valores medio más altos indican la mejor performance. Así, por ejemplo, se indica que (i) con respecto a la influencia del tipo de alcóxido, una mayor performance se alcanzó con dimetildietoxisilano (valor medio 8,5) que con metiltrietoxisilano (valor medio 7,8) y con tetraetoxisilano (valor medio 7,3); (ii) con respecto a la influencia de la relación resina epoxi alifática/alcóxido, se observó una disminución de los valores medio con el aumento de la relación (9,9; 9,4; 9,0; 6,2 y 4,7) y, finalmente, (iii) con respecto a la pintura de referencia, se alcanzó el más bajo valor medio (1,0).

En resumen, el análisis de los resultados que interpretan la resistencia promedio a la formación de ampollas indica que entre todas las pinturas híbridas estudiadas, la más adecuada para la protección de paneles de madera expuestos al medio ambiente está basada en la relación 30/70 de resina epoxi alifática/dimetildietoxisilano. Estos resultados se fundamentan en que valores crecientes de permeabilidad al vapor permiten una mejor disipación de agua promoviendo mayor

resistencia a la formación de ampollas.

Por su parte, la pintura de referencia, la muy baja disipación de vapor condujo a un elevado grado de ampollamiento responsable de la baja performance simultánea.

### Permeabilidad al agua líquida

Los resultados se incluyen en la Tabla 1. Todos los valores se llevaron a una escala de 0 a 10; para la permeabilidad al agua líquida, se asignaron respectivamente  $0,01 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot(24 \text{ h})^{-1/2}$  (panel de referencia) y  $1,22 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot(24 \text{ h})^{-1/2}$  (el valor más alto de la serie), Tabla 2.

Los alcoxisilanos seleccionados, dado que en su estructura tienen sólo una o dos cadenas hidrocarbonadas cortas (uno o dos grupos metilo en el metiltrietoxisilano y en el dimetildietoxisilano, respectivamente) o ninguna cadena hidrocarbonada (tetraetoxisilano), no le confieren hidrofobicidad a la película; ello fundamenta que presenten el mismo valor medio de 7,0 para los tres alcóxidos.

Por otro lado, las películas híbridas presentaron valores medio decrecientes del coeficiente de absorción de agua con el aumento de la relación resina epoxi alifática/alcóxido (disminución de silanos) en la composición del material polimérico base; respectivamente para las relaciones en volumen 30/70, 40/60, 50/50, 60/40 y 70/30, los valores de los coeficientes fueron 0,1; 6,0; 9,2; 9,7 y 9,8  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot(24 \text{ h})^{-1/2}$ . Por su parte, la pintura de referencia presentó el valor más alto (mejor performance),  $10,0 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot(24 \text{ h})^{-1/2}$ .

Los resultados indican que las pinturas híbridas conforman una película protectora en la que la absorción de agua aumenta con la incorporación de silanos a la dispersión polimérica; ello indicaría que los silanos polimerizados generan una película de poro abierto.

- Resistencia promedio al agua. Con el fin de establecer eficiencia cada pintura, se promediaron los valores de la resistencia a la formación de ampollas y de la permeabilidad al agua líquida, Tabla 2. Los valores medio más altos indican la mejor performance.

Tabla 2. Resistencia promedio al agua

Tipo de alcóxido	Formación de ampollas	Permeabilidad al agua líquida	Resistencia promedio al agua
Dimetildietoxisilano	8,5	7,0	7,8
Metiltrietoxisilano	7,8	7,0	7,4
Tetraetoxisilano	7,3	7,0	7,2

Relación resina epoxi/alcóxido	Formación de ampollas	Permeabilidad al agua líquida	Resistencia promedio al agua
30/70	9,9	0,1	5,0
40/60	9,4	6,0	7,7
50/50	9,0	9,2	9,1
60/40	6,2	9,7	8,0
70/30	4,7	9,8	7,2
Referencia	1,0	10,0	5,5

Con respecto a la influencia del tipo de alcóxido, una mayor performance se alcanzó con dimetildietoxisilano (valor medio 7,8) que con metiltrietoxisilano (valor medio 7,4) y con tetraetoxisilano (valor medio 7,2), es decir que se mantuvo la tendencia evidenciada en los ensayos de resistencia a la formación de ampollas: la creciente reactividad de los alcóxidos en el orden citado conduciría a una estructura polimérica más compacta y por lo tanto con mayor resistencia al flujo difusional de vapor.

Por otro lado, se observó que la formulación con ambos formadores de película, en la relación volumétrica 50/50, condujo a películas de pintura con valores satisfactorios de la resistencia a la formación de ampollas y de la permeabilidad al agua líquida, alcanzando un grado de compromiso aceptable entre el comportamiento por separado de las pinturas basadas en alcóxidos polimerizados y en la resina epoxi alifática. Esto significa que conforman un sistema en el que la absorción de agua aumenta sólo ligeramente por la incorporación de alcóxido a la resina hasta la relación citada, mientras que la resistencia a la formación de ampollas se incrementa sensiblemente ya que la película puede disipar adecuadamente el vapor de agua.

Finalmente, la pintura de referencia alcanzó un valor medio sólo ligeramente más alto que la relación 30/70 (5,5 y 5,0 respectivamente), lo cual se fundamentaría en que el elevado nivel

de alcóxidos en la formulación generarían una película de poro abierto altamente permeable al agua líquida.

### Resistencia a la luz solar

*Brillo inicial y retención de brillo.* En una primera etapa, se promediaron los valores iniciales de brillo correspondientes a cada relación resina/alcóxido para los tres tipos de alcóxido; los valores medio para las relaciones en volumen 30/70, 40/60, 50/50, 60/40 y 70/30 fueron respectivamente 72,7, 70,5, 69,7, 67,3 y 63,1 (los valores de desviación estándar oscilaron entre 0,8 y 1,2), Tabla 3.

Con respecto a la retención de brillo luego del envejecimiento de las películas, los valores medio para los tres tipos de alcóxido fueron decrecientes con el aumento de la relación resina epoxi alifática/alcóxido en la composición del material polimérico base; respectivamente para las relaciones en volumen 30/70, 40/60, 50/50, 60/40 y 70/30, dichos valores fueron 91,3, 90,6, 89,1, 85,7 y 73,2% (los valores de desviación estándar oscilaron entre 0,7 y 1,3), Tabla 3.

Los muy bajos valores de desviación estándar para los valores de brillo inicial y de retención de brillo indican la influencia no significativa del tipo de alcóxido sobre el brillo de las películas híbridas.

Resulta oportuno mencionar que la película de pintura de epoxi convencional empleada como

**Tabla 3.** Resistencia a la intemperie

Relación resina epoxi/alcóxido	Brillo		Retención de color $\Delta E$
	Inicial	Retención, %	
30/70	72,7	91,3	1,1
40/60	70,5	90,6	1,4
50/50	69,7	89,1	1,8
60/40	67,3	85,7	2,3
70/30	63,1	73,2	4,0
Referencia	62,0	2,3	22,4

referencia, la retención del brillo alcanzó el valor 2,3 (brillo inicial 62,0); como se esperaba, la baja retención de brillo corrobora que las pinturas convencionales a base de resina epoxi se degradan rápidamente por la acción de la luz solar.

El brillo inicial de las diferentes películas se debe fundamentalmente a las características intrínsecas de los propios materiales formadores de película, de los pigmentos y de su relación en volumen. Por su parte, la mayor retención de brillo con el incremento de alcóxido en las películas híbridas estudiadas está sustentada en las características inorgánicas del material co-formador de película (menos degradable que la resina epoxi alifática empleada).

*Retención de color:* El color es una propiedad óptica que depende fundamentalmente de la pigmentación (invariable en la formulaciones estudiadas); por lo tanto, en el presente trabajo se consideró sólo la retención de color, ya que durante los ensayos de envejecimiento a la acción de la luz solar, esta propiedad depende conjuntamente de la estabilidad del material formador de película y de los pigmentos empleados en la composición.

La excelente estabilidad del color de las películas formuladas con los productos híbridos queda reflejado por los valores de  $\Delta E$ , Tabla 3; éstos fueron decrecientes (mayor estabilidad) con el aumento del contenido de alcóxido en el material formador de película: respectivamente para las relaciones en volumen 70/30, 60/40, 50/50, 40/60 y 30/70 los valores fueron 4,0; 2,3; 1,8; 1,4 y 1,1.

Con respecto al comportamiento de la película empleada como referencia (pintura epoxi convencional), el valor de  $\Delta E$  fue 22,4, lo cual indica una fuerte degradación del material polimérico orgánico que contrasta fuertemente con la estabilidad de los alcóxidos hidrolizados y condensados.

*Análisis simultáneo de brillo y color.* Debido a que las películas de pintura pueden presentar el

mismo valor de retención de brillo pero partiendo de valores iniciales diferentes, se calculó en una primera etapa el valor medio del brillo inicial y de la retención del brillo. Los valores de brillo y de retención de brillo, que varían de 0 a 100, fueron proporcionalmente expresados en la escala 0 a 10. En el caso de la retención de color, para un valor de  $\Delta E$  inferior a 10, se calculó el complemento a 10; para 10 o mayor, se consideró 0.

Con el propósito de establecer la eficiencia de cada pintura sobre la resistencia a la luz solar, se calcularon los valores medio de ambas propiedades ópticas. Los resultados se muestran en la Tabla 4; los valores medio más altos indican la mejor performance.

Por ejemplo, la Tabla 4 indica que con respecto a la relación resina epoxi alifática/alcóxido, un aumento de la misma condujo a una disminución de los valores medio (por ejemplo, 8,6 y 6,4 respectivamente para las relaciones 30/70 y 70/30). Por su parte, la pintura de referencia, si bien presentó un valor aceptable de brillo inicial (brillante), la muy baja retención de brillo y de color condujo a una baja performance en la resistencia a la luz solar; el valor medio alcanzado fue el menor de toda la serie (1,6) como era previsible según las experiencias previas.

**Tabla 4.** Análisis simultáneo de brillo y color

Relación resina epoxi/alcóxido	Valor medio
30/70	8,6
40/60	8,3
50/50	8,1
60/40	7,7
70/30	6,4
Referencia	1,6

- Eficiencia global de las pinturas híbridas de altos sólido

Con el propósito de establecer la eficiencia global de cada pintura, se calcularon los valores medio correspondientes a la resistencia al agua y a la luz solar, Tabla 5. El valor medio más alto se corresponde con la mejor eficiencia.

Los resultados indican que el tipo de alcóxido influye en la eficiencia global, dado que si bien no ejerce influencia en la resistencia a la luz solar sí lo hace en la resistencia al agua por las razones oportunamente mencionadas. En consecuencia, el mejor comportamiento se alcanzó con el dimetildietoxisilano, seguido por el metiltrietoxisilano y por el tetraetoxisilano, en ese orden.

Con respecto a la influencia de la composición híbrida del material formador de película, el mejor comportamiento fue obtenido con la relación 50/50 (valor medio más elevado, 8,6). Resulta oportuno mencionar que el citado valor promedio se alcanzó con valores individuales satisfactorios de todas propiedades consideradas, lo cual resulta altamente significativo ya que un elevado valor promedio no asegura por sí solo que cada una de las propiedades cumpla con los requisitos mínimos de comportamiento.

La performance fue decreciendo hacia las relaciones extremas (idéntico valor para 30/70 que

para 70/30) lo cual indica que la eficiencia de las pinturas depende fuertemente de la influencia de ambos materiales formadores de película.

Finalmente, la pintura de referencia, alcanzó el valor medio más bajo de la serie (3,6), lo cual indica que la incorporación de un co-ligante inorgánico del tipo organosiliconado mejora en todos los casos la eficiencia global frente a la acción simultánea del agua y de la luz solar.

En resumen, el análisis simultáneo de todas las variables indica que entre las pinturas híbridas estudiadas, la más adecuada con el objeto de proteger a maderas expuestas a la intemperie estuvo basada en dimetildietoxisilano como co-ligante en la relación 50/50. Sin embargo, cabe mencionar que dado que también se obtuvieron buenas performances para otras relaciones, la selección final de la misma debe realizarse a través de estudios técnico-económicos.

## CONCLUSIONES

- El empleo de alcóxidos como modificadores de resinas epoxi alifáticas permitieron elaborar pinturas híbridas con una sustancial mejor performance que la pintura de referencia a base de una resina epoxi convencional. Estas pinturas reactivas mostraron excelente resistencia al agua y a la luz solar por lo que se concluye que pueden emplearse para la protección de maderas expuestas a la intemperie.

- Las formulaciones híbridas de la resina epoxi alifática y los siloxanos, preparadas en dos envases libres de humedad (uno de ellos con la base pigmentada indicada y el segundo con el aminosilano), presentaron una excelente estabilidad durante 12 meses en condiciones de laboratorio, corroborada a través de determinaciones de viscosidad a muy bajas velocidades de corte (control reológico).

- A pesar del reducido VOC de las composiciones híbridas epoxi/polisiloxanos formuladas

Tabla 5. Performance global

Relación resina epoxi/alcóxido	Valor medio
30/70	6,8
40/60	8,0
50/50	8,6
60/40	7,6
70/30	6,8
Referencia	3,6

(aproximadamente 90% de sólidos en volumen), no se requirió adelgazamiento para su aplicación y por lo tanto se logró una reducción significativa de las emisiones de disolventes a la atmósfera cumpliendo así holgadamente con las regulaciones ambientales internacionalmente aceptadas.

## REFERENCIAS

- 1.- Martin K. Beyer, The mechanical strength of a covalent bond calculated by density functional theory, *Journal of Chemical Physics*, Volume 112, Issue 17, 7307-7312 (2000).
- 2.- M. Vezir Kahraman, Murat Kuğu, Yusuf Menceloğlu, Nilhan Kayaman-Apohan, Atilla Güngör; The novel use of organo alkoxy silane for the synthesis of organic-inorganic hybrid coatings; *Journal of Non-Crystalline Solids*; Volume 352, Issues 21-22, 2143-2151 (2006).
- 3.- Dimitirev, Y.; Y. Ivanova; R. Iordanova (2008). History of Sol-Gel Science and Technology (review), *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy* 43 (2), 71-97.
- 4.- Stefano Zanini, Claudia Riccardi, Marco Orlandi, Valeria Fornara, Maria Perla Colombini, Dorina Ines Donato, Stefano Legnaioli, Vincenzo Palleschi. Wood coated with plasma-polymer for water repellence; *Wood Science and Technology*; 2008, Volume 42, Issue 2, 149-160.
- 5.- Ioan Marcu , Eric S. Daniels , Victoria L. Dimonie, Cornel Hagiopol , James E. Roberts and Mohamed S. El-Aasser ; Incorporation of Alkoxysilanes into Model Latex Systems: Vinyl Copolymerization of Vinyltriethoxysilane and n-Butyl Acrylate; *Macromolecules*, 2003, 36 (2), 328-332.
- 6.- Durán, A.; Castro, Y.; Aparicio, M.; Conde, A.; de Damborenea, J. J. Protection and surface modification of metals with sol-gel coatings. *International Materials Reviews*, Volume 52, Number 3, May 2007, pp. 175-192.
- 7.- Jean Pierre Pascault and Roberto J. J. Williams; *Epoxy Polymers*; Wiley-VCH Verlag GmbH & Co, KGaA, Weinheim; ISBN: 978-3-527-32480-4; 1-357, 2009
- 8.- A. Anand Prabu, M. Alagar; Mechanical and thermal studies of intercross-linked networks based on siliconized polyurethane-epoxy/unsaturated polyester coatings; *Progress in Organic Coatings*, Volume 49, Issue 3, 2004, 236-243.
- 9.- Eram Sharmin, L. Imo, S. M. Ashraf, Sharif Ahmad. Acrylic-melamine modified DGEBA-epoxy coatings and their anticorrosive behavior; *Progress in Organic Coatings*, Volume 50, Issue 1, 2004, 47-54.
- 10.- D. K. Chattopadhyay, Siva Sankar Panda, K. V. S. N. Raju. Thermal and mechanical properties of epoxy acrylate/methacrylates UV cured coatings. *Progress in Organic Coatings*, Volume 54, Issue 1, 2005, 10-19.

- 11.- Wen-Yi Chen, Yen-Zen Wang, Feng-Chih Chang; Thermal and Flame Retardation Properties of Melamine Phosphate-Modified Epoxy Resins. *Journal of Polymer Research*, 2004, Volume 11, Issue 2, 109-117.
- 12.- R. Mafi, S.M. Mirabedini, R. Naderi, M.M. Attar; Effect of curing characterization on the corrosion performance of polyester and polyester/epoxy powder coatings; *Corrosion Science*, Volume 50, Issue 12, 2008, 3280-3286.
- 13.- Pinggui Liu, Jiangxuan Song, Lihua He, Xingquan Liang, Heyan Ding, Qifang Li; Alkoxysilane functionalized polycaprolactone/polysiloxane modified epoxy resin through sol-gel process; *European Polymer Journal*, Volume 44, Issue 3, 2008, 940-951.
- 14.- Ramesh R. Pant, James L. Buckley, Preston A. Fulmer, James H. Wynne, D. Michelle McCluskey, J. Paige Phillips; Hybrid siloxane epoxy coatings containing quaternary ammonium moieties; *Journal of Applied Polymer Science*, Volume 110, Issue 5, 3080-3086, 2008.
- 15.- Sharif Ahmad, A.P. Gupta, Eram Sharmin, Manawwer Alam, S.K. Pandey; Synthesis, characterization and development of high performance siloxane-modified epoxy paints; *Progress in Organic Coatings*, Volume 54, Issue 3, 2005, 248-255.
- 16.- Wei-Gang Ji, Ji-Ming Hu, Liang Liu, Jian-Qing Zhang, Chu-Nan Cao; Improving the corrosion performance of epoxy coatings by chemical modification with silane monomers; *Surface and Coatings Technology*, Volume 201, Issue 8, 2007, 4789-4795.
- 17.- Jacob R. Svendsen, Georgios M. Kontogeorgis, Søren Kiil, Claus E. Weinell, Martin Grønlund; Adhesion between coating layers based on epoxy and silicone. *Journal of Colloid and Interface Science*, Volume 316, Issue 2, 2007, 678-686.
- 18.- Ji, W.; Hu, J.; Liu, L.; Zhang, J. and Cao, C. Improving the corrosion performance of epoxy coatings by chemical modification with silane monomers. *Surface & Coatings Technology*. 2007, no. 201, p. 4789-4795.
- 19.- Shon, M. and Kwon, H. Comparison of surface modification with amino terminated polydimethylsiloxane and amino branched polydimethylsiloxane on the corrosion protection of epoxy coating. *Corrosion Science*, 2009, no. 51, p. 650-657.
- 20.- P.H. Suegama, H.G. de Melo, A.A.C. Recco, A.P. Tschiptschin, I.V. Aoki. Corrosion behavior of carbon steel protected with single and bi-layer of silane films filled with silica nanoparticles. *Surface and Coatings Technology*, Volume 202, Issue 13, 2008, 2850-2858.
- 21.- Xueming Wang, Guoli Li, Aiju Li, Zuoguang Zhang. Influence of thermal curing on the fabrication and properties of thin organosilane films coated on low carbon steel substrates. *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 186, Issues 1-3, 2007, 259-264.

22.- Guoli Li, Xueming Wang, Aiju Li, Weiqiang Wang, Liqiang Zheng. Fabrication and adhesive properties of thin organosilane films coated on low carbon steel substrates. *Surface and Coatings Technology*, Volume 201, Issue 24, 2007, Pages 9571-9578.

23.- Yesuke Aoki, Shuhei Nakamura, Tetsushi Okamoto and Takuy Shindou. Electrical Insulating and Heat-Resistive Properties of PDMS-TEOS Hybrid with Different Molar Ratio of TEOS to PDMS. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, Volume 464, Issue 1, 2007.

# CRECIMIENTOS BIOLÓGICOS SOBRE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y EL AMBIENTE: BIOFILMES SOBRE LAS TORRES DE ENFRIAMIENTO Y CONSTRUCCIONES DE LA PLATA

## BIOLOGICAL GROWTHS ON MATERIALS OF CONSTRUCTION AND THE ENVIRONMENT: BIOFILMES ABOUT COOLING TOWERS AND CONSTRUCTIONS OF LA PLATA

Vilma G. Rosato<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Investigadora Adjunta CONICET, LEMIT, UTN-FRLP. [direccion@lemit.gov.ar](mailto:direccion@lemit.gov.ar)

### RESUMEN

En las torres de enfriamiento de un complejo petroquímico situado a aprox. 3 km de la costa del Río de La Plata, se detectaron abundantes biofilmes que se estudiaron con el fin de caracterizar los materiales, identificar los organismos presentes y realizar una comparación de su composición con respecto a biofilmes hallados en otras construcciones de La Plata. Se realizaron diversos ensayos para caracterizar el materia (resistencia a compresión, absorción, porosimetría por intrusión de mercurio, observaciones con MEB y microanálisis EDE) y observaciones para identificar los organismos.

De acuerdo a los resultados de los ensayos realizados, el hormigón tiene buena densidad, es poco poroso y compacto, caracterizado como un material de buena calidad.

En cuanto a los biofilmes, se identificó que los organismos estudiados pertenecen a géneros conocidos de Cyanobacteria, Chlorophyta y musgos ya observados en otros edificios en la región de La Plata, excepto por *Cosmarium*, por lo que se infiere que las condiciones de alta humedad, condensación de vapor y temperaturas superiores al resto del entorno favorecen a esta especie, habitual en arroyos de agua poco contaminada.

También se verifica cómo, al margen de las cualidades de los materiales, las condiciones ambientales tienen una gran influencia en la bioreceptividad de los mismos.

**Palabras clave:** torres de enfriamiento, biofilmes, bioreceptividad, *Cosmarium*

### ABSTRACT

On the cooling towers of a petrochemical complex placed about 3 km away of the coast of Río de La Plata, abundant biofilmes were detected and they were studied with the aim of comparing their composition with other biofilms found on other constructions in La Plata. Various test were performed to assess the material's characteristics (compression resistance, absorption, mercury intrusion porosimetry,

SEM observations and EDS microanalysis) and observations to identify the organisms.

According to the tests 'results, the concrete has a good density, has low porosity and is compact, and therefore considered as a good quality material.

As regard biofilms, the studied organisms were identified as belonging to genera of Cyanobacteria, Chlorophyta and mosses already observed on other buildings in the región of La Plata, except for *Cosmarium*, so we infer that the conditions of high humidity, vapor condensation and temperatures higher than the rest of the environment are favourable to this species, usually found in non polluted water streams.

También se verifica cómo, al margen de las cualidades de los materiales, las condiciones ambientales tienen una gran influencia en la bioreceptividad de los mismos.

**Keywords:** *cooling towers, biofilms, bioreceptivity, Cosmarium*

## INTRODUCCIÓN

El crecimiento de microorganismos sobre los materiales de construcción depende de la interacción de tres factores: el material, las condiciones climáticas (iluminación, precipitaciones, nutrientes, etc.), determinando la bioreceptividad (Guillite, 1995).

Las torres de enfriamiento son un caso especial, ya que generan un microhábitat de gran humedad y temperaturas más elevadas que las del resto de la localidad.

En las torres de enfriamiento de un complejo petroquímico situado a aprox. 3 km. de la costa del Río de La Plata, se detectaron abundantes biofilmes y se desea realizar una comparación de su composición con respecto a biofilmes hallados en otras construcciones de La Plata como la Catedral o el Mausoleo de Yalour en el Cementerio de La Plata y materiales expuestos en la terraza del LEMIT (Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica), también a 3 km del área industrial.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Clima:** La temperatura media anual de La Plata es 16.2°C. Enero es el mes más caluroso con 28°C de promedio y Julio es el más frío, con una temperatura media de 9.9°C. Las temperaturas extremas fueron 43°C y -5°C.

El promedio anual de precipitaciones de 1040mm (obtenidos de datos de 100 años). El mes más lluvioso es marzo, con un promedio de 111mm y el menos lluvioso es junio, con un promedio de 63mm. La distribución estacional de la lluvia es bastante regular, aunque hay una disminución en invierno (Tabla 1). La humedad en promedio es de 70%.

En cuanto a la torre de enfriamiento, dada la condensación de vapor que genera, se estima que la humedad es de 100% y una temperatura de 30°, aproximadamente.

**Caracterización del material:** se realizaron

**Tabla 1.** Distribución de las lluvias durante el año.

Verano (Diciembre, Enero, Febrero)	289 mm	27%
Otoño (Marzo Abril, Marzo)	289 mm	27%
Invierno (Junio, Julio, Agosto)	196 mm	18,8%
Primavera (Septiembre, Octubre, Noviembre)	266 mm	25, 6%

ensayos de compresión, absorción de agua, porosidad y porosimetría por intrusión de mercurio, además de observaciones en MEB (microscopio electrónico de barrido) y microanálisis EDE (Espectrometría por Dispersión de Electrones) Se aclara que los testigos debieron cortarse para que todos tuvieran la misma altura y los extremos nivelados para realizar los ensayos de resistencia a compresión. Los demás ensayos, se realizaron sobre los trozos remanentes que, por lo dicho anteriormente, resultan de dimensiones diversas.

**Caracterización de los biofilmes:** se observaron bajo microscopio estereoscópico (AOC 4.2x) y microscopio óptico (Zelion 100x), para registrar sus características y determinarlos con ayuda de claves. También se consultó bibliografía disponible para compararlo con otros biofilmes estudiados en otras construcciones del área de La Plata, como la Catedral y el Mausoleo Yalour, además de los materiales expuestos en la terraza del LEMIT (Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica).

## RESULTADOS

### Características de los materiales

Se resumen en la Tabla 1. Se observa que los niveles de absorción y porosidad son bajos.

### SEM

En microscopio electrónico de barrido, se observan las perforaciones y el desgaste causado por el

biofilme en los agregados. En las figuras 1, 2 y 3 se observa además un filamento.

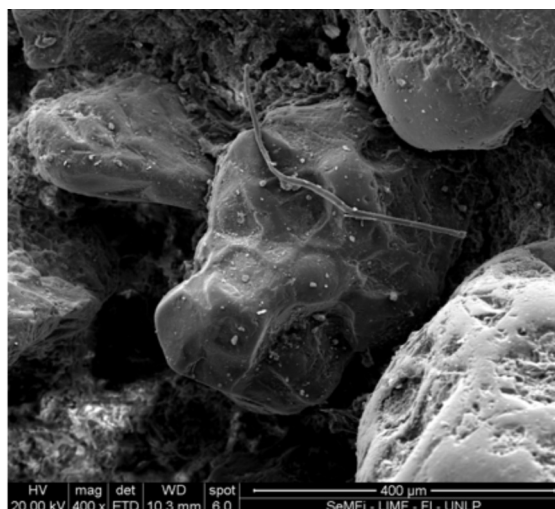


Figura 1.

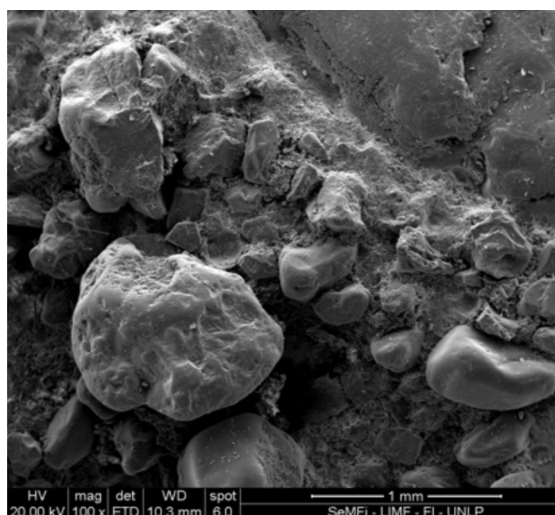


Figura 2.

Tabla 2.

Muestra	1	2	3	4
VOL (cm <sup>3</sup> )	28	55	132	28
Peso seco (g)	60,1	130,2	335,5	65,7
P.E	2,14	2,36	2,53	2,34
Peso 48 hs en agua (g)	64,2	140,5	345,36	69,6
Absorción (%)	6,82	7,9	2,94	5,93
Porosidad (%)	14,64	18,72	7,46	13,92

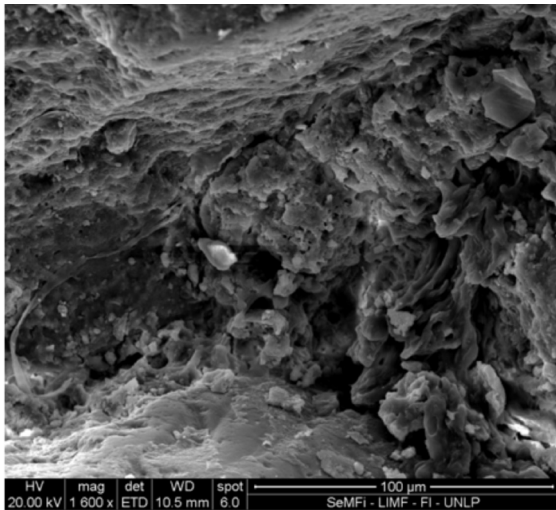


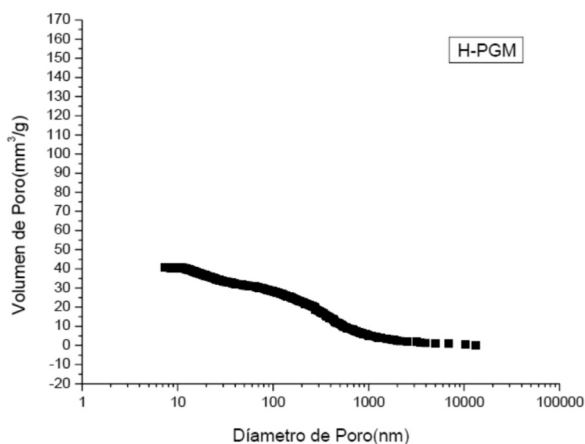
Figura 3.

## EDE

### Porosimetría por absorción de mercurio

Los resultados se presentan en la Tabla 2, y el gráfico, que muestran la distribución de poros.

Se observa baja porosidad en general, y la mayoría de los poros tiene diámetros entre 10 y 1000 nanómetros. Son muy escasos los poros mayores a 10000 nanómetros (equivalente a 1  $\mu\text{m}$ ), de tamaño adecuado para poder ser ocupados por microorganismos.



## Biofilmes

La muestra de hormigón presentaba superficialmente una película de color negro brillante de apariencia quebradiza, pero que al ser mojada absorbía el agua y que constituía una capa delgada continua de menos de un milímetro de color negro.

Se observó que estaban constituidos en otros casos por Bryophytas del orden Bryales (Figura 1) y una masa mucilaginosa de color marrón verdosa (Figura 2).

De la masa mucilaginosa se extrajeron muestras para ser observadas bajo microscopio estereoscópico encontrándose que la misma estaba constituida por:

- Cyanobacteria (algas verde azuladas) de los géneros: *Chroococcus* sp., *Merismopedia* sp., *Microcoleus* sp., *Scytonema* sp. y *Gloeocapsa* sp. (Figuras 3 y 4).

- Filamentos hialinos posiblemente pertenecientes a hongos (Figura 3).

- Diatomeas del Orden Pennales (Figura 4), provistas de rafe, una hendidura en el frústulo o cubierta silíceo.

- Chlorofitas (algas verdes) se observó la especie *Cosmarium* sp., perteneciente a la familia Desmidiaceae, que habitan generalmente en agua dulce y se distinguen por sus células formadas por mitades o hemicélulas de variadas formas geométricas.

Las especies encontradas (principalmente las Diatomeas) denotan que el ambiente presenta una humedad continua y está poco contaminado. El biofilm no presenta un peligro estructural inmediato para el hormigón subyacente, aunque al desprenderse el mismo se arrastran partículas superficiales del hormigón. Otro aspecto a considerar es que el biofilm, gracias a los mucílagos que lo conforman (secretados por las Cyanobacteria) tiene la capacidad de retener agua durante periodos de sequía por lo que no permiten

la superficie del hormigos se seque en ningún momento. Además, la descomposición de los componentes del biofilm forma ácidos orgánicos que podrían atacar la superficie del hormigón con el paso del tiempo.

Con respecto a otros trabajos previos, en la Catedral de La Plata y en la Iglesia y convento de San Francisco se hallaron algas verdes (*Chlorophyta*) del orden Chlorococcales y también de los géneros *Ulothrix* y *Chaetophora*. Se hallaron además diatomeas del orden Pennales y *Cyanobacteria* de los géneros *Oscillatoria* y *Aphanocapsa* (García y Rosato, 2011). En otro estudio de la Catedral (Gómez de Saravia, Fontana y Guiamet) se

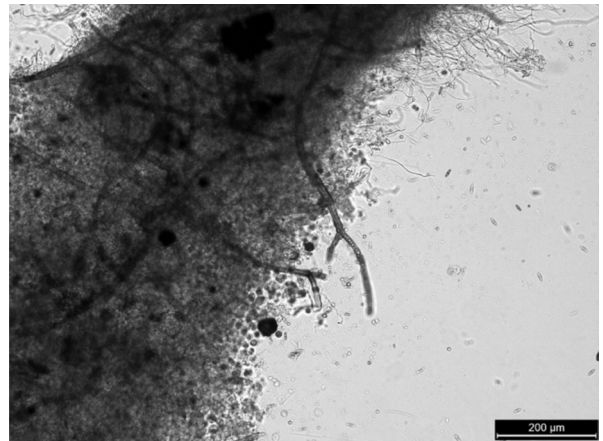


Figura 6. *Scytonema sp.* y filamentos hialinos.

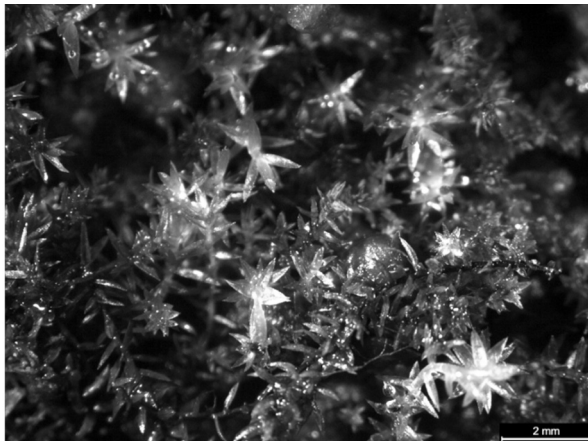


Figura 4. Bryophyta

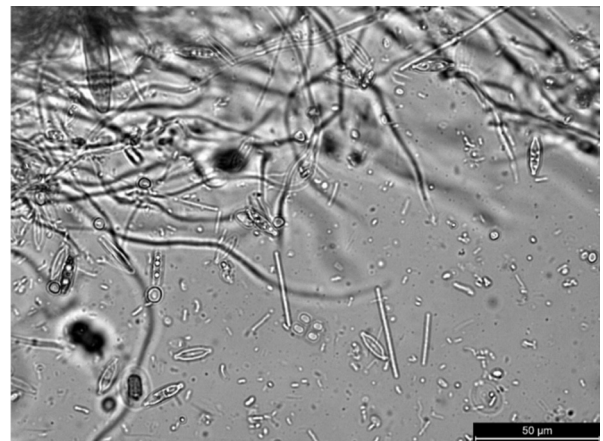


Figura 7. Diatomeas, *Merismopedia sp.* y filamentos hialinos.

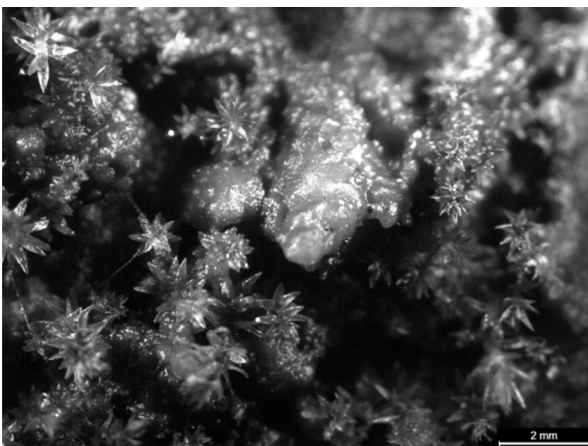


Figura 5. Vista externa del biofilm

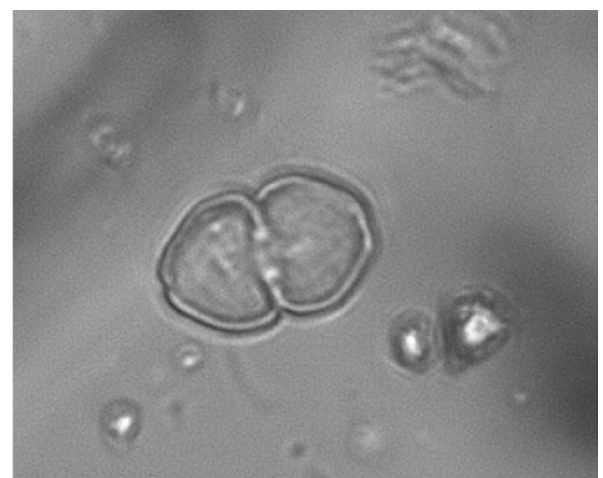


Figura 8. *Cosmarium*

reconocieron tres tipos de biofilmes: i) de color verde que tiene la particularidad de presentar una capa externa de musgos del género *Hennediella* (Fam. Potiaceae) y además alberga una gran variedad de Chlorophyta cocales (*Chlorella sp.* y *Chlorococcum sp.*) junto con cianobacterias unicelulares (*Synechococcus sp.* y *Synechocystis sp.*); ii) de color negro en el cual predominaron formas filamentosas como *Klebsormidium sp.* y la cianobacteria *Oscillatoria sp.* junto con Chlorococales unicelulares y iii) de color negro asociado a una gran cantidad de material fangoso proveniente de una canaleta. Aquí las formas predominantes fueron Chlorophytas del orden Trentepohliales tales como *Trentepohlia sp.* y *Printzina sp.*

En cuanto a otro monumento analizado, el Mausoleo de Yalour en el Cementerio de La Plata (Rosato, Gómez de Saravia, Rastelli 2017), se hallaron las *Cyanobacteria: Aphanocapsa sp., Lyngbya sp.* y *Leptolyngbya sp.*, además de algas verdes: *Klebsormidium sp.* También se observaron conidios (esporas) del *Alternaria sp.* En trozos de mármol descartados de otro monumento del cementerio, se identificó al alga verde *Trebouxia* y la *Cyanobacteria* endolítica *Chroococcidiopsis*

(Rosato y García, 2012).

## CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados de los ensayos realizados, se comprueba que el hormigón tiene buena densidad, es poco poroso y compacto, caracterizado como un material de buena calidad. En cuanto a los biofilmes se identificó que pertenecen a géneros conocidos y que ya se observaron en otros lugares en la región de La Plata, excepto por *Cosmarium*. De todos modos, aunque se han mencionado anteriormente a algunos musgos y Diatomeas en sitios de alta humedad, en este caso la cantidad de agua y la humedad del medio es mucho mayor que en los demás sitios estudiados y por eso las condiciones son adecuadas para la existencia de *Cosmarium*. Además se infiere de la presencia de estos organismos que el vapor condensado en la torre tiene muy bajo nivel de contaminación, ya que las Desmidiaceae y las Diatomeas requieren aguas limpias.

También se verifica cómo, al margen de las cualidades de los materiales, las condiciones ambientales tienen una gran influencia en la bioreceptividad de los mismos.

## REFERENCIAS

- 1.- García, R., Rosato, V.G.2011 – “Organismos hallados en muros de mampostería de ladrillos.” 2do Congreso Iberoamericano y X Jornada “Técnicas de Restauración y Conservación del Patrimonio”, La Plata, 13 al 15 de setiembre de 2011. ISBN 978-987-26159-1-8
- 2.- Rosato, V.G., García, R. A., 2012 - Characterization and biological colonization of the material of a weathered tombstone. 12th International Congress on the Deterioration and Conservation of Stone, Nueva York, EE.UU, 22 al 26 de octubre de 2012.
- 3.- Vilma G. Rosato, Sandra G. Gómez de Saravia, Silvia E. Rastelli(2017). Estudio de la Pátina Biológica y Ensayos de Limpieza en el Mausoleo Yalour, Cementerio de La Plata. 5º COIBRECOA (Congreso Iberoamericano de Restauración y Conservación del Patrimonio) , LEMIT, La Plata, 6 a 8 de septiembre de 2017.
- 4.- Gómez de Saravia S.G., Fontana J.M. y Guiamet P. (2009), “Caracterización de Biofilms algales provenientes de la catedral de La Plata”. Reunión interdisciplinaria de la Provincia de Buenos Aires sobre Biofilms. La Plata, 2009.

# NUEVOS REGISTROS DE POLARIDAD MAGNÉTICA EN LA CIUDAD DE LA PLATA, ARGENTINA.

## NEW RECORDS OF MAGNETIC POLARITY IN THE CITY OF LA PLATA, ARGENTINA.

*Yamile Rico<sup>1</sup>, Mauro Gómez Samus<sup>2</sup>, María S. Mendoza<sup>3</sup>, Ana M. Alfonso Ariza<sup>3</sup>.*

<sup>1</sup> *Profesional Adjunto CICPBA-LEMIT. geologia@lemit.gov.ar*

<sup>2</sup> *Instituto de Ciencias Polares, Ambiente y Recursos Naturales (UNTDF)*

<sup>3</sup> *Universidad Nacional de La Plata*

### RESUMEN

Se presentan resultados de un estudio geológico realizado en una cantera de la ciudad de La Plata (34°57'S - 57°53'O), Argentina. El perfil geológico expuesto, está constituido por sedimentos limosos del Pleistoceno y Holoceno, correspondientes a las formaciones Ensenada, Buenos Aires y en menor medida La Postrera. Se reconocen discontinuidades litológicas que separan niveles con distinto grado de pedogénesis; también se observan niveles carbonáticos y crotovinas. El comportamiento de la susceptibilidad magnética ( $\kappa$ ) indica variaciones en la concentración de minerales magnéticos que responden a cambios en la relación tasa de sedimentación / pedogénesis. El análisis paleomagnético permitió determinar la existencia de magnetozonas de polaridad normal e inversa que fueron asignadas a los cronos Brunhes (< 0,78 Ma) y Matuyama medio-superior (1,78 - 0,78 Ma), cuyo límite inferior se estableció en base al hallazgo del subcron Olduvai (1,92 - 1,78 Ma). El cambio de polaridad Matuyama/Brunhes se registró en la formación Ensenada, tanto en el tope del Geosol Hisisa como en la base del loess que se halla por encima de este paleosuelo. Los registros de polaridad inversa más confiables se obtuvieron en los depósitos que presentaron los valores de susceptibilidad e intensidad magnética más elevados del perfil (en niveles de loess menos pedogenizados y rellenos laminares de crotovinas). Por el contrario, donde se registraron los valores más bajos de dichos parámetros (en horizontes Btg de paleosuelos), las muestras presentaron escasa o nula remanencia, por lo tanto, los registros paleomagnéticos obtenidos resultaron menos confiables o bien no permitieron determinar su polaridad; dicha respuesta es atribuida a la alteración de los minerales portadores de remanencia magnética, debido al exceso de agua en los suelos, durante períodos de tiempo prolongado.

**Palabras clave:** *loess, paleosuelos, Brunhes, Matuyama, Pleistoceno.*

## ABSTRACT

The results of a geological study carried out in a quarry in the city of La Plata (34°57'S - 57°53'O), Argentina, are presented. The exposed geological profile is formed by silty sediments from the Pleistocene and Holocene, which correspond mainly to the Ensenada and Buenos Aires formations, and in some sectors to the La Postrera formation. Lithological discontinuities are observed separating levels with different degrees of pedogenesis, carbonatics levels and krotovines. The behavior of the magnetic susceptibility ( $\kappa$ ) indicates variations in the concentration of magnetic minerals that respond to changes in the relationship between the sedimentation rate and pedogenesis. With the paleomagnetic analysis the existence of magnetozones with normal and reverse polarity was determined, which were assigned to the chrons Brunhes (< 0.78 Ma) and Matuyama medium-upper (1.78 - 0.78 Ma), and to the subchrons Jaramillo (0.99 - 1.07 Ma) and Olduvai (1.92 - 1.78 Ma). The change in a polarity assigned to Matuyama / Brunhes was recorded in the Ensenada formation, both at the top of the Geosol Hisisa and at the loess base that covers this paleosol. The most reliable reverse polarity records were obtained in the least pedogenized loess levels and in the laminar structure krotovines fills that have the highest values of susceptibility and magnetic intensity. In contrast, in the Btg horizons of paleosols, with low values of susceptibility and intensity, paleomagnetic records were less reliable or did not allow determining their polarity (little or no magnetic remanence). This response is attributed to the alteration of the titanomagnetites, due to excess water in the soil, for prolonged periods of time.

**Keywords:** loess, paleosuelos, Brunhes, Matuyama, Pleistoceno.

## INTRODUCCION

El presente trabajo muestra los resultados de un estudio realizado sobre una sucesión sedimentaria expuesta en la cantera "de Juárez", del barrio Aeropuerto (La Plata). El objetivo es, por un lado ampliar los registros de polaridad magnética obtenidos en la misma cantera por Bidegain y Rico (2004), cuando la profundidad de esta era inferior a la actual, así como establecer con mayor exactitud la posición del límite Matuyama/Brunhes (0,78 Ma) a través de un análisis paleomagnético detallado, pues las exposiciones cuaternarias del noreste de la provincia de Buenos Aires son portadoras del paleosuelo donde se registra dicho cambio de polaridad. Además se analizan los registros paleomagnéticos en función de las características del perfil paleopedológico, para determinar en qué niveles se obtienen los resultados más y menos confiables del perfil, interpretando a su vez, qué condiciones ambientales representan. Para ello se describen las características geológicas del perfil, se mide la susceptibilidad magnética ( $\kappa$ ) y se

realizan análisis paleomagnéticos.

Estudios de magnetismo ambiental realizados en distintas canteras de la ciudad de La Plata (Bidegain et al., 2001, 2002, 2005 y Bidegain y Rico, 2004), indican que la concentración de minerales magnéticos es más elevada en el material parental menos pedogenizado (valores de  $\kappa$  más elevados) y disminuye notablemente en horizontes Bt de paleosuelos, depósitos paleolagunares y niveles carbonáticos (valores de  $\kappa$  más bajos). La disminución magnética es atribuida a la destrucción de las titanomagnetitas por efecto de la pedogénesis, bajo condiciones climáticas de mayor humedad relativa (Orgeira et al., 1998; Bidegain et al., 2001; Orgeira et al., 2002). El mayor aporte de ferrimagnéticos detríticos (titanomagnetitas) se habría dado bajo condiciones climáticas de mayor aridez, cuando los vientos del oeste provenientes de la Cordillera de los Andes y del Norte de la Patagonia habrían soplado con

mayor energía. Tonni et al. (1999), indican que los paleosuelos de la región pampeana se habrían desarrollado bajo condiciones climáticas más húmedas y cálidas, mientras que los depósitos de loess bajo condiciones más frías y secas.

Estudios paleomagnéticos en depósitos de loess de la misma zona (Bobbio et al., 1986; Bidegain, 1991, 1998; Bidegain et al., 2002; Bidegain y Rico, 2004; Heil et al., 2010), permitieron determinar la presencia de niveles de polaridad normal e inversa que fueron asignados a los cronos Brunhes y Matuyama, e indican que el principal portador de la remanencia es la magnetita, aunque no se descarta el aporte de maghemita (Bidegain et al., 2001). Bidegain (1998), indica que en las canteras de Hernández y Gorina de La Plata, este cambio de polaridad se registra en diferentes posiciones, ya sea por debajo de la discontinuidad que separa al Geosol Hisisa (Nabel et al., 1993) del loess suprayacente, en coincidencia con la misma o bien por encima de ésta. Por su parte, Blassi et al. (2001), indican que como dicha discontinuidad es un contacto erosivo (hiatus), no sería posible afirmar que el cambio de polaridad Matuyama/Brunhes registrado en La Plata, pueda ser considerado isocrona paleomagnética de 0,78 Ma.

En cuanto al comportamiento de las muestras frente al proceso de desmagnetización AF, los autores mencionados indican distintas respuestas; algunas evidencian un comportamiento “duro” (mayor resistencia a ser desmagnetizadas) que es atribuido a la presencia de minerales altamente coercitivos del tipo hematita, y otras un comportamiento “blando” (se desmagnetizan fácilmente), característico de la magnetita. A su vez, señalan que el primer comportamiento (“duro”) es más evidente en los depósitos ensenadenses de la zona inversa de Matuyama, donde además las muestras presentan componentes viscosas que son eliminadas a campos bajos, mientras que el segundo (“blando”) es más frecuente en los sedimentos del bonaerense (Bidegain et al., 2002).

## 2- UBICACIÓN Y MARCO GEOLÓGICO

La cantera denominada informalmente “de Juárez”, debido al apellido de su dueño, se ubica en el sector sureste del casco urbano de La Plata, entre las calles 613bis, 619, 115 y 118; esta tiene una profundidad máxima de unos 16 m y se halla a una cota variable entre 15 y 17 m (Fig.1). En dicha zona se distinguen dos ambientes geomorfológicos de importancia, denominados por Fidalgo y Martínez (1983), Planicie Costera



Figura 1. Mapa de ubicación de la cantera de Juárez.

y Zona Interior. La planicie costera se halla a cotas bajas (< 3 m) y constituye un ámbito de descarga parcial del sistema subterráneo (Kruse et al., 2004) y dado el carácter muy arcilloso de las unidades superficiales, es común la presencia de encharcamientos y bañados. Por su parte, la Zona Interior, donde se encuentra emplazado el perfil geológico estudiado, se extiende entre las cotas de 5 y 25 m, se caracteriza por un relieve suavemente ondulado, con un sistema fluvial conformado por arroyos, muchos de ellos entubados en el casco urbano de la ciudad de La Plata.

Desde un punto de vista estratigráfico, los sedimentos expuestos en la cantera de Juárez corresponden en su mayoría a la Formación Ensenada y a la Formación Buenos Aires de acuerdo a Riggi et al (1986). Ambas están separadas por una discordancia erosiva y están constituidas por depósitos de loess de textura limosa, con presencia de paleosuelos arcillosos, depósitos carbonáticos, paleocauces, paleolagunas y crotovinas (paleocuevas con relleno sedimentario). Sólo en algunas partes de la cantera, se observa la Formación La Postrera con un espesor inferior a 1m.

## METODOLOGÍA, TÉCNICAS Y EQUIPOS

La metodología de trabajo comprendió el levantamiento geológico de la sucesión sedimentaria, medición de la susceptibilidad magnética de campo ( $\kappa$ ), extracción de muestras paleomagnéticas y su medición en laboratorio.

Las unidades fueron separadas en base al reconocimiento de discontinuidades; en cada caso se realizó la determinación de su color, textura al tacto, estructuras, grado de compactación, espesor, rasgos pedológicos.

La medición de la susceptibilidad magnética “in situ” o susceptibilidad volumétrica ( $\kappa$ ), se realizó mediante la utilización de un susceptibilímetro de campo MS2 Bartington Instruments Ltd, con sensor de campo MS2F; las medidas fueron

tomadas en superficie cada 5 y 10 cm de separación (a 3 mediciones por punto), por cuanto el valor proporcionado por el display fue multiplicado por 2, de acuerdo a las especificaciones del manual del equipo. En relación a este parámetro, cabe señalar que los valores de  $\kappa$  indicados para la Fm Buenos Aires y tope de Ensenada corresponden al trabajo de Bidegain y Rico (2004).

Las muestras paleomagnéticas se extrajeron con un sacatestigos de material no magnético (hidrobronce), orientadas respecto al norte magnético con brújula geológica, y niveladas en la horizontal con nivel de burbuja; luego se colocaron en portamuestras cúbicos (8 cm<sup>3</sup>), donde el material fue fijado con adhesivo vinílico para su posterior análisis en laboratorio. Los depósitos de la Formación Ensenada fueron muestreados con mayor detalle (cada 5 y 20 cm de separación) que los de la Formación Buenos Aires (cada 1 m de separación), desde el sector más profundo de la cantera hasta el paleosuelo que representa el tope del cron Matuyama de acuerdo a Bidegain y Rico (2004). Por otra parte, dentro de la misma cantera, este paleosuelo fue muestreado en 3 sectores distintos para establecer con mayor exactitud la posición del límite Matuyama/Brunhes y analizar los registros paleomagnéticos en función de las variaciones litológicas relacionadas con las características del depósito y su ambiente de formación.

La determinación de la polaridad magnética se efectuó en el LEMIT con un Magnetómetro rotativo de puerta de flujo Minispin, y un desmagnetizador por campos magnéticos alternos, blindado, ambos marca Molspin Ltd. El primero mide la intensidad (J) en mA/m, la declinación (D) y la inclinación (I) del magnetismo remanente de las muestras; el segundo, se utiliza para desmagnetizarlas mediante la aplicación de campos magnéticos alternos (AF). En primer lugar, se midieron las componentes del magnetismo remanente natural (MRN), es decir la D, I, J<sub>0</sub>; luego, para determinar el magnetismo remanente característico (MRC), las muestras fueron desmagnetizadas en varios pasos, aplicando

campos magnéticos desde 2,5 mT (militesla) hasta un máximo de 100 mT, a intervalos variables entre 2,5 - 5 y 10 mT. Este proceso se realizó con el fin de eliminar las magnetizaciones secundarias adquiridas posteriormente a la compactación del sedimento, y aislar la magnetización remanente primaria que permite determinar el MRC y en consecuencia la polaridad magnética. Los datos obtenidos fueron procesados mediante el software SUPER-IAPD-2000; este permitió representarlos en redes estereográficas, diagramas de Zijderveld y curvas de variación de intensidad ( $J/J_0$ ) en función del campo magnético aplicado ( $H$ ) y calcular las direcciones del MRC. En las redes estereográficas se representan los valores de  $D$  e  $I$ , y en los diagramas de Zijderveld la variación de estas componentes en función de  $J$ .

Las edades magnéticas son referidas a la Tabla Estratigráfica Internacional, editada por las ICS en 2016, para los últimos 2,7 Ma ([www.stratigraphy.org/upload/ISChart2016a.pdf](http://www.stratigraphy.org/upload/ISChart2016a.pdf)).

#### 4- PERFIL GEOLÓGICO

##### 4.1- Descripción general

La secuencia geológica expuesta en la cantera “de Juárez”, tiene un espesor máximo de 16 m. En la Fig.2 se indica el perfil geológico completo y en las figuras 3.1 y 3.2, fotografías de los distintos frentes de la cantera y de algunos rasgos a destacar. El perfil sedimentario está compuesto por facies eólicas correspondientes a loess y loessoides; estos últimos, vinculados principalmente a limos retrabajados por acción fluvial, o bien depositados en cuerpos lagunares. Las facies post-depositacionales están representadas por horizontes Bt de paleosuelos y depósitos carbonáticos; los primeros reconocibles en el perfil por la presencia de una hendidura en media caña, coloración castaño oscura y estructura prismática o en bloques angulares (Figura 3.1a, b, c; Figura 3.2g), y los segundos, por su color blanquecino y su estructura laminar o en rizoconcreciones (Figura 3.1f; Figura 3.2h). Los rasgos hidromórficos son relevantes a lo

largo de toda la secuencia, conformando pátinas, moteados, dendritas y concreciones de Fe-Mn, aunque cabe señalar que en niveles gris-verdosos y carbonáticos se registra un fuerte incremento de los mismos (Figura 3.1e).

Las unidades cj-A hasta cj-E inclusive, corresponden a la Formación Ensenada, la unidad cj-F a la Formación Buenos Aires, y la cj-G a la Formación La Postrema.

La exposición comienza con el afloramiento de horizontes Bt de paleosuelos que se observan a modo de hendidura en el frente de explotación más profundo de la cantera. El paleosuelo más antiguo,

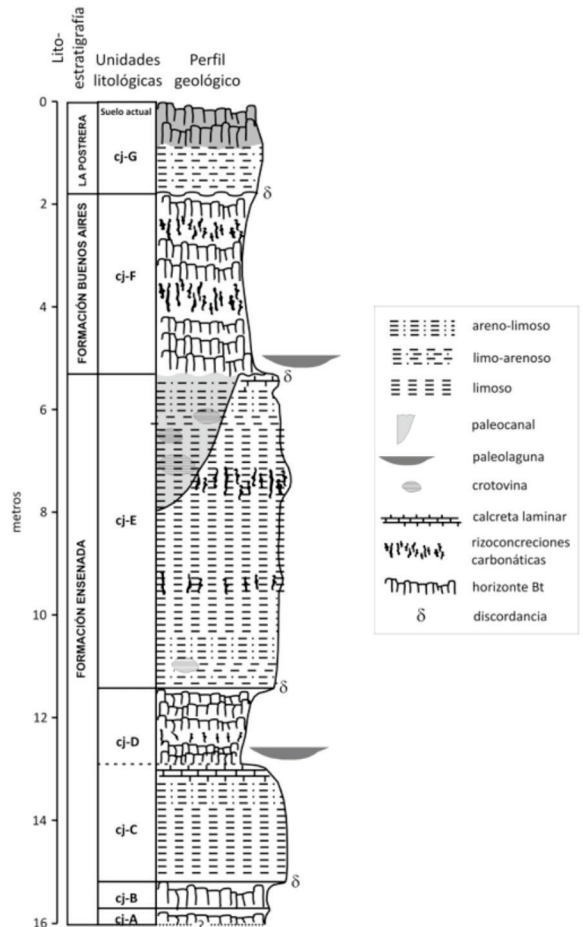


Figura 2. Perfil geológico de la cantera de Juárez de La Plata.

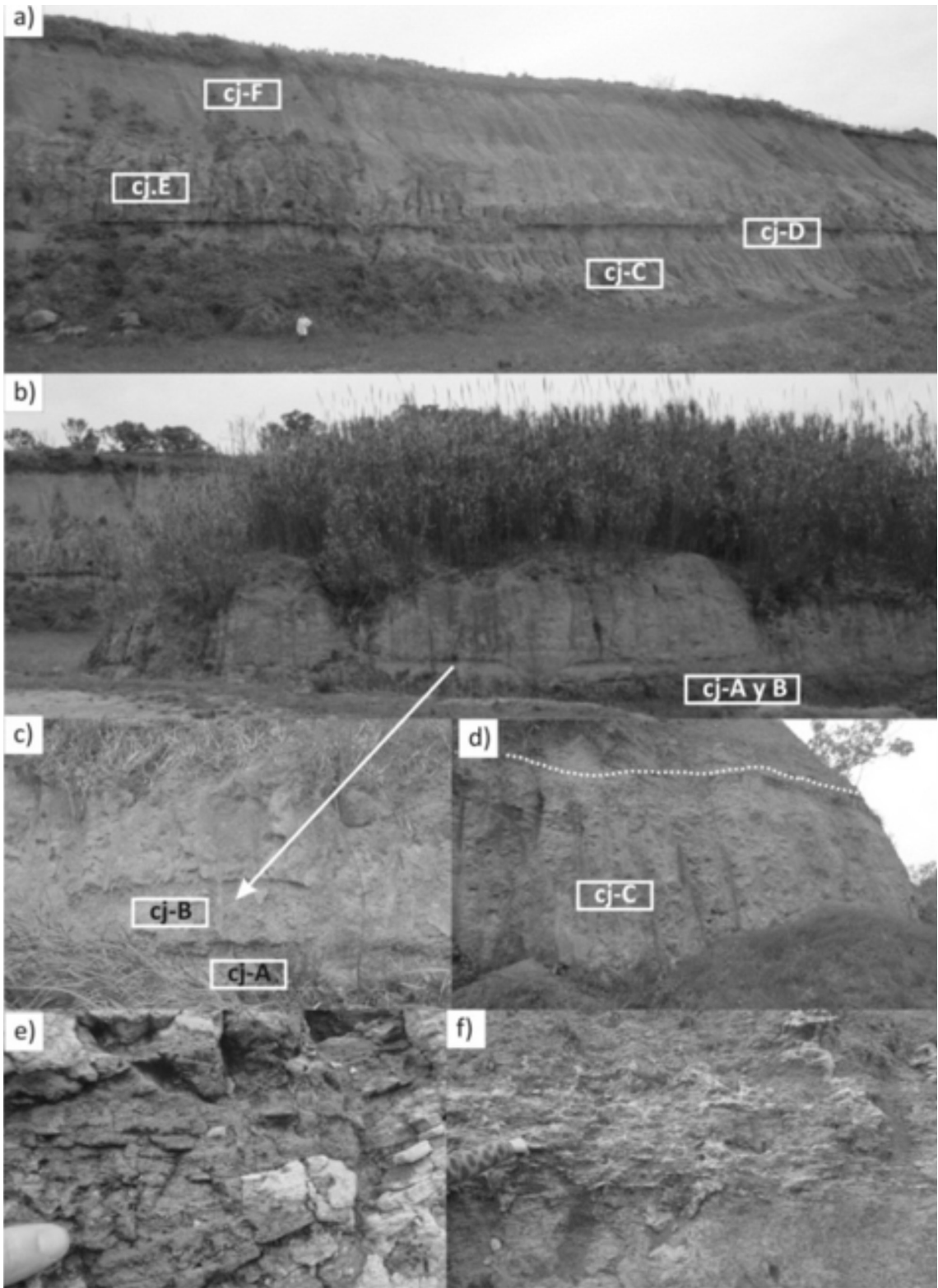


Figura 3.1. Fotografías de la cantera de Juárez de La Plata.

denominado cj-A (Figura 3.1b, c), no presenta expuesta su base, sólo afloran 0,25 m de espesor; el segundo, identificado como cj-B, tiene unos 0,55 m de espesor y presenta en su base una delgada capa correspondiente a un horizonte BC, que separa mediante concordancia neta y plana, ambos paleosuelos. Estos se encuentran estructurados en bloques angulares, presentan rasgos de iluviación argílica e hidromorfismo intenso (pátinas, concreciones y dendritas de óxidos de Mn).

La unidad cj-C tiene alrededor de 2 m de espesor en el sector muestreado (Figura 3.1d); es un depósito loésico de color castaño amarillento, que conforma un resalto de perfil recto y vertical en el frente de la cantera, es de textura limo-arenosa, masivo en el sector basal (no se observan estructuras), y laminado en su sección media-superior debido a la presencia de carbonatos laminares de gran dureza que alternan con capas arcillosas (Figura 3.1e, f).

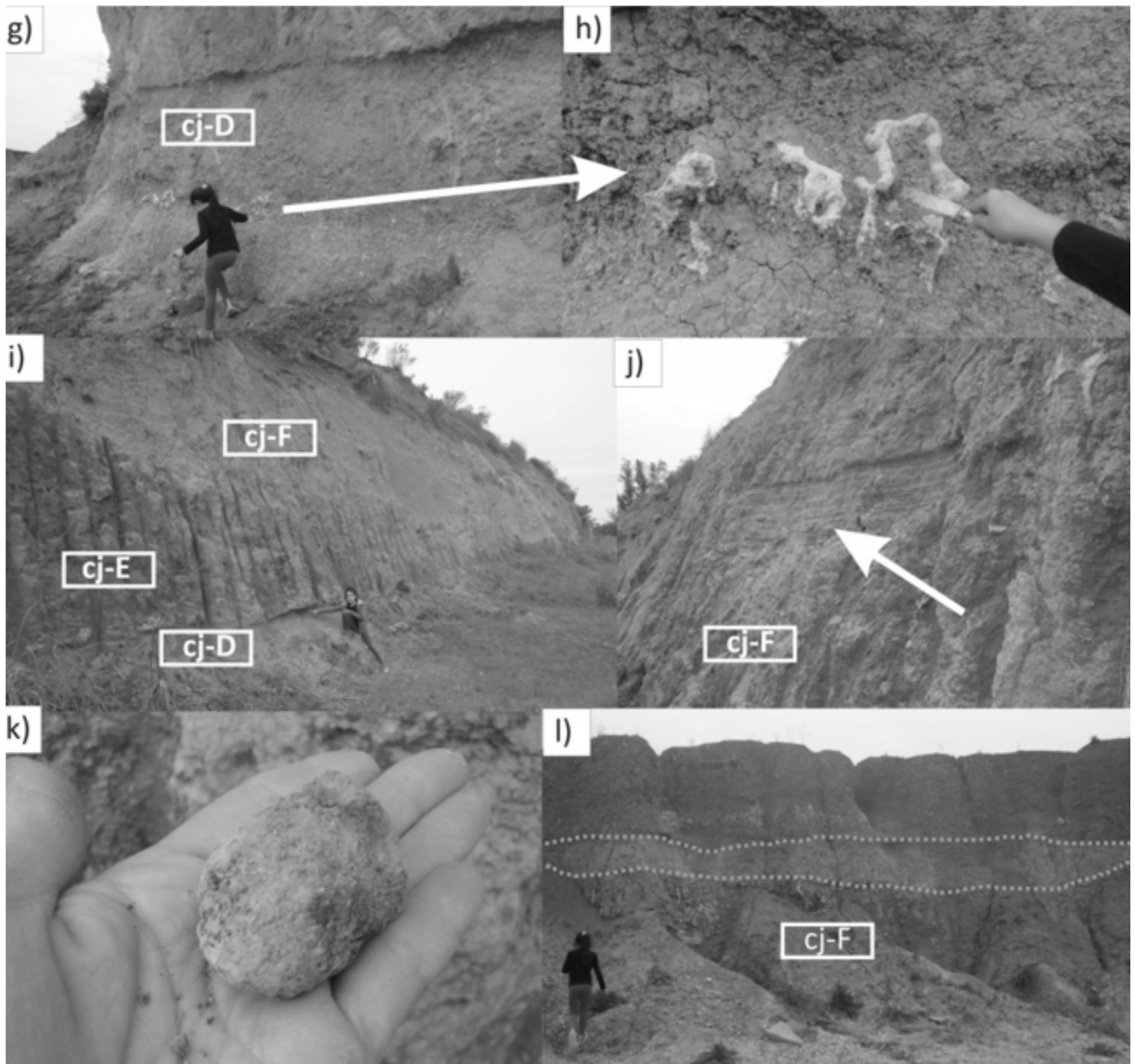


Figura 3.2. Fotografías de la cantera de Juárez de La Plata.

La unidad cj-D corresponde al paleosuelo del límite Pleistoceno Temprano - Pleistoceno Medio (Geosol Hisisa de acuerdo a Nabel et al., 1993), considerado horizonte guía de extensión regional para la ciudad de La Plata y alrededores por Bidegain et al. (2007). Se distingue por su característico perfil en media caña, su techo plano, neto y relativamente horizontal, su textura limo-arcillosa, y su estructura prismática bien desarrollada (Figura 3.1a y Figura 3.2g). Otras características, como los rasgos de hidromorfismo y la presencia de rizoconcreciones carbonáticas (Figura 3.2h), varían lateralmente desde escasos a muy abundantes. Considerando que el cambio de polaridad Matuyama/Brunhes ha sido consignado en relación a la presencia de este paleosuelo en la región de La Plata (Bidegain, 1998; Tonni et al., 1999) y que el registro paleomagnético puede ser modificado por los procesos pedogenéticos, se realizó un estudio detallado en tres perfiles diferenciados por sus características pedológicas: Perfil Zonal (PZ), Perfil Hidromórfico Leve (PHL) y Perfil Hidromórfico Intenso (PHI), conformados por la unidad cj-D y base de cj-E. El perfil PZ presenta un espesor de 120 cm; la unidad cj-D está constituida de base a techo por los horizontes 2BC, 2Bt, 2Btk y 2Bt, y la base de la unidad cj-E por un horizonte BC (Figura 8). En el perfil PHL, de 140 cm de espesor, la unidad cj-D es un paleosuelo intrazonal que está conformado de base a techo por los horizontes de 2BC, 2Bt y 2AB; por encima, se halla la unidad cj-E, en cuya base se diferenciaron los horizontes AC y C (el primero, con abundantes trazas de raíces y vermes) (Figura 10). En el perfil PHI, de 200 cm de espesor, la unidad cj-D está formada por un paleosuelo intrazonal constituido por los horizontes 3Btgc-2BC-2Bt-2Bw, mientras que en la base de cj-E se distingue un horizonte AC de estructura migajosa, con marcas de raíces (Figura 12).

La unidad cj-E es semejante a la unidad cj-C; es un depósito de loess compacto, friable, de textura limo-arenosa en la base y limosa en el sector superior, de color castaño claro, masivo, con perfil vertical recto (Figura 3.1a y Figura 3.2i).

Su espesor es irregular a lo largo del frente de la cantera; en algunos tramos alcanza a conformar una pila sedimentaria de hasta 6m de espesor, y en otros se encuentra profundamente cortado por grandes crotovinas y paleocauces. En el tope, a modo de resalto, se distingue un paleosuelo de color castaño, con estructura laminar gruesa, pátinas de óxidos de Fe-Mn; no se reconocen rasgos de iluviación argílica, pero sí un intenso grado de bioturbación evidenciado por la presencia de trazas fósiles de raíces y lombrices (horizonte A?). Bidegain y Rico (2004), indican que este paleosuelo conforma el último registro geológico correspondiente a la Formación Ensenada, por lo tanto, de acuerdo a Nabel et al (1993) se trataría del Geosol "El Tala".

La unidad cj-F corresponde a la Formación Buenos Aires; esta se apoya en discordancia erosiva sobre la Formación Ensenada (contacto irregular y neto) (Figura 3.1a y Figura 3.2i); está constituida por una sucesión de paleosuelos soldados, con un espesor de entre 3 y 5 m, entre los cuales se intercalan facies paleolagunares gris-verdosas y 2 niveles de rizoconcreciones carbonáticas. En la unidad se identificaron grandes crotovinas de geometría ovalada o circular, rellenas por sedimento fino de estructura bandeada (Figura 3.2j); en su base, hay rodados de material loésico que evidencian acarreo fluvial (Figura 3.2k). Los paleosuelos presentan una marcada estructura pedogenética en bloques angulares (Figura 3.2l).

La unidad cj-G corresponde a los sedimentos de la Fm. La Postrera, la cual presenta un registro discontinuo en la región. En esta cantera, se observa en el frente norte de la misma, en discordancia erosiva sobre los depósitos de la Fm. Buenos Aires. Es un material loésico, de color castaño claro, textura limosa y carente de estructura primaria (masivo). El suelo actual de la zona, se desarrolla sobre esta unidad y también sobre la anterior; presenta horizontes iluviales con estructura prismática marcada y color pardo grisáceo con carbonato de calcio diseminado.

**5- RESULTADOS PALEOMAGNÉTICOS**

A continuación se presentan los resultados paleomagnéticos del análisis de 115 muestras cúbicas extraídas del frente de explotación de la cantera de Juárez. Debido a los objetivos del trabajo, 39 muestras corresponden a las unidades que se encuentran por debajo del paleosuelo cj-D (unidades cj-A, cj-B y cj-C), 7 muestras fueron extraídas de las unidades cj-E y cj-F, y 69 del paleosuelo cj-D (Geosol Hisisa); este último, como ha sido indicado anteriormente, se analizó en tres perfiles diferenciados por sus características morfológicas: Perfil Zonal

(PZ), Perfil Hidromórfico Leve (PHL) y Perfil Hidromórfico Intenso (PHI).

En la Figura 4 se indican los resultados paleomagnéticos obtenidos en la sección media-inferior del perfil (Formación Ensenada), donde se realizó el muestreo más detallado. El diseño de la curva de  $\kappa$ , indica que la concentración de minerales magnéticos varía de un nivel a otro. Los registros más bajos ( $< 150 \times 10^{-5}$  SI) se obtienen en los horizontes de paleosuelos más pedogenizados (Bt, Btg, Btgk) y los más altos (entre 300 y 450  $\times 10^{-5}$  SI) en los depósitos de loess menos pedogenizados.

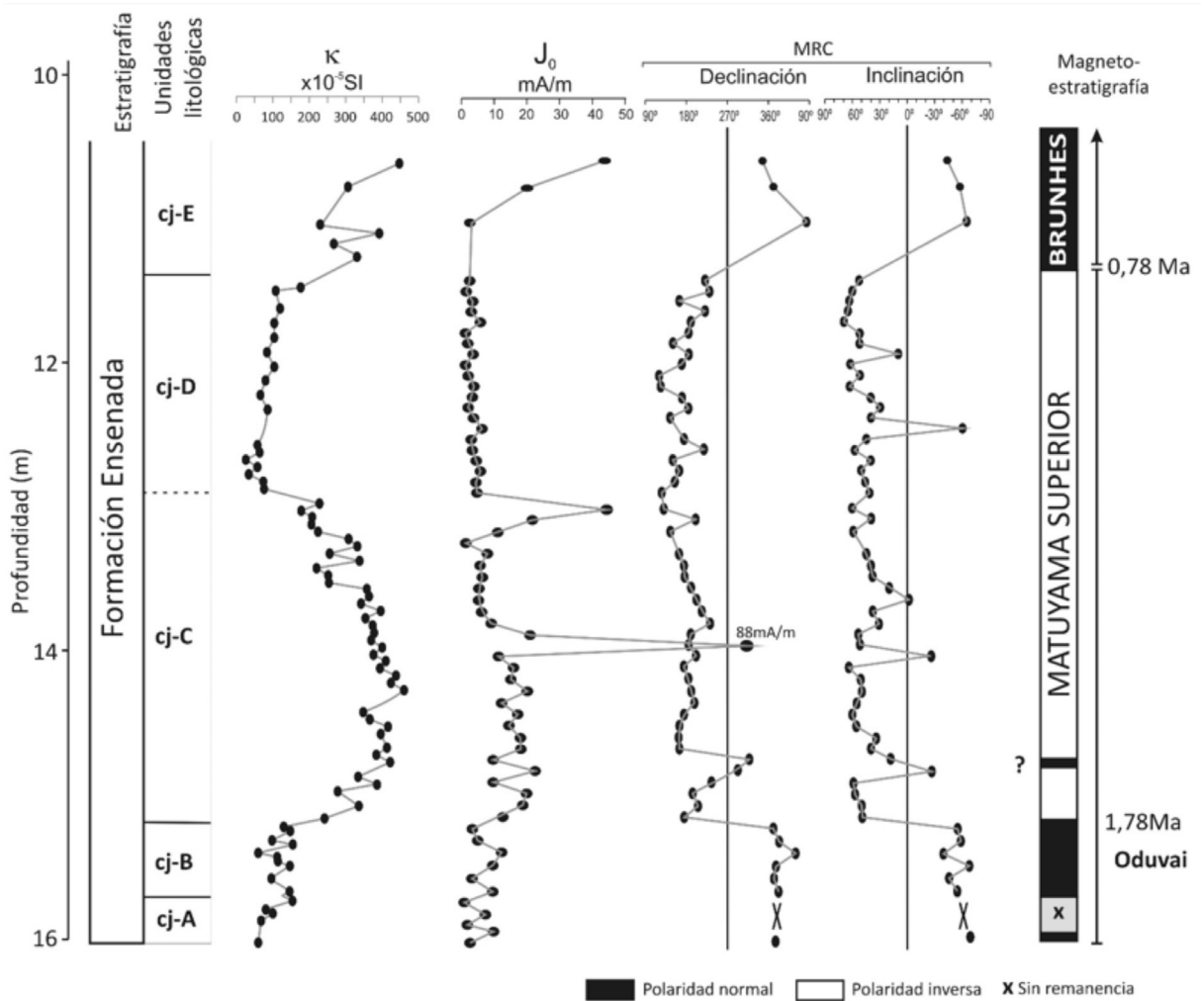
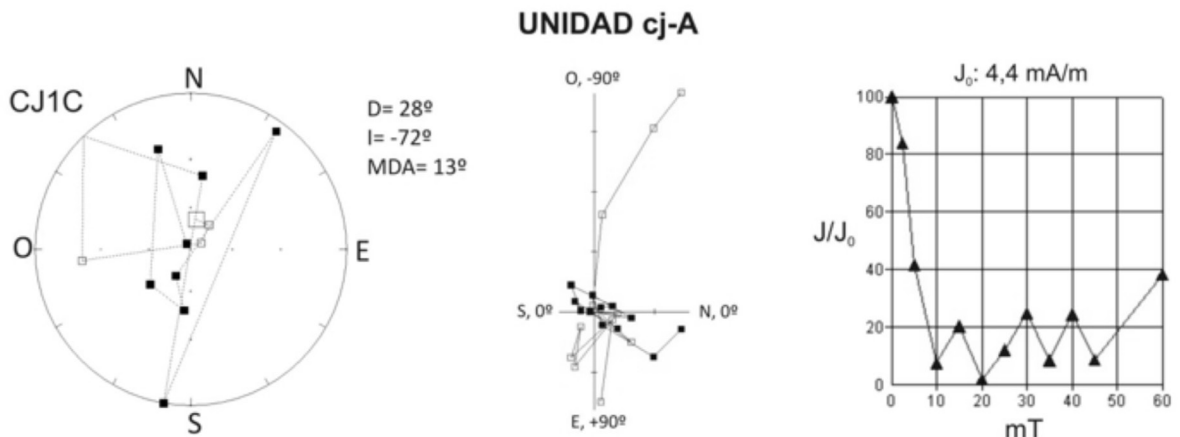


Figura 4. Resultados paleomagnéticos de la sección media-inferior del perfil estudiado.



**Figura 5.** Red estereográfica, diagrama de Zijderveld y curva de desmagnetización AF de una muestra extraída de la unidad cj-A.

Los valores de  $J_0$  varían entre 0,3 y 88 mA/m, aunque son en general inferiores a 20 mA/m; su comportamiento es semejante al de  $\kappa$ , lo cual evidencia que ambos parámetros se encuentran controlados por la concentración de granos ferrimagnéticos.

El análisis paleomagnético permitió determinar la presencia de zonas de distinta polaridad magnética, excepto en algunos horizontes hidromórficos donde las muestras tienen escasa o nula remanencia magnética.

Las muestras del paleosuelo de la base del perfil (cj-A) tienen valores de  $J_0$  muy bajos y al ser sometidas al proceso de “lavado magnético” evidencian una abrupta caída de  $J$  a 10 mT ( $J/J_0 < 10\%$ ). Si bien entre 0 y 10 mT se define una componente de direcciones normales, no es posible confirmar que se trate de la componente característica o primaria, pues podría corresponder a la remanencia de una componente viscosa; por encima de 10 mT, se registran sucesivos picos de incremento y disminución de  $J$  (algunos más notables que otros) y una gran dispersión de las direcciones de magnetización remanente, con lo cual no sería posible determinar con buen grado de confiabilidad su MRC (Figura 5; muestra CJ1C).

El paleosuelo cj-B y el loess cj-E de la Formación Ensenada, proporcionaron direcciones de polaridad predominantemente normales, al igual que las muestras de la unidad cj-F de la Formación Buenos Aires (Figura 6). Los valores de  $J_0$  para las mismas varían entre 2,5 y 12,8 mA/m en la primera, entre 22 y 44 mA/m en la segunda, y entre 16 y 73 mA/m en la tercera, correspondiendo el valor más alto a la muestra extraída del relleno laminar de una paleocueva, donde se obtuvieron muy buenos registros de polaridad. Frente al proceso de desmagnetización AF (Figura 6), las muestras extraídas de estas unidades evidencian generalmente un decaimiento progresivo de  $J$  con el aumento del campo aplicado, presentando una componente de magnetización que se define entre 0 y 15 o 30 mT; a campos más elevados la dispersión de direcciones obtenidas indica que las muestras han perdido su remanencia.

Las muestras de la unidad cj-C, son en su mayoría de polaridad inversa; sólo unas pocas proporcionaron direcciones normales o anómalas (Figura 4). Los valores de  $J_0$  varían entre 4,5 y 88 mA/m; los valores más elevados corresponden al relleno de una crotovina y al nivel de carbonatos laminares que se observa en el tope de dicha unidad. Las muestras presentan generalmente dos componentes de magnetización: una viscosa de

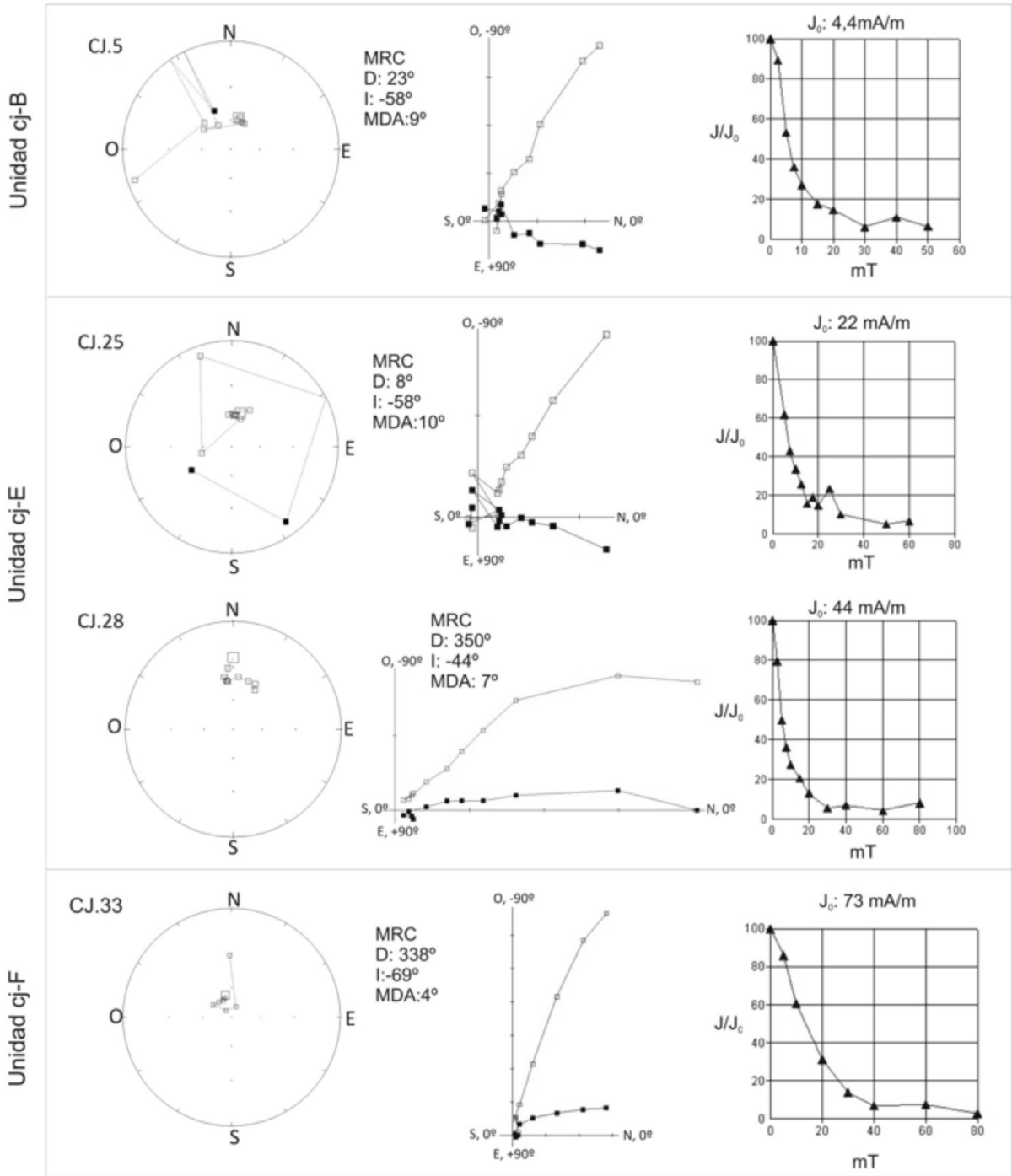


Figura 6. Representación gráfica del comportamiento paleomagnético de muestras correspondientes a las unidades cj-B, cj-E y cj-F.

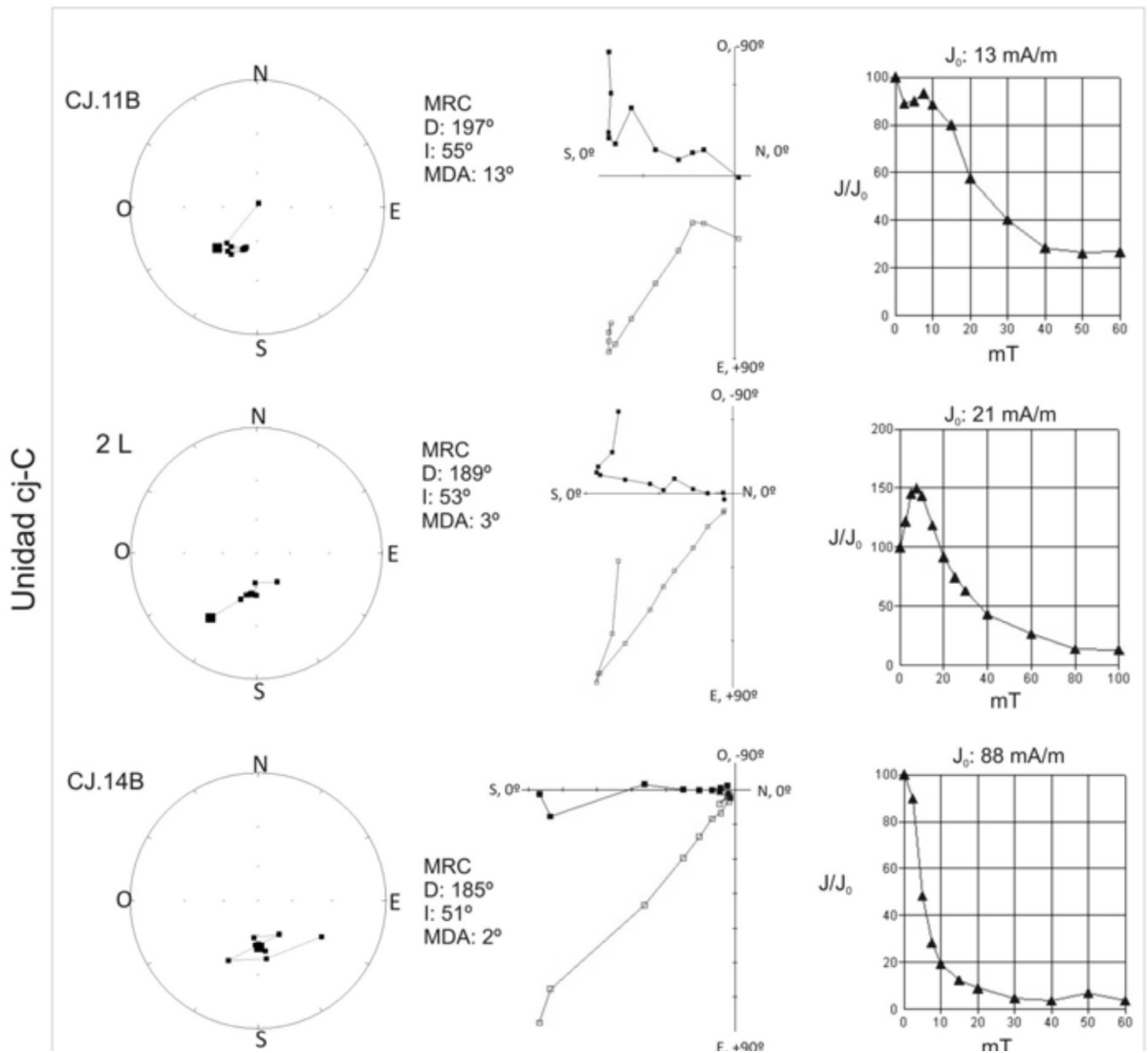


Figura 7. Representación gráfica del comportamiento paleomagnético de muestras de la unidad cj-C.

bajo campo que es eliminada a 10 mT o menos, y una principal en dirección al origen, con valores de declinación e inclinación que se mantienen estables entre 10 y 30 mT o hasta 40 mT (Figura 7); generalmente  $J$  se incrementa entre 2,5 y 10 mT (Figura 7, muestras CJ.11B y 2L), luego disminuye gradualmente, aunque por encima de 30 mT, la mayoría de las muestras conserva entre un 20 y 30% de  $J_0$ , evidenciando la presencia de componentes de alta coercitividad (posiblemente hematita). Por el contrario, otras muestras se

desmagnetizan gradualmente, habiendo perdido a 30 mT, más del 90% de su intensidad (Figura 7, muestra CJ.14B).

En el paleosuelo cj-D, los valores de susceptibilidad ( $\kappa$ ) son en general inferiores a  $100 \times 10^{-5}$  SI en los tres perfiles analizados; en las figuras 4 y 8 (en la segunda con mayor detalle gráfico), se indican los resultados obtenidos en el perfil zonal PZ, y en las figuras 10 y 12, los obtenidos en los perfiles intrazonales PHL y PHI. Estos

bajos valores contrastan significativamente con los registrados en las unidades cj-C y cj-E que se hallan inmediatamente por debajo y por encima de dicho paleosuelo, donde  $\kappa$  es 2, 3 o hasta 4 veces superior a la de este último. De igual modo, la intensidad del magnetismo remanente natural ( $J_0$ ) es generalmente muy baja en este paleosuelo, es por ello que los resultados paleomagnéticos en esta unidad no resultan óptimos en la mayoría de las muestras. En el perfil PZ, el 75% de las muestras tiene valores de  $J_0 \leq 3$  mA/m, sólo en la base de este perfil este parámetro es notablemente superior ( $\sim 70$  mA/m), igual que la susceptibilidad magnética (Figura 8). En el perfil PHL la intensidad del magnetismo remanente varía entre 0,5 y 15 mA/m en los horizontes de la unidad cj-D y se incrementan en los menos pedogenizados correspondientes a la base de la

unidad cj-E (Figura 10). Por otro lado, en el perfil PHI, los valores de  $J_0$  son inferiores a 7 mA/m, siendo en los horizontes más pedogenizados (con rasgos de intenso hidromorfismo) inferiores a 1 mA/m (Figura 2).

En el perfil PZ, las curvas de desmagnetización presentan en general un diseño quebrado dado por la alternancia de picos de incremento y disminución de  $J$  (algunos más marcados que otros), que evidencian la presencia de varias componentes magnéticas y una fuerte resistencia a la desmagnetización (Figura 9).

Además, cabe destacar, que si bien el comportamiento de  $J$  frente a la aplicación de AF, impide la visualización de la componente principal en los diagramas de Zijderveld, las direcciones de

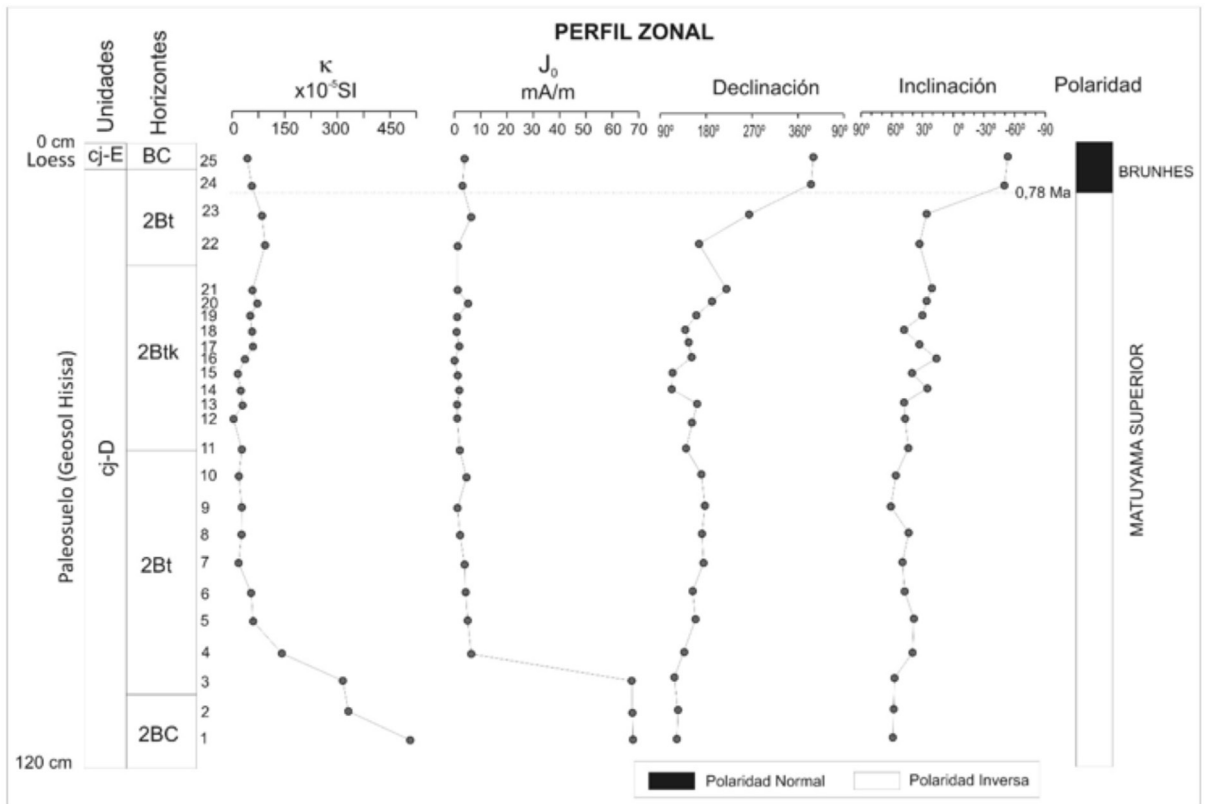


Figura 8. Resultados paleomagnéticos del perfil zonal PZ.

PERFIL ZONAL

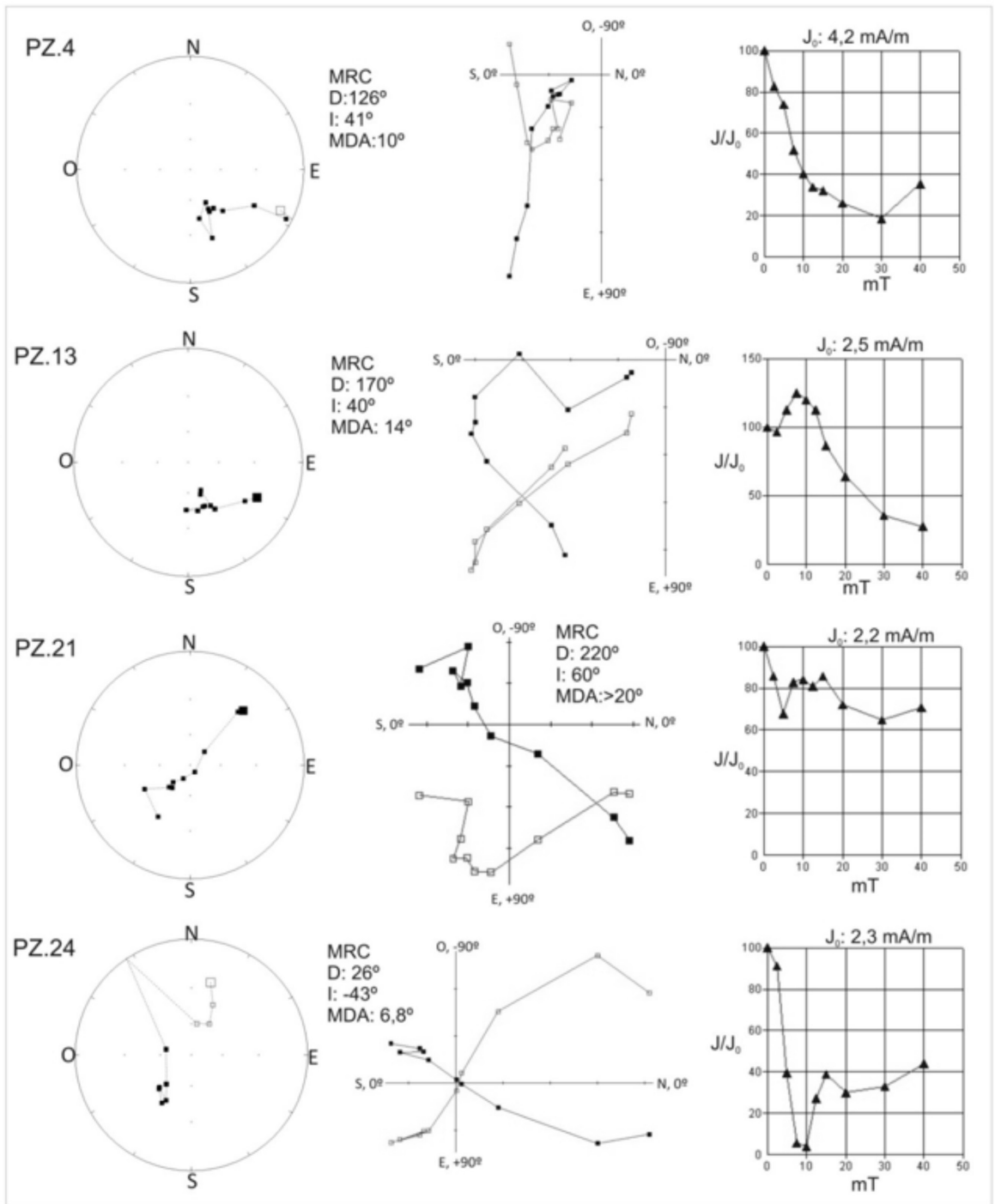


Figura 9. Representación gráfica del comportamiento de muestras extraídas del Perfil Zonal.

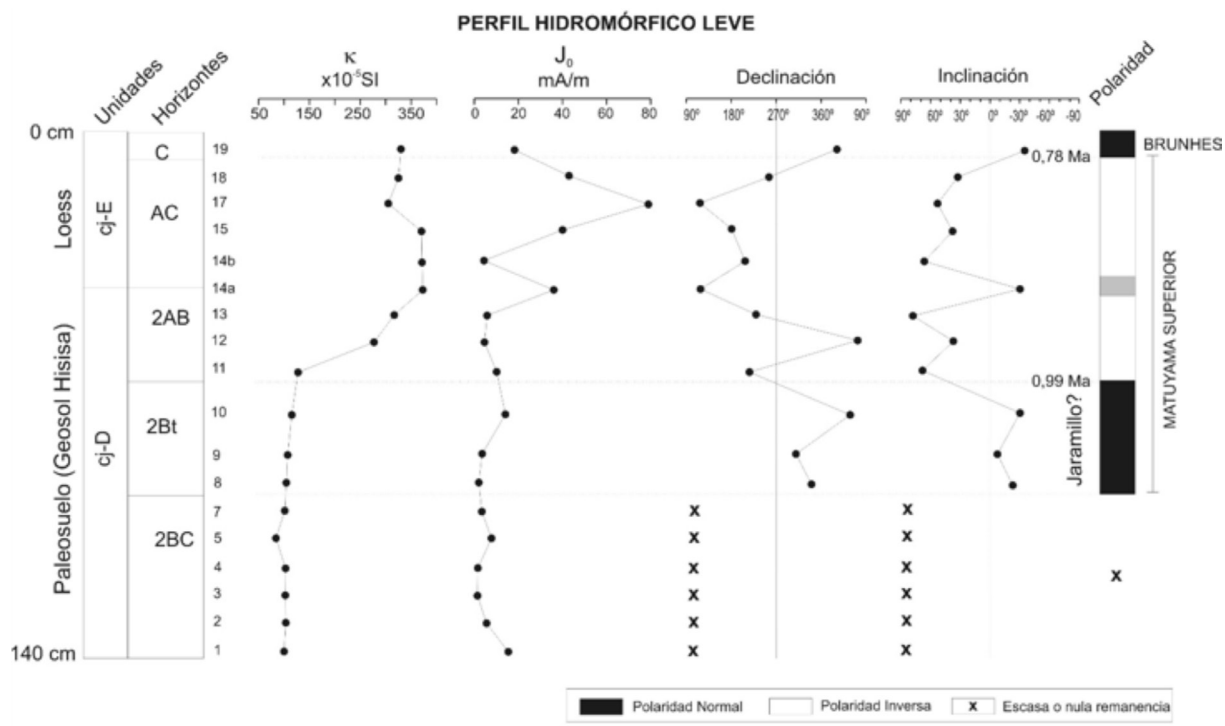


Figura 10. Resultados paleomagnéticos del Perfil Hidromórfico Leve.

magnetización obtenidas se mantienen estables en el campo inverso a partir de los 7,5 y 10 mT, lo cual puede ser observado en las redes estereográficas, donde los valores de declinación e inclinación obtenidos entre 10 y 20 mT, se concentran alrededor de un punto. En este perfil, el cambio de polaridad Matuyama/Brunhes se registra en el tope del paleosuelo cj-D (Figura 8).

En el perfil PHL, se determinó la presencia de horizontes de polaridad normal e inversa, excepto en los horizontes más pedogenizados de su base donde no fue posible determinar su polaridad (Figura 10). Estas últimas (Figura 11, muestra PHL.5), evidencian una abrupta pérdida de  $J_0$  a 15 mT (> 90%); en estos casos se define una componente normal entre 0 y 15 mT, sin embargo, es posible que corresponda a una componente secundaria (viscosa) adquirida por procesos de óxido-reducción durante la pedogénesis. En el horizonte 2Bt predominan las muestras de polaridad

normal (Figura 10; Figura 11, muestra PHL.10); en estas,  $J$  también decae significativamente a campos bajos, sin embargo las direcciones de magnetización se mantienen estables entre 0 y 20 mT, evidenciando la presencia de un vector de direcciones normales que es interpretado como la componente principal (subcron Jaramillo?). En el horizonte 2AB del tope de la unidad cj-D, las muestras son de polaridad inversa y generalmente presentan una caída gradual de  $J$  con el incremento de AF (Figura 11, muestra PHL.11). En el horizonte AC de la base de la unidad cj-E, las muestras también son de polaridad inversa (Figura 11, muestra PHL.18) y en el C son normales (Figura 11, muestra PHL.19), con lo cual, el cambio de polaridad asignado a Matuyama/Brunhes en este perfil PHL, se registra en la base del loess (cj-E). Estas pierden el mayor porcentaje de intensidad a campos bajos, sin embargo, algunas evidencian incrementos anómalos de  $J$  por encima de 15 y 20 mT.

PERFIL HIDROMÓRFICO LEVE

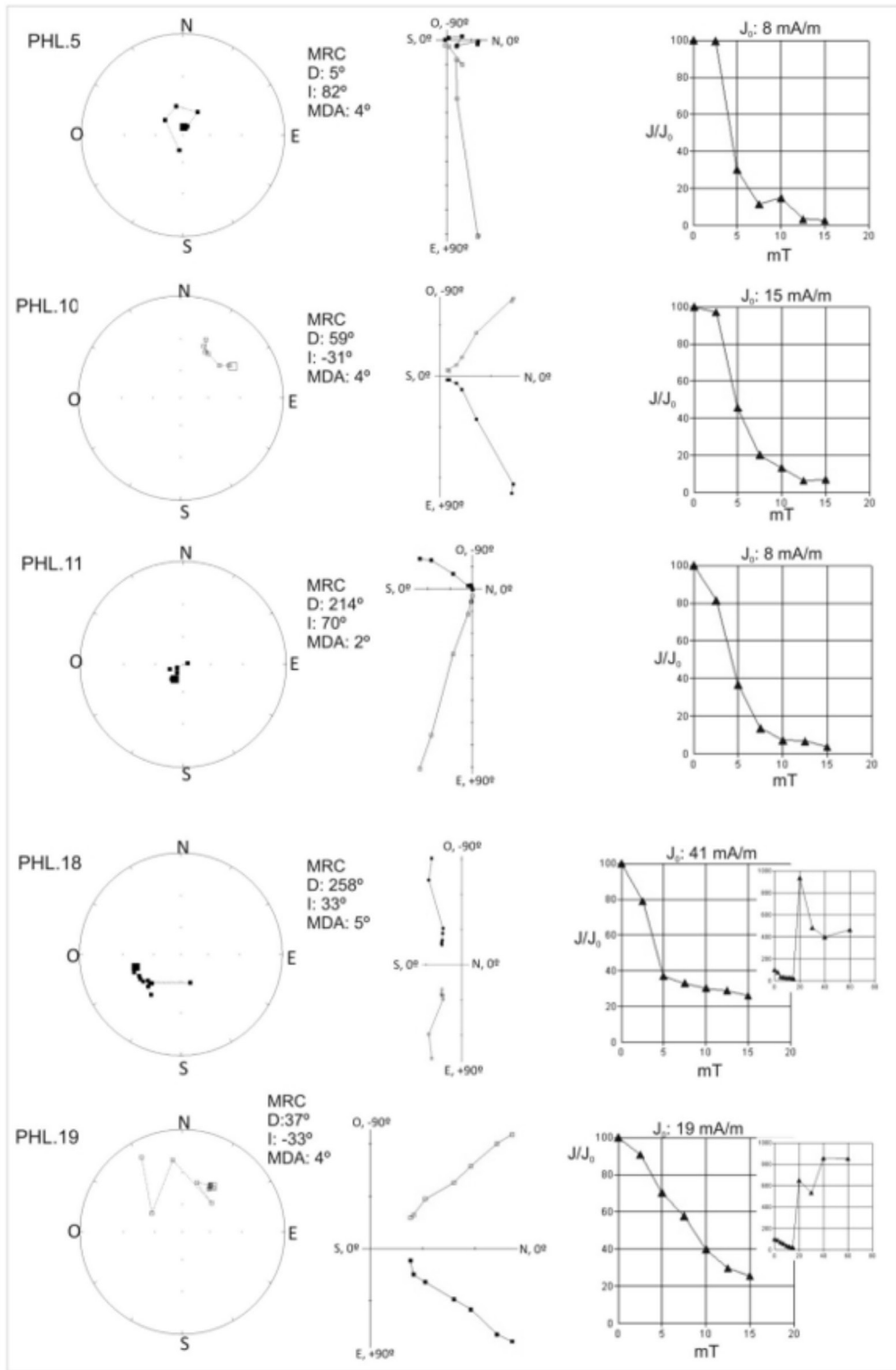


Figura 11. Estereogramas, diagramas de Zijderveld y curvas de  $J/J_0$  (H) del Perfil Hidromórfico Leve.

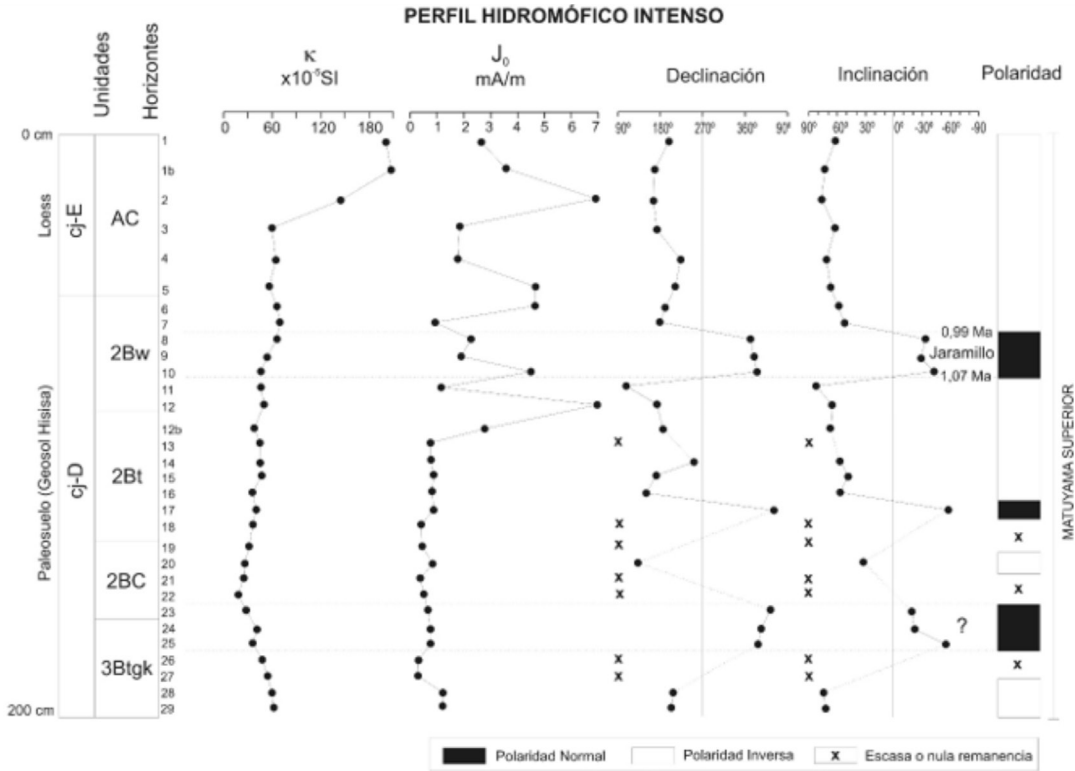


Figura 12. Resultados paleomagnéticos del Perfil Hidromórfico Intenso.

En el perfil Perfil Hidromórfico Intenso, se determinó la presencia de horizontes de polaridad normal e inversa, sin embargo, un número considerable de muestras presentó escasa o nula remanencia magnética (Figura 12). Estas últimas son frecuentes en la base de esta unidad, donde se determinó la presencia de un horizonte profundamente hidromorfizado (3Btgk). En estos niveles, las muestras evidencian una fuerte resistencia a la desmagnetización ( $J$  aumenta y disminuye sucesivamente con la aplicación de AF) y proporcionan valores de declinación e inclinación muy dispersos, lo cual hace imposible la determinación de su polaridad (Figura 13; muestra PHI.21).

En la sección media e inferior de este perfil, se obtuvieron algunas muestras de polaridad normal (Figura 13, muestra PHI.10) alternando entre niveles de polaridad inversa. En los horizontes

superiores de la unidad cj-D y en la base de cj-E, donde los rasgos de hidromorfismo disminuyen y los valores de  $J_0$  se incrementan levemente (2 a 7 mA/m), las muestras son de polaridad inversa, por lo tanto, si bien no fue posible registrar el cambio de polaridad Matuyama/Brunhes en este caso, se constata que la base del loess cj-E es de polaridad inversa. Algunas de estas muestras presentan 2 o más componentes de magnetización: una componente viscosa ( $< 10$  mT) caracterizada por un notable incremento de  $J$  a campos bajos y una componente principal donde  $J$  evidencia una disminución progresiva con el incremento de  $H$  (Figura 13; muestra PHI.6), sin embargo, cabe destacar, que la mayoría de la muestras de polaridad inversa de este paleosuelo, si bien presentan valores de declinación e inclinación estables, no es posible visualizar en los diagramas de Zijderveld su componente principal de magnetización debido al comportamiento de  $J$  (Figura 13; muestra 29).

PERFIL HIDROMÓRFICO INTENSO

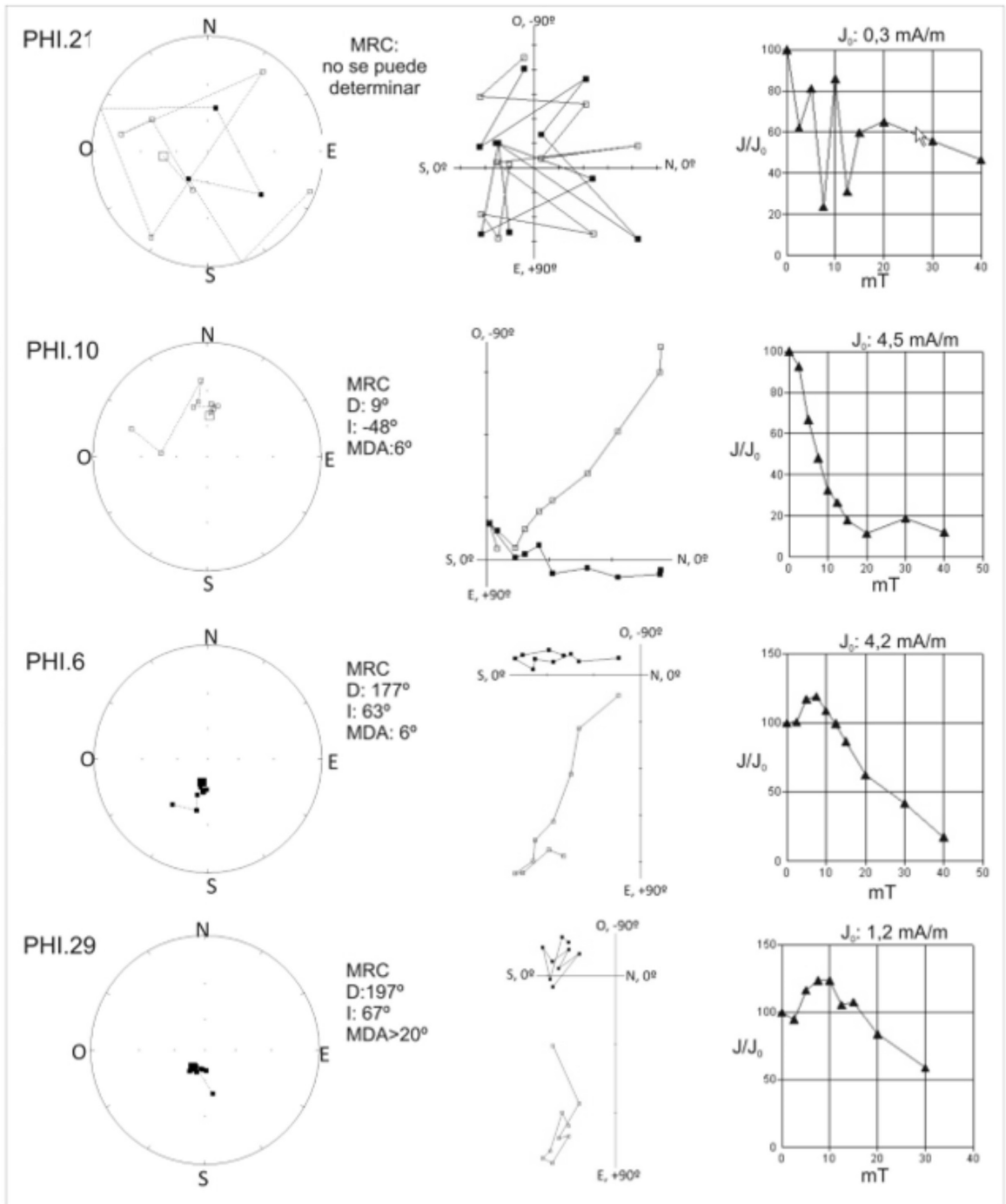


Figura 13. Estereogramas, diagramas de Zijderveld, curvas de  $J/J_0$  (H) del Perfil Hidromórfico Intenso.

## ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

El comportamiento de la susceptibilidad magnética en la cantera de Juárez es coincidente con el registrado en las sucesiones loess-paleosuelo del noreste de la provincia de Buenos Aires (Nabel y Valencio, 1981; Nabel, 1993; Bidegain, 1998; Bidegain et al., 2001, 2002, 2004, 2005; Bidegain y Rico, 2004; Orgeira et al., 2002; entre otros), así como en la mayoría de los suelos actuales de esta región (Orgeira et al., 2004; Bartel et al., 2005; Orgeira y Compagnucci, 2006; Bartel, 2009). Esto es, valores elevados en los niveles menos pedogenizados, y más bajos en los horizontes de paleosuelos y niveles carbonáticos. En los paleosuelos arcillosos, la disminución de susceptibilidad magnética es interpretada como el resultado de la alteración química de la magnetita por efecto de la pedogénesis (Maher, 1998), cuando las condiciones de drenaje habrían sido deficientes (Bidegain et al., 2001), o bien cuando el contenido de vidrio volcánico y/o materia orgánica se habrían incementado (Orgeira et al., 2002). En los niveles carbonáticos, dicha disminución es producida por el incremento de calcita diamagnética con susceptibilidad negativa, la cual al incrementarse en volumen, genera la dilución de la señal ferrimagnética (Gómez Samus, 2016). En los depósitos de loess menos pedogenizados, el incremento de los valores de susceptibilidad denota una mayor concentración de granos de titanomagnetitas dada por el aumento en la tasa de sedimentación del loess y la concomitante disminución de la pedogénesis. Este fenómeno se habría dado en períodos de mayor aridez, cuando los vientos provenientes del oeste, habrían transportado y depositado en la región, un mayor volumen de granos de magnetita (Bidegain, 1998).

El análisis paleomagnético permitió ampliar el registro de polaridades pre-existente en la cantera de Juárez y determinar la presencia de unidades sedimentarias de polaridad normal e inversa que se asignaron a los cronos Brunhes, y Matuyama Medio y Superior. Esto último se fundamenta en el hallazgo de dos niveles de polaridad normal

dentro de la magnetozona inversa de Matuyama, que podrían corresponder a los subcronos Jaramillo (1,07-0,99 Ma) y Olduvai (1,92-1,78 Ma), como ha sido determinado en la excavación del Teatro Argentino de La Plata (Bobbio et al., 1986) y en las canteras de Hernández y Gorina de la misma ciudad (Bidegain, 1991, 1998; Tonni et al., 1999; Heil et al., 2010). La presencia del subcron Olduvai, estaría dada por el registro de un paleosuelo arcilloso de polaridad normal en el sector más profundo de la cantera. Por su parte, en coincidencia con Tonni et al. (1999), los horizontes de polaridad normal asignados al subcron Jaramillo fueron registrados dentro del Geosol Hisisa, aunque únicamente dentro de los perfiles definidos como intrazonales. De esta manera, la edad de los depósitos más antiguos de esta cantera queda acotada a un mínimo de 1,78 Ma.

El cambio de polaridad Matuyama/Brunhes se registra dentro de la Fm. Ensenada, como ha sido indicado en trabajos anteriores (Bidegain y Rico, 2004), sin embargo el estudio realizado en 3 perfiles distintos dentro de la misma cantera, indica que no siempre se registra en la misma posición estratigráfica. En el perfil zonal, este se registra en el tope del Geosol Hisisa, sin embargo, en los perfiles intrazonales, se registra en la base del loess que se halla por encima de este último. Esto es coincidente con lo hallado por Bidegain (1998) en las canteras de Hernández y Gorina de La Plata, donde este cambio de polaridad también se registra en diferentes posiciones y ambientes sedimentarios (Figura 14), lo cual permite inferir, que el cambio de polaridad puede coincidir en algunos sectores con la isócrona paleomagnética de 0,78 Ma en la ciudad de La Plata, pues esta no coincide exactamente en todos los casos, con la superficie de truncamiento que se halla en el tope del Geosol Hisisa (Blassi et al., 2001), ni con otra discontinuidad que pueda apreciarse en el campo e indique ausencia de registro sedimentario. Por lo tanto, esto permitiría inferir que los horizontes de polaridad inversa del Geosol Hisisa podrían ser sincrónicos con los depósitos de loess que

constituyen la base de la unidad que se halla directamente por encima.

Otro aspecto que cabe resaltar, es que la calidad del registro paleomagnético varió con el grado de pedogénesis. En tal sentido, se comprobó que los depósitos de loess menos pedogenizados y el relleno laminar de las crotovinas, proporcionan registros de polaridad magnética más confiables que los paleosuelos más pedogenizados. Estos últimos presentaron en general valores de intensidad magnética muy bajos y su comportamiento frente al proceso de desmagnetización AF evidenció la ocurrencia de procesos de oxidación secundaria (dados por la presencia de componentes viscosas y fases altamente coercitivas). En el

Geosol Hisisa, si bien las muestras de polaridad inversa proporcionaron valores de declinación e inclinación estables entre 10 y 30 mT, en la mayoría de los casos no fue posible visualizar la componente primaria de magnetización en los diagramas de Zijderveld. A su vez, donde este paleosuelo presentó rasgos de intenso hidromorfismo, las direcciones de magnetización obtenidas no permitieron determinar su polaridad magnética, pues su remanencia es escasa o nula. Esto es atribuido a la alteración u oxidación de la magnetita en condiciones de drenaje deficiente (Maher, 1998), tal como ha sido indicado por Orgeira et al. (1998) y Bidegain et al. (2001) en horizontes Bt de paleosuelos de la región pampeana.

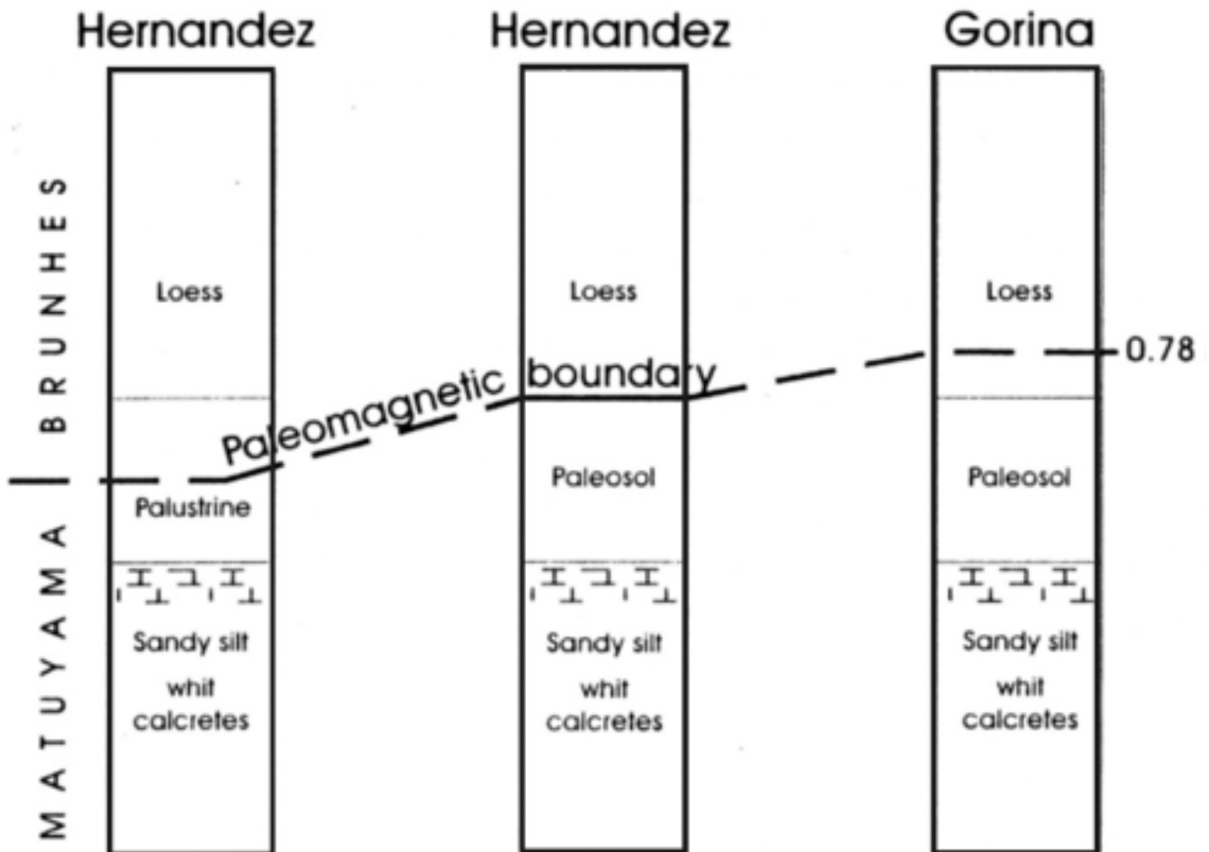


Figura 14. Distintas posiciones del cambio de polaridad Matuyama/Brunhes en La Plata. Tomada de Bidegain (1998).

## CONCLUSIONES

En la cantera de Juárez, el comportamiento de la susceptibilidad magnética es consistente con el registrado en la mayoría de las sucesiones de loess/paleosuelos de la región pampeana. Esto es, más elevada en los depósitos de loess menos pedogenizados, y más baja en los horizontes Bt de paleosuelos y niveles carbonáticos.

La disminución de la susceptibilidad magnética en horizontes Bt es interpretada como el resultado de la alteración química de la magnetita por efecto de la pedogénesis, cuando el aporte de sedimentos habría disminuido (por ejemplo, en períodos interglaciales) y las condiciones de drenaje habrían sido deficientes.

El incremento de los valores de susceptibilidad evidencia un aumento de la tasa de sedimentación en detrimento de la pedogénesis, y se vincula a períodos de mayor aridez (glaciaciones).

Los análisis paleomagnéticos realizados en los depósitos de loess menos pedogenizados y en el relleno laminar de las crotovinas, proporcionan los registros de polaridad magnética más confiables. Los paleosuelos que presentan rasgos

de intenso hidromorfismo, presentaron escasa o nula remanencia magnética; en estos casos, no fue posible determinar su polaridad o bien los resultados fueron poco confiables. Dicha respuesta es atribuida a la alteración de los minerales portadores de remanencia magnética, debido al exceso de agua en los suelos, durante períodos de tiempo prolongado (drenaje deficiente).

La posición del límite Matuyama/Brunhes en la cantera de Juárez se relaciona con la presencia del Geosol Hisisa, sin embargo, dicho límite paleomagnético no coincide exactamente con el contacto superior de dicho paleosuelo, sino que se registra dentro del paleosuelo o bien en el loess suprayacente, permitiendo inferir a su vez, que al menos la sección superior e inferior de ambas unidades respectivamente, habrían sido sincrónicas.

Dentro de la magnetozona inversa de Matuyama se determinó la presencia de los subcronos Jaramillo (1,07-0,99 Ma) y Olduvai (1,92-1,78 Ma). Ambos se registran en paleosuelos arcillosos; el primero, en la base de la cantera, permite acotar la edad de los depósitos más antiguos a un mínimo de 1,78 Ma; el segundo, se registra dentro del Geosol Hisisa.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al LEMIT, a la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires y a la Universidad Nacional de La Plata.

## REFERENCIAS

- 1.- Bartel, A.A., 2009. Caracterización magnética de una climosecuencia de suelos entre el sureste de la provincia de La Pampa y el litoral atlántico. Universidad Nacional del Sur, p 325. Ph.D. thesis unpublished.
- 2.- Bartel, A.A., Bidegain, J.C., Sinito, 2005. Propiedades magnéticas de diferentes suelos del partido de La Plata, provincia de Buenos Aires. Revista de la Asociación Geológica Argentina 60, 591–598.
- 3.- Bidegain, J.C., 1991. Sedimentary development, magnetostratigraphy and séquence of events of the late Cenozoic in Entre Ríos and surrounding areas in Argentina. Ph.Dr.Thesis. Paleogeophysics and

Geodinamics, Department of Geology and Geochemistry, Stockholm University, Stockholm, Sweden, ISBN-91-7146-915-X. Akademitryck A.B., Edsbruk, pp.1-128.

4.- Bidegain, J.C., 1998. New evidence of the Brunhes/Matuyama polarity boundary in the Hernández-Gorina quarries, north – west of the city of La Plata, Buenos Aires province, Argentina, Quaternary of South America and Antarctic Peninsula, A. A. Balkema, Rotterdam, Vol. 11, 12:207-229.

5.- Bidegain, J.C., Van Velzen A.J. y Rico, Y. 2001. Parámetros magnéticos en una secuencia de loess y paleosuelos del Cenozoico tardío en la Cantera de Gorina, La Plata: su relevancia en el estudio de los cambios paleoclimáticos y paleoambientales. Revista de la Asociación Geológica Argentina 56(4): 503-516.

6.- Bidegain J.C y Rico Y., 2002. Geología y registros de susceptibilidad magnética en sedimentos de polaridad Normal (Brunhes) y Reversa (Matuyama) de la cantera de Juárez, Partido de La Plata, Provincia de Buenos Aires; Argentina. XV° Congreso Geológico Argentino, Buenos Aires, Argentina.

7.- Bidegain, J.C y Rico, Y. 2004. Mineralogía magnética y registros de susceptibilidad en sedimentos cuaternarios de polaridad normal (Brunhes) y reversa (Matuyama) de la cantera de Juárez. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 59(3): 451-461.

8.- Bidegain, J.C., Evans, M.E y Van Velzen, A.J. 2005. A magnetoclimatological investigation of Pampean Loess, Argentina. Geophysical Journal International 160: 55-62.

9.- Bidegain, J.C., van Velzen, A.J., Rico Y., 2007. The Brunhes/Matuyama boundary and magnetic parameters related to climatic changes in Quaternary sediments of Argentina. Journal of South American Earth Sciences 23:17-29. +

10.- Blasi, A.M., Zárate, M.A., Kemp, R.A., 2001. Sedimentación y pedogénesis cuaternaria en el noreste de la pampa bonaerense: la localidad Gorina como caso de estudio. Asociación Argentina de Sedimentología, Revista 8: 77-92.

11.- Bobbio, M.L., Devincenzi, S.M., Orgeira M.J., Valencio D.A., 1986. La magnetoestratigrafía del Ensenadense y Bonaerense de la ciudad de La Plata, su significado geológico, Revista de la Asociación Geológica Argentina 51 (1-2):7-22. Buenos Aires.

12.- Fidalgo, F. y Martínez, O.R., 1983. Algunas características geomorfológicas dentro del partido de La Plata, Provincia de Buenos Aires. Revista de la Asociación Geológica Argentina, Buenos Aires, XXXVIII (2), 263–279.

13.- Gómez Samus, M.L., 2016. Magnetoestratigrafía y parámetros magnéticos en sedimentos del Cenozoico Tardío del sector Tandil-Balcarce-Mar del Plata. Universidad Nacional de La Plata. p430. Ph.D. Unpublished.

14.- Heil, C.W., King, J.W., Zárate, M.A., Schultz, P.H., 2010. Climatic interpretation of a 1.9 Ma environmental magnetic record of loess deposition and soil formation in the central eastern Pampas of

Buenos Aires, Argentina. *Quaternary Science Reviews* 29: 2705-2718.

16.- Kruse, E.; Varela L.; Laurencena P.; Deluchi M.; Rojo A., Carol, E., 2004. Modificaciones del ciclo hidrológico en un área del noreste de la Provincia de Buenos Aires. Argentina. En el libro: *El Agua y la Ciudad Sostenible: Hidrogeología urbana. Serie Hidrogeología y aguas subterráneas*: 11, p 342. Instituto Geológico Minero de España. ISBN 84-7840-539-9. Madrid. Pag: 131-139.

Maher, B.A, 1998. Magnetic properties of modern soils and Quaternary loessic peleosols: paleoclimatic implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 137: 25-54.

17.- Nabel, P. E. y Valencio, D. A. 1981 La magnetoestratigrafía del ensenadense de la ciudad de Buenos Aires: su significado geológico. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, XXXVI (I): 7-18.

18.- Nabel, P., 1993. The Brunhes–Matuyama boundary in Pleistocene sediments of Buenos Aires Province, Argentina. *Quaternary Int.* 17, 79–85.

19.- Nabel, P.E., Camilión, M.C., Machado, G.A., Spiegelman, A., Mormeneo, L., 1993. Magneto y litoestratigrafía de los sedimentos pampeanos en los alrededores de la ciudad de Baradero, Provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* XLVIII, 193±206.

20.- Orgeira, M.J., Walther, A.M., Vásquez, C.A., Di Tommaso, I.M., Alonso, S., Sherwood, G., Yuang Orgeira, M.J., Walther, A.M., Vasquez, C.A., Di Tommaso, I., Alonso, S., Sherwood, G., Hu, Y. and Vilas, J.F., 1998. Magnetismo ambiental: Loess y paleosuelos de la Formación Buenos Aires (Provincia de Buenos Aires). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 53 (1): 91-100.

21.- Orgeira, M. J., A. M. Walther, R. Tófaló, C. A. Vásquez, T. Berquó, C. Favier Dubois, and H. Böhnel, 2003. Environmental magnetism in fluvial and loessic Holocene sediments and paleosols from the Chacopampean Plain (Argentina), *J. South Am. Earth Sci.*, 16, 259–274.

22.- Orgeira, M.J., Wlather, A.M., Tófaló, R., Vásquez, C.A., Berquó, T., Favier Dobois, C., Böhnel, H., 2002. Magnetismo ambiental en un paleosuelo desarrollado en la Formación Luján (Luján, provincia de Buenos Aires). Comparación con otras áreas de la provincia; consideraciones paleoclimáticas. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 57 (4): 451-462.

23.- Orgeira, M. J., F. X. Pereyra, C. Vásquez, E. Castañeda, and Compagnucci, R., 2004. Señal magnética en suelos actuales de la provincia de Buenos Aires, Argentina: su relación con el clima, *Rev. Españ. Geo-Temas* 6: 311–314.

24.- Orgeira, M.J. y Compagnucci, R; 2006. Correlation between paleosol-soil magnetic signal and climate. *Earth, Planets and Space (EPS)*, Special Issue “Paleomagnetism and Tectonics in Latinamerica”; 58 (10) : 1373-1380.

25.- Riggi, J.C., Fidalgo, F., Martinez, O., Porro, N., 1986. Geología de los “Sedimentos Pampeanos” en el partido de La Plata. *Asociación Geológica Argentina, Revista* XLI (3–4), 316–333.

26.- Tonni, E.P., Nabel, P., Cione, A.L., Etchichurry, M., Tófalo, R., Scillato Yané, G., San Cristóbal, J., Carlini, A., Vargas, D., 1999. The Ensenada and Buenos Aires formations (Pleistocene) in a quarry near La Plata, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 12:273-291.

# EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA AL IMPACTO DE HORMIGONES REFORZADOS CON FIBRAS

## EVALUATION OF THE IMPACT RESISTANCE OF FIBER REINFORCED CONCRETES ABSTRACT

Juan C. Vivas<sup>1</sup>, Raul Zerbino<sup>2</sup>, María C. Torrijos<sup>2</sup>, Graciela Giaccio<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Becario doctoral CONICET, LEMIT-CIC, Facultad de Ingeniería UNLP, La Plata, Argentina

<sup>2</sup> Investigador Principal CONICET, LEMIT-CIC, Facultad de Ingeniería UNLP, La Plata, Argentina

<sup>3</sup> Investigadora Independiente CIC, LEMIT, Facultad de Ingeniería UNLP, La Plata, Argentina

### RESUMEN

El uso de Hormigón Reforzado con Fibras (HRF) presenta numerosas ventajas entre las que se destaca la mejora en la resistencia frente a impactos, así como otros tipos de cargas extremas. Si bien existe consenso en relación a los métodos de evaluación estática de la performance del HRF, no existe un método de ensayo de impacto de aceptación general para la caracterización del HRF. Al igual de lo que ocurre frente a sollicitaciones estáticas, en el caso de impacto resulta de interés valorar la contribución de las fibras luego de que el hormigón se ha fisurado. Considerando que en la actualidad se dispone de una gran variedad de fibras, el *fib* Model Code 2010 introdujo un sistema de clasificación en base a la resistencia residual en flexión (EN 14651); sin embargo, no hay referencias sobre la relación entre la capacidad residual medida en ensayos estáticos y la respuesta al impacto. Este trabajo muestra los avances de un programa de investigación que tiene por objetivos proponer un método de ensayo de impacto para evaluar el HRF, que valore tanto la resistencia a la primera fisura, como el comportamiento en estado fisurado. En primer lugar, se describe el método propuesto que es del tipo de impactos repetidos por caída de peso, luego se presentan algunos resultados sobre HRF de acero y finalmente se analiza la relación entre la capacidad residual medida en los ensayos de flexión normalizados y la resistencia al impacto. Los resultados permiten concluir que el método propuesto posee una gran sensibilidad para valorar la respuesta al impacto del HRF.

**Palabras clave:** HRF, impacto, fibras de acero, tenacidad.

### ABSTRACT

The use of Fibre Reinforced Concrete (FRC) has several advantages as improvements in the impact resistance and other types of extreme loads. Although there is consensus regarding the methods of static evaluation of FRC performance, there is no agreement about an impact resistance method for

concrete characterization. It is interesting to evaluate the fibre contribution once the concrete has been cracked by impact loads. Considering the great variety of fibres available nowadays, the *fib* Model Code 2010 introduced a classification system based on flexural residual strengths (EN 14651); however, there are no references on the relationship between the residual capacity measured in static tests and the impact response. This article shows the progress of a research program whose objective is to propose an impact test method that can assess the first crack strength and, also, the post peak behaviour of FRC. In first place, the proposed method, that is a repeated drop-weight impact test, is described, then some results with steel FRC are shown and finally, the relationship between the residual capacity measured on standard flexural tests and the impact strength is analysed. The results allow to conclude that the proposed method has great sensitivity to assess the impact response of FRC.

**Keywords:** FRC, impact, steel fibres, toughness.

## INTRODUCCIÓN

La mejora en la resistencia al impacto representa uno de los atributos importantes de los Hormigones Reforzados con Fibras (HRF) [1, 2]. Esto conduce a que el uso de fibras sea recomendable para la construcción de diversas estructuras que se encuentran potencialmente sometidas a este tipo de sollicitación, como pisos industriales, defensas de autopistas, cerramientos de seguridad y pilas de puentes, entre otros.

Aunque nadie duda que la incorporación de fibras sea provechosa frente al riesgo de impactos, no es sencillo valorar dichos beneficios y tampoco decidir qué tipo y/o dosis de fibras serán necesarios o recomendables adoptar. Se han propuesto diversos métodos para evaluar la resistencia al impacto del HRF, como el péndulo oscilante (tipo Charpy) [3-5], el impacto por caída libre de peso sobre esfera [1, 6], pero aún no existe uno de aceptación general. También se han informado experiencias empleando cargas explosivas [7-9] o diversos proyectiles [10, 11].

La idea de la propuesta del comité 544 de la ACI [1] es sencilla y, más allá de algunas modificaciones en el tiempo, básicamente valora la resistencia al impacto a partir del número de golpes requeridos para llevar a una probeta cilíndrica a la falla, pero este método presenta altos valores de dispersión [12, 13]. En las últimas décadas se han implementado otras técnicas, y una de gran

auge ha sido el llamado impacto por caída libre de peso sobre vigas simplemente apoyadas [14-17] de la cual existen muchas variantes, tanto en máquinas, dispositivos utilizados, características de las probetas y en la metodología misma. La revisión bibliográfica indica que la mayoría de las propuestas contemplan el uso de equipos electrónicos específicos de difícil acceso, lo cual representa una limitación, de lo que surge también la necesidad de definir un ensayo más económico y más sencillo. Por otra parte, y si bien se conoce que las fibras actúan principalmente luego de iniciadas las fisuras, la propagación de las fisuras bajo cargas sucesivas de impacto aparece como un área de vacancia.

En el presente trabajo se muestran los avances de un programa experimental que se inserta en una línea de investigación que se desarrolla en el LEMIT, y forma parte de una tesis doctoral, que tiene entre sus objetivos el de proponer un método de ensayo de impacto para HRF, que valore tanto la resistencia a la primera fisura, como la capacidad residual aportada por diferentes fibras en estado fisurado.

En este artículo en primer lugar, se describe el método propuesto que es del tipo de impactos repetidos por caída de peso, luego se presentan algunos resultados sobre HRF de acero, y finalmente se analiza la relación entre la capacidad

residual medida en los ensayos de flexión estática y la resistencia al impacto.

## ENSAYO DE IMPACTO

### Máquina de ensayo

En la Figura 1 se muestra la **máquina** de ensayo utilizada, adaptando un equipo originalmente usado en el estudio de probetas metálicas y en la evaluación de soldaduras [18, 19]. La máquina está constituida por dos rieles verticales de acero a través de los cuales se desplaza un **proyector** denominado martillo o pesa, que es izado a través un sistema de poleas, de forma manual o haciendo uso de un motor eléctrico. Previamente al levantamiento se ubica un activador a la altura deseada, de modo que en el momento que el proyectil alcance la cota del activador, se libere la pesa y descienda para impactar la probeta.

Es necesario resaltar que tanto la masa, como la

forma del proyectil influyen notablemente en el efecto del impacto, también lo hace la geometría del impactor. El impactor es el extremo inferior del proyectil, que entra en contacto con la probeta. En la Figura 1.c se observa el proyectil adoptado en este estudio; se trata de un martillo de masa 5 kg y un impactor lineal de longitud 150 mm y sección semicircular. En estudios preliminares también se realizaron pruebas con martillos de 10, 20, 50 y 75 kg.

Las probetas se ubican sobre dos **apoyos** de acero idénticos (Figura 2). Cada uno de ellos posee un zuncho de fijación que sujeta la muestra y evita el levantamiento durante y posterior al impacto. En ambos apoyos la probeta reposa sobre piezas cilíndricas (debidamente lubricadas) que permiten la rotación de la muestra en el plano del impacto. Asimismo, dado que los apoyos reposan sobre un sistema de rieles, la luz entre ellos puede variar. De este modo, en la metodología propuesta se reproduce un sistema isostático, por lo cual uno

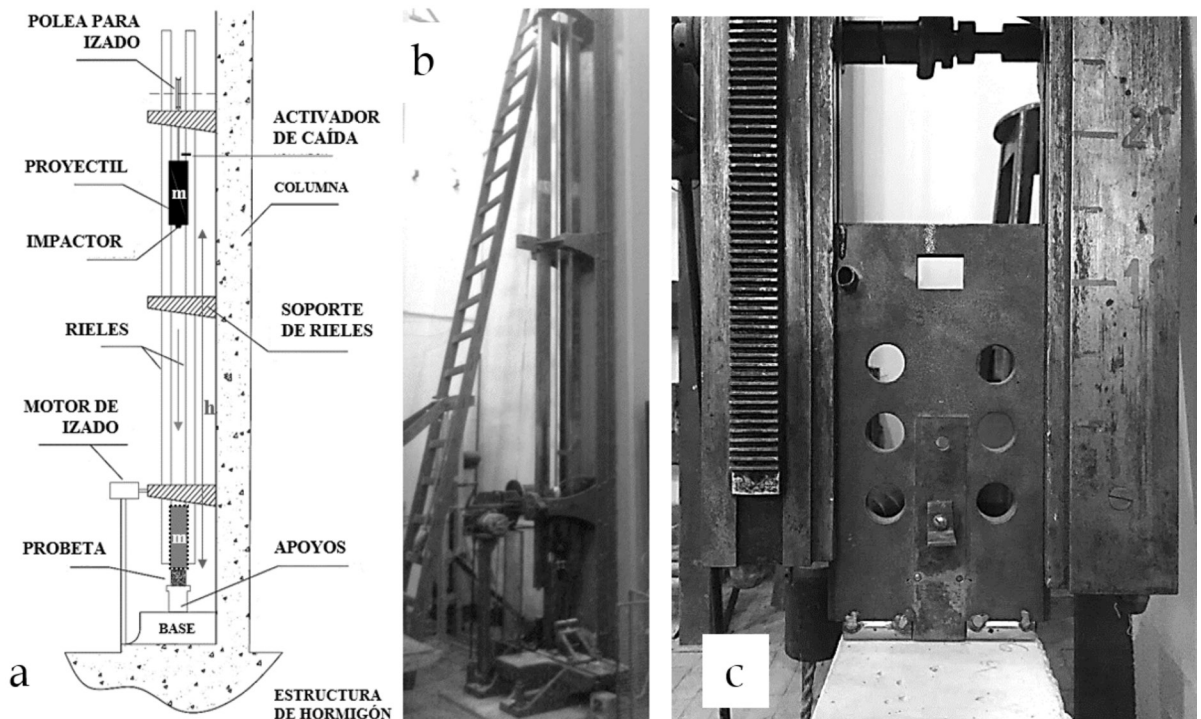


Figura 1. a) Esquema y b) fotografía de la máquina de ensayo c) Proyectil de masa 5 kg

de los apoyos se fija a la base, para simular una articulación fija a tierra, mientras que el otro se deja libre (y debidamente lubricado), de manera que es posible el desplazamiento horizontal y se logra una articulación móvil.

### Probetas

Para realizar el ensayo de impacto se adoptaron probetas prismáticas de 150x150x300 mm, considerando que esta geometría permite utilizar los mismos moldes o incluso aprovechar las mitades resultantes del ensayo de caracterización en flexión de HRF según la norma EN14651 [20], con el cual se valora la performance y determina la clase resistente del HRF [21]. Además, esto representa una ventaja adicional ya que, si se desea explorar una posible relación entre la resistencia al impacto y la clase resistente en flexión, las probetas poseen la misma orientación y distribución de fibras, con lo que se minimiza el efecto de estas variables.

58

Como se observa en la Figura 2, las muestras se disponen simplemente apoyadas, y poseen una entalla en el centro de la cara traccionada, de 25 mm de profundidad que se realiza previamente mediante aserrado. La profundidad de entalla se adoptó luego de un estudio preliminar donde se analizaron, experimentalmente, probetas entalladas a diferentes profundidades, comprobando que, con

la profundidad escogida, los esfuerzos de corte no alteraban la forma de la falla, que seguía siendo de flexión localizada. En otro trabajo previo se estudió la variabilidad de resultados sobre 14 muestras de un mismo HRF concluyendo que ensayando un mínimo de 6 probetas el error resultaba menor al 15 % con una confianza del 90 %.

### Microscopio digital

Para medir la abertura de la fisura durante el ensayo se utilizó un microscopio digital modelo *Dino-Lite Premier®* AM4113T, de 1.3 Megapíxeles, el cual provee una imagen aumentada de hasta 250x. Con dicha herramienta, en adición del software de obtención y manejo de imagen que el mismo incluye, es posible medir elementos con una precisión del orden 0,0001 mm (ver Figura 3).

### Protocolo de ensayo

El método adoptado es del tipo de impactos repetidos por caída de un peso y representa una mejora del propuesto por Vivas y Zerbino [22, 23]. El ensayo consiste en dejar caer repetidas veces un proyectil de masa ( $m_H$ ) sobre una probeta prismática. Luego de cada impacto se registra la abertura de la fisura (**COD**) a una distancia fija respecto del borde superior de la viga; las alturas de caída del proyectil ( $h_H$ ) también se van incrementando, variando a lo largo del ensayo.

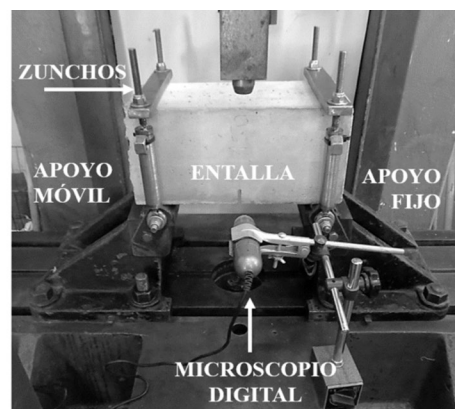
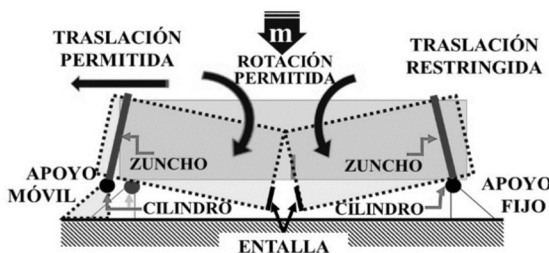


Figura 2. Configuración del ensayo

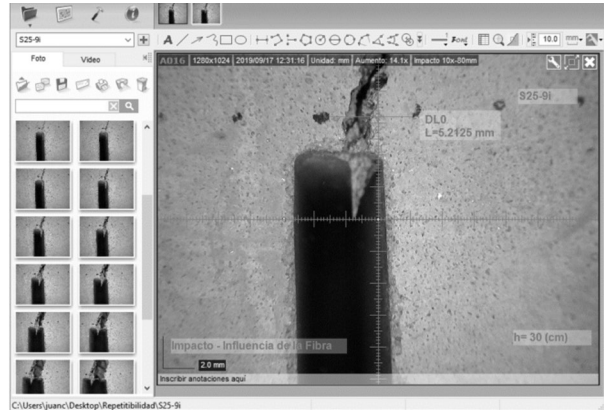
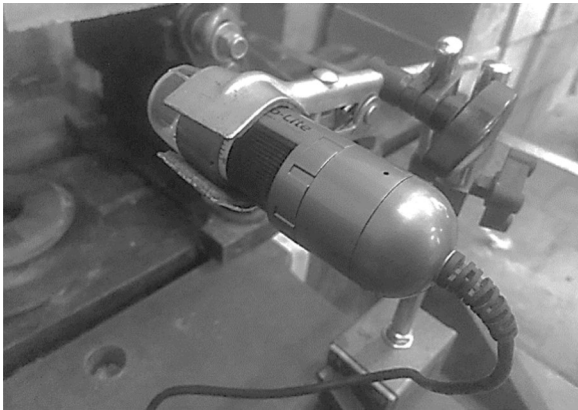


Figura 3. Microscopio digital y medición del ancho de fisura

Tabla 1. Configuración adoptada para los ensayos de impacto.

	$m_H$ [kg]	$h_0$ [mm]	$\Delta h_H$ [mm]	Números de golpes	Finaliza
Fase 1	5	100	50	1	Fisuración visible
Fase 2			100	3	COD = 3mm

La Tabla 1 muestra un protocolo de ensayo, el cual consta de dos fases: la primera tiene como objetivo determinar, en términos de energía acumulada, la resistencia a la fisuración de la muestra, y la segunda valorar la contribución de las fibras durante la propagación de la fisura. En este caso se emplea una masa de proyectil de 5 kg ( $m_H$ ) y una altura inicial ( $h_0$ ) de 100 mm. El patrón de carga de la **Fase 1** se aplica sobre la muestra sana, mientras el patrón de la **Fase 2** se aplica en estado fisurado. En ambas fases la altura de caída del proyectil va variando en forma creciente. En la Fase 1, la altura inicial ( $h_0$ ) se va incrementando entre impactos consecutivos en una magnitud  $\Delta h_H$  igual a 50 mm, se suministra un golpe por cada nivel de altura y el proceso se lleva a cabo hasta la aparición de la fisura. Luego se prosigue con la Fase 2 donde, a diferencia de la anterior, se suministran tres impactos en cada nivel de altura y los incrementos en la misma son iguales a 100 mm. El ensayo finaliza cuando la COD es mayor o igual a 3 mm. El uso de alturas crecientes permite evaluar hormigones con grandes diferencias de resistencia sin que se disipe demasiada energía

para cargas bajas; la reiteración de cargas a igual altura en el estado fisurado tiene como finalidad evitar saltos bruscos de energía y de ese modo permitir que la fisura abra paulatinamente en cada nivel de energía aumentando la sensibilidad para percibir el efecto de cada tipo de fibra. Esto es muy útil especialmente en hormigones de muy baja tenacidad ante impactos (o incluso en hormigón simple) para registrar el crecimiento de COD luego de la aparición de la primera fisura.

En la Figura 4 se representa el patrón de cargas de un ensayo, previo y posterior a la fisuración. Las barras, referidas al eje de la izquierda, muestran la energía individual de cada impacto en ambas fases del ensayo, en blanco la fase previa a la fisuración y en negro la energía por cada impacto posterior a la fisura. Por su parte, las líneas, que están referidas al eje de la derecha, representan la energía acumulada en el momento de cada impacto, también para ambas fases, en línea de puntos la energía prefisuración y en línea continua la energía postfisuración. Cabe resaltar que, a modo ilustrativo, en dicha figura se consideró un

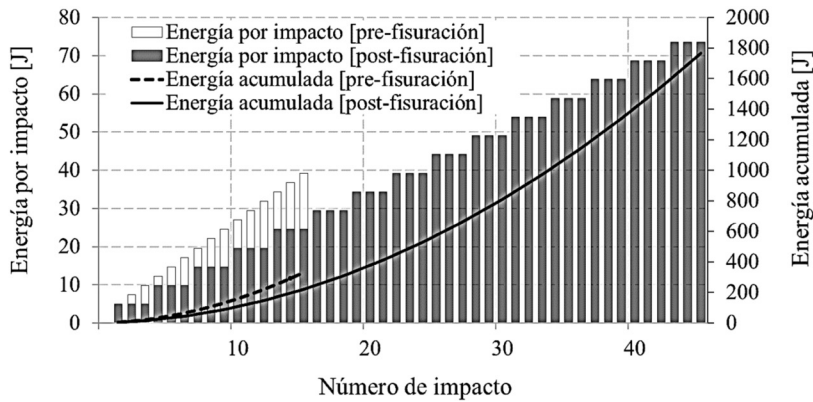


Figura 4. Patrón de cargas, previo y posterior a la fisuración.

ensayo en el cual la fisuración ocurrió en el impacto número 15, a una altura de caída de 800 mm (331 J) y, la falla en la Fase 2 ocurrió en el impacto número 3 de la altura  $h_H = 1500$  mm (1766 J). Es obvio que, en otras pruebas, la fisuración y la falla podrían ocurrir en otros puntos, pero el historial de carga de cada en cada Fase sería idéntico.

altura (**h**), la profundidad de entalla (**e**) y la luz libre (**L**) de los prismas. Para ello se define un factor adimensional de geometría ( $\Gamma$ ) que surge del cociente entre un factor  $\gamma^*$  correspondiente a la probeta con dimensiones estándares y un factor  $\gamma$  determinado con las dimensiones de cada probeta ensayada, siendo:

60 **Determinación de la energía de impacto y parámetros de análisis**

La determinación de la energía (**E**) de cada impacto se hace como el producto  $m_H \cdot g \cdot h_H$  (donde **g**, representa la aceleración de la gravedad) y se corresponde con la energía potencial que posee el sistema antes de iniciar la caída. Aunque en una experiencia previa [23] se determinó que por la naturaleza de la máquina existen ligeras pérdidas de energía (por fricción y vibraciones, entre otros factores), en esta primera instancia se ha decidido despreciarlas considerando que por la naturaleza comparativa del estudio y del método en sí (con patrones de carga idénticos para todas las muestras), ello no resultaría en cambios sustanciales en las conclusiones.

Sin embargo, resulta importante considerar las ligeras variaciones en las dimensiones de las probetas y/o sus condiciones de apoyo. En este sentido se plantea un ajuste de las magnitudes de energía en función del tamaño de la base (**b**), la

$$\gamma = \frac{b(h - e)^2}{L}$$

De esta manera  $\Gamma$  se determina como

$$\Gamma = \frac{\gamma^*}{\gamma} = \frac{\frac{b^* (h^* - e^*)^2}{L^*}}{\frac{b(h - e)^2}{L}} = \frac{L b^* (h^* - e^*)^2}{L^* b (h - e)^2}$$

Adoptando  $L^*=240$ ,  $b^*=150$ ,  $h^*=150$  y  $e^*=25$  [mm], resulta:

$$\Gamma = 9766 \text{ mm}^2 \frac{L}{b (h - e)^2}$$

Entonces, el ajuste se realiza multiplicando  $\Gamma$  por los valores de energía obtenidos en el ensayo. De manera que la **E** de un impacto será:

$$E = \Gamma \cdot m_H \cdot g \cdot h_H$$

Este factor  $\Gamma$  es aplicado a probetas con pequeñas diferencias en sus dimensiones, próximamente se realizará la verificación del alcance del mismo en base a un estudio paramétrico de las variables geométricas involucradas ( $L$ ,  $h$ ,  $b$ ,  $e$ ).

La Figura 5 muestra esquemáticamente una curva típica del ensayo, Energía Acumulada vs COD, denominada “*curva de impacto*”. La Energía Acumulada es la suma de las magnitudes de energía de todos los impactos individuales recibidos por la muestra hasta un dado momento. En el mencionado esquema, se definen puntos característicos que posteriormente serán empleados en el análisis:  $E_C$ : energía acumulada al momento de la fisuración

$COD_C$ : abertura de la fisura inicial

$E_F$ : energía acumulada posterior a la fisuración

$E_T$ : energía total ( $E_T = E_C + E_F$ )

$V_F$ : velocidad de apertura de fisura, expresada en mm/J, y calculada como la inversa de la

pendiente de la cuerda entre las aberturas 0,5 y 2,5 mm, las energías respectivas para  $COD = 0,5$  y  $2,5$  mm, se indican como  $E_{0,5}$  y  $E_{2,5}$ .

## EXPERIENCIAS

Se muestran a continuación algunos resultados con el fin de poner en evidencia la potencialidad del método para valorar la capacidad de diferentes HRF.

### Materiales y mezclas

Se prepararon tres hormigones, uno de referencia sin fibras identificado como R y los dos restantes que incorporan 25 y 50 kg/m<sup>3</sup> de fibras de acero, denominados S25 y S50 respectivamente. Las fibras empleadas son de acero con gancho en sus extremos (hooked-ended) de 50 mm de largo y 1 mm de diámetro.

Se empleó un mismo hormigón de base, elaborado con cemento portland tipo CP40, arena silícea natural y piedra partida granítica de tamaño máximo 19 mm; la relación agua/cemento fue 0,40. En todos ellos, para facilitar el manejo de la mezcla en estado fresco, se incorporó una pequeña dosis (menor al 1% del peso de cemento) de un superplastificante de base naftalénica, de forma tal que el asentamiento del hormigón fuese igual a  $60 \pm 10$  mm.

Con cada hormigón, se moldearon prismas de 150x150x600 mm y cilindros de 100 x 200 mm. Todas las probetas fueron compactadas mediante una mesa vibratoria, se desmoldaron a las 24 horas, fueron curadas en cámara húmeda por 28 días, al 95% de humedad relativa y 23°C de temperatura, y posteriormente expuestas al aire en ambiente de laboratorio.

### Caracterización mecánica de los hormigones

A los 60 días se realizaron ensayos de compresión y flexión, siguiendo las normas ASTM C-39 [24] y EN14651 [20] respectivamente. En la Figura 6

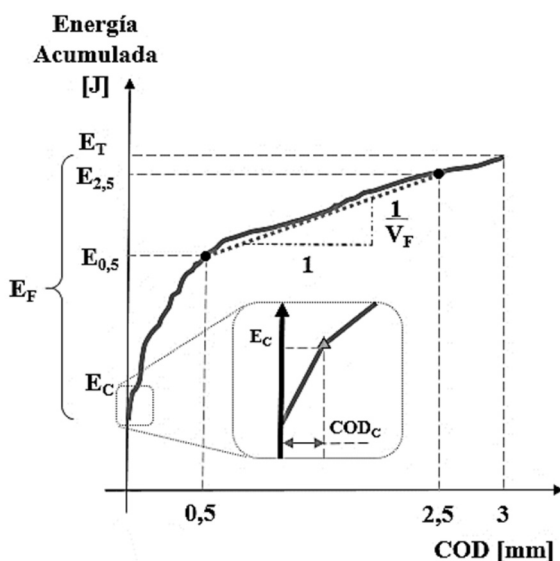


Figura 5. Esquema de curva típica del ensayo.

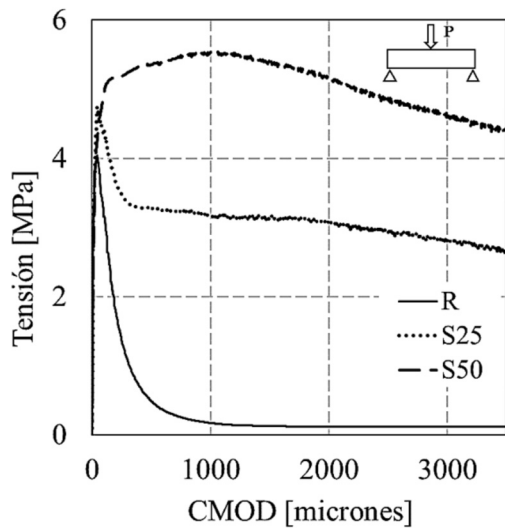


Figura 6. Curvas promedio tensión-apertura de fisura (CMOD) según EN14651.

Tabla 2. Propiedades mecánicas de los hormigones.

Identificación	R	S25	S50
Contenido de fibras [kg/m <sup>3</sup> ]	-	25	50
$f'_{cm}$ [MPa]	46,2	45,2	46,8
$f_L$ [MPa]	4,04	4,75	4,42
$f_{R1}$ [MPa]	-	3,27	5,36
$f_{R3}$ [MPa]	-	2,93	4,87

se muestran las curvas promedio tensión-apertura de fisura (CMOD) obtenidas para cada hormigón a partir del ensayo de seis prismas. En la Tabla 2 se presentan los valores medios de la resistencia a compresión ( $f'_{cm}$ ) y los valores de la tensión de la primera fisura ( $f_L$ ) y las resistencias residuales para aperturas de fisura de 0,5 y 2,5 mm ( $f_{R1}$  y  $f_{R3}$ ).

## RESULTADOS Y ANÁLISIS

### Respuesta en impacto

En la Figura 7 se muestran las curvas de energía acumulada vs COD, obtenidas para las distintas

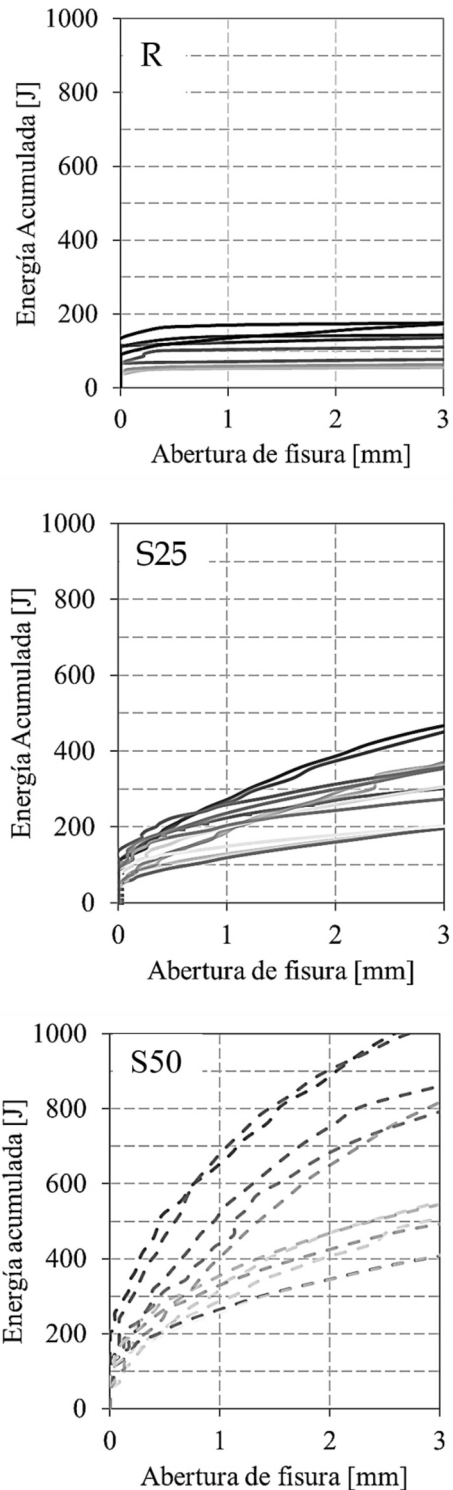


Figura 7. Curvas de impacto para el hormigón (R) referencial, (S25) HRF de 25 kg/m<sup>3</sup> de fibras de acero y (S50) HRF de 50 kg/m<sup>3</sup> de fibras de acero.

probetas de cada hormigón. Se observan respuestas bastante homogéneas y consistentes dentro de cada mezcla, notando que la dispersión crece con la dosis de fibras. Se aprecia una pendiente post fisuración más homogénea en S25 y R siendo esta última marcadamente menor que con las fibras y en especial para altos contenidos de fibras. La inversa de dicha pendiente representa la velocidad de crecimiento de la abertura de fisura, lo que será analizado más adelante.

En la Figura 8 se comparan una curva de impacto representativa de cada grupo. Es posible observar que el HRF no presentó incrementos en la energía de fisuración con respecto al hormigón de base. En relación al comportamiento postfisuración, como era previsible, el hormigón sin fibras no mostró

capacidad residual y rápidamente alcanzó la falla. Por el contrario, en el HRF aumentó la energía postfisuración y el incremento en la dosis de fibra mejoró a la capacidad resistente (en impacto), y a su vez redujo la velocidad de abertura de la fisura.

La Tabla 3 incluye los resultados de energía de fisuración, postfisuración y total, la apertura de fisura inicial y los cálculos de la velocidad de propagación de la fisura (entre 0,5 y 2,5 mm de apertura). Se verifica la capacidad de las fibras para controlar la fisuración, se reduce el ancho de la primera fisura y, principalmente, surge con claridad que las fibras reducen la velocidad de crecimiento del COD, tanto más cuanto mayor dosis se incorpore.

A modo de síntesis en la Figura 9 se representan los valores promedio y los máximos y mínimos,

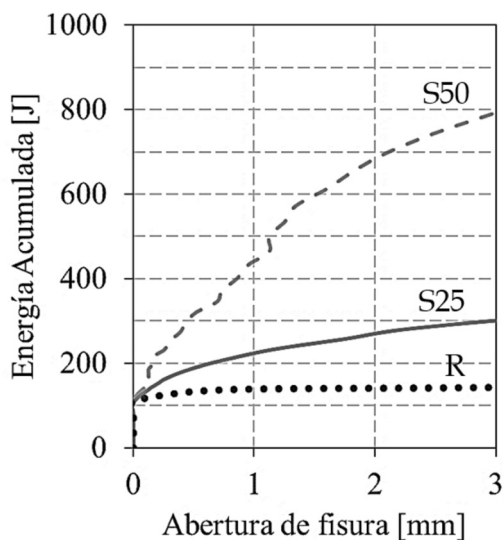


Figura 8. Curvas de impacto representativas por tipo de HRF.

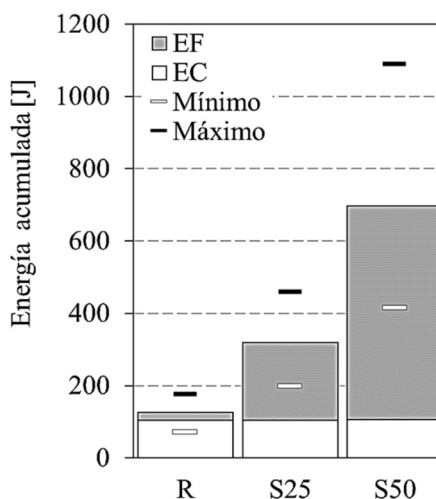


Figura 9. Valores promedio de energía.

Tabla 3. Respuesta en impacto de los hormigones.

	$E_C$	$E_F$	$E_T$	$COD_C$	$V_C$
	[J]			[ $\mu$ m]	[mm/J]
R	104	21	125	833	0,234
S25	104	215	319	116	0,018
S50	105	592	697	59	0,007

que manifiestan la respuesta global de los hormigones. Se observa que, aunque la energía de fisuración fue aproximadamente igual en todos los casos, la energía total creció con la dosis de fibras. La resistencia de la matriz es una propiedad inherente del tipo de hormigón, la fibra de acero no la modifica sustancialmente, pero si controla el tamaño de la fisura inicial. Por otra parte, se observa que, al aumentar el volumen de fibras, la resistencia postfisuración no se incrementó linealmente. En este caso en que se duplicó el contenido de fibras la EF ascendió a más del doble (275%), sin embargo, es de resaltar que a mayores niveles de energía, se incrementó la dispersión. Esta dispersión se asocia a la ramificación de la fisura dependiente de la distribución espacial de las fibras dentro de la viga.

### Vinculación entre respuesta estática e impacto

En la Figura 10 se comparan los resultados de los ensayos de impacto con los parámetros obtenidos en los ensayos estáticos de flexión, en particular las resistencias residuales  $f_{R1}$  y la  $f_{R3}$ , que representan la capacidad del material en estado límite de servicio y en estado límite último respectivamente. Es interesante destacar que tanto la energía fisuración ( $E_C$ ) como la energía total ( $E_T$ ) mejoraron con el incremento de las tensiones residuales, en particular, la mejoría es más marcada para la  $E_C$ . Se observa una clara tendencia de la velocidad  $V_F$  a disminuir con el aumento de la capacidad residual (obsérvese la escala logarítmica).

## CONCLUSIONES

A partir de los estudios realizados se puede concluir que:

El método propuesto es capaz de evaluar el desempeño del hormigón frente a acciones de impacto; permite diferenciar la capacidad de diferentes HRF, y valorar el aporte de las fibras tanto en lo relativo a la fisuración inicial (Fase 1) como en lo referido al crecimiento y propagación de las fisuras ya existentes (hormigón en estado fisurado, Fase 2).

Los dispositivos empleados no son complejos y se puede realizar una caracterización frente al impacto del HRF empleando las mismas probetas que se utilizan para la caracterización y clasificación estática de la performance.

Las fibras mejoran la respuesta del hormigón frente a acciones de impacto, variando la capacidad según la dosis de fibras. Si bien se encontró una relación entre los parámetros estáticos y dinámicos, esta podría estar afectada por el tipo de fibra, aspecto que se encuentra en estudio en la actualidad. Las fibras de acero mostraron una alta efectividad y la mayor dispersión para altas dosis de fibras, se vincula con una mayor variabilidad en la distribución de las mismas a lo largo de la superficie de fractura.

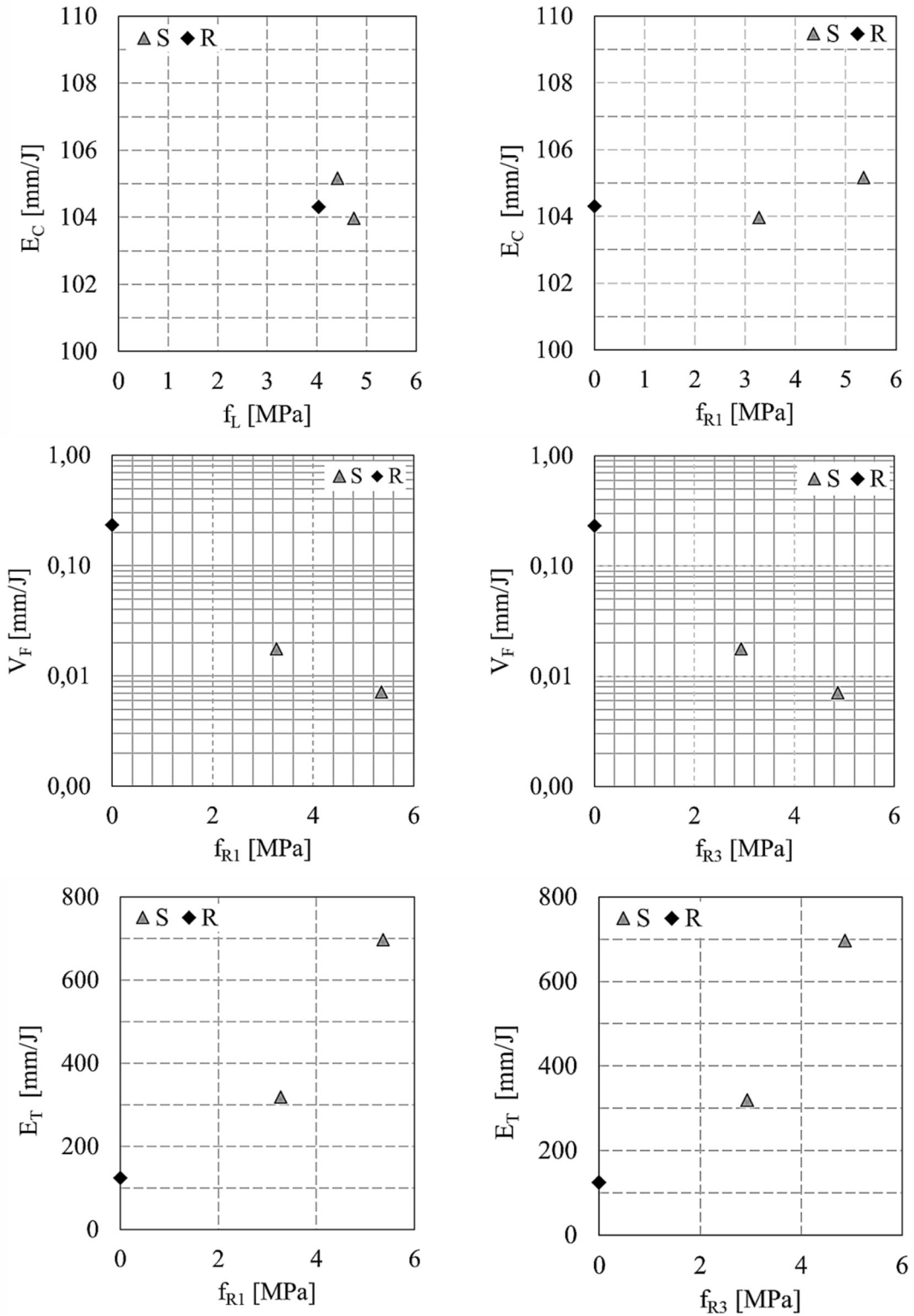


Figura 10. Comparación de parámetros del ensayo de impacto y ensayo de caracterización estático.

## REFERENCIAS

- 1.- ACI Committee 544, "Measurement of Properties of Fiber Reinforced Concrete 544.2R-89," 1999.
- 2.- ACI Committee 544, "Report on Measuring Mechanical Properties of Hardened Fiber Reinforced Concrete. ACI 544.9R-17," 2017.
- 3.- A. P. Hibbert, "Impact Resistance of Fibre Concrete," University of Surrey, 1979.
- 4.- N. Banthia, S. Mindess, and J.-F. Trottier, "Impact Resistance of Steel Fiber Reinforced Concrete," *ACI Mater. J.*, vol. 93, no. 5, pp. 472–479, 1996.
- 5.- J. Edgington, "Steel Fibre Reinforced Concrete. Volume A," University of Surrey, 1973.
- 6.- K. Ramesh, K. Arunachalam, and S. Rooban Chakravarthy, "Experimental Investigation on Impact Resistance of Flyash Concrete and Flyash Fiber Reinforced Concrete," *Int. J. Eng. Res. Appl.*, vol. 3, no. 2, pp. 990–999, 2013.
- 7.- G. Giaccio et al., "Tenacidad y respuesta frente a cargas explosivas en hormigones de muy alta resistencia reforzados con fibras," en *VII Congreso Internacional - 21a Reunión Técnica De La AATH*, 2016, pp. 669–676.
- 8.- M. Drdlová, J. Buchar, J. Krátký, and R. Řídký, "Blast resistance characteristics of concrete with different types of fibre reinforcement," *Struct. Concr.*, vol. 16, no. 4, pp. 508–517, 2015.
- 9.- C. Wu, D. J. Oehlers, M. Rebstrost, J. Leach, and A. S. Whittaker, "Blast testing of ultra-high performance fibre and FRP-retrofitted concrete slabs," *Eng. Struct.*, vol. 31, no. 9, pp. 2060–2069, 2009.
- 10.- H. Wu, Q. Fang, X. W. Chen, Z. M. Gong, and J. Z. Liu, "Projectile penetration of ultra-high performance cement based composites at 510-1320 m/s," *Constr. Build. Mater.*, vol. 74, pp. 188–200, 2015.
- 11.- C. Pontiroli, B. Erzar, and E. Buzaud, "Concrete behaviour under ballistic impacts: Effects of materials parameters to penetration resistance and modeling with PRM model," *Comput. Model. Concr. Struct.* - Proc. EURO-C 2014, vol. 2, pp. 685–693, 2014.
- 12.- X. C. Zhu, H. Zhu, and H. R. Li, "Drop-weight impact test on U-shape concrete specimens with statistical and regression analyses," *Materials (Basel)*, vol. 8, no. 9, pp. 5877–5890, 2015.
- 13.- A. Badr, A. F. Ashour, and A. K. Platten, "Statistical variations in impact resistance of polypropylene fibre-reinforced concrete," *Int. J. Impact Eng.*, vol. 32, no. 11, pp. 1907–1920, 2006.
- 14.- N. P. Banthia, "Impact Resistance of Concrete," The University of British Columbia, 1987.
- 15.- X. X. Zhang, G. Ruiz, and R. C. Yu, "A new drop weight impact machine for studying the fracture behaviour of structural concrete," *WIT Trans. Built Environ.*, vol. 98, no. April, pp. 251–259, 2008.

- 16.- M. Wu, C. Zhang, and Z. Chen, “Drop-weight tests of concrete beams prestressed with unbonded tendons and meso-scale simulation,” *Int. J. Impact Eng.*, vol. 93, pp. 166–183, 2016.
- 17.- D. Y. Yoo and N. Banthia, “Mechanical and structural behaviors of ultra-high-performance fiber-reinforced concrete subjected to impact and blast,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 149, pp. 416–431, 2017.
- 18.- American Society for Testing and Materials, ASTM E208-17(2018) Standard Test Method for Conducting Drop-Weight Test to Determine Nil-Ductility Transition Temperature of Ferritic Steels, vol. 06. 2000, pp. 1–14.
- 19.- American Society for Testing and Materials, ASTM E436 – 03 Standard Test Method for Drop-Weight Tear Tests of Ferritic Steels, vol. 91. 1997, pp. 1–6.
- 20.- Technical Committee CEN/TC 229, “EN 14651:2005 Test method for metallic fibered concrete - Measuring the flexural tensile strength (limit of proportionality (LOP), residual) Méthode,” 2005.
- 21.- International Federation for Structural Concrete (*fib*), Model Code Volume 1. 2010.
- 22.- J. Vivas and R. L. Zerbino, “Estudio de la Resistencia al Impacto de Hormigones Reforzados con Fibras,” en *19º Congreso Internacional de Metalurgia y Materiales. CONAMET-SAM*, 2019, vol. 5, pp. 4–5.
- 23.- J. Vivas, “Ensayo para el estudio de la resistencia al impacto de hormigones con fibras,” en *Jornada de Jóvenes Investigadores en Tecnología del Cemento y Hormigón*, 2019, pp. 5–8.
- 24.- American Society for Testing and Materials, ASTM C 39M:2003, *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. 2003, pp. 1–5.



# IMPACTO DE LAS CONSTRUCCIONES DE HORMIGÓN EN EL PAISAJE URBANO.

## IMPACT OF CONCRETE CONSTRUCTIONS ON THE URBAN LANDSCAPE.

Anahí López<sup>1,2</sup>, Alejandro R. Di Sarli<sup>3</sup>, Luis P. Traversa<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Investigador Asistente. CICPBA - LEMIT.colores@lemit.gov.ar

<sup>2</sup> UTN-FRLP/LEMaC, La Plata, Argentina. Docente-Investigador UTN

<sup>3</sup> Investigador Emérito CONICET - CIDEPINT.

<sup>4</sup> Investigador Emérito CICPBA - LEMIT -

### RESUMEN

El hormigón es un material de construcción que ha evolucionado de acuerdo con las necesidades políticas, sociales, económicas y tecnológicas de cada país o región. Debido a las diversas funcionalidades, su impacto social puede adquirir un carácter artístico o histórico a través de los monumentos, esculturas o mobiliario urbano que integran el paisaje construido. Además, es una alternativa que permite materializar pensamientos al involucrarlo como una pasta que modela, es decir, un material sin forma que toma la del molde que lo contiene y cuya apariencia final está condicionada por el tipo de terminación. Este trabajo presenta tres casos antagónicos entre sí y ejecutados en diferentes momentos históricos. Las obras de carácter innovador impactaron en el paisaje según valores tangibles e intangibles y, además, demostraron la versatilidad de las mezclas hechas con cemento. El primer caso es el Nuevo Teatro Argentino, ubicado en la ciudad de La Plata, construido después de la destrucción del original; el segundo es el Puente de la Mujer (Arq. Ing. Calatrava) y, finalmente, el plan de urbanización pensado por el Gobernador M. Fresco a fines de la década del 30 y ejecutado por el Arq. Ing. F. Salamone.

*Palabras clave:* Impacto, hormigón, Béton brut, movimiento moderno, Art decò.

### ABSTRACT

The concrete is a construction material that evolves according to the political, social, economic and technological needs of each county or region. It integrates a large part of the constructions by their structural or aesthetic functions. Due to the various functionalities, its social impact can acquire an artistic or historical character through the monuments, sculptures or urban furniture integrating the

built landscape. The concrete is an alternative that allows materializing thoughts by involving it as a modelling paste, that is, a material without its own shape that takes the shape of the mould that contains it and whose final appearance is conditioned by the formwork type. This work presents three cases, antagonistic to each other and made at a different historical moment. The concrete constructions impacted on the urban landscape according to tangible and intangible values, they also demonstrated the versatility of cementitious mixtures. First case: New Argentine Theater, located in La Plata city, built after the destruction of the original one; second, the Woman Bridge (Arch. Eng. Calatrava) and, finally, the urbanization plan thought by the M. Fresco governor at the ending of 30' and built by the Arch. Eng. F. Salamone.

**Keywords:** Impact, Concrete, Béton brut, modern movement, Art déco.

## INTRODUCCIÓN

El hormigón es un material de construcción que ha evolucionado durante más de 100 años, siendo su aplicación desde paredes simples, estructuras de soporte y formas complejas hasta prefabricados también con fines ornamentales. Las estructuras, los monumentos y las esculturas construidas cumplen en general una función estructural y / o social de naturaleza resistente, artística o histórica.

edificio en formas que se asemeja a una caja. Fue en los años 70 cuando se mejoraron estas deficiencias. Finalmente, las condiciones estéticas de los nuevos edificios exigían materiales con cualidades como la homogeneidad absoluta y superficies libres de defectos (burbujas entre las menos requeridas), que no siempre se podían obtener en la obra. [1]

70

Las propiedades del hormigón fueron cambiando según los materiales componentes y su proporción. Durante muchos años, la humanidad se ha esforzado por hacer construcciones con belleza relevante. Las piedras naturales fueron los materiales de construcción utilizados desde la antigüedad, con el paso del tiempo, el hormigón “gris” apareció como una nueva alternativa de interés. Su uso no sólo se vio beneficiado por su apariencia “rudimentario”, sino también por las propiedades estructurales y durable que proporcionaba. Durante la búsqueda para obtener nuevas formas, los arquitectos encontraron en este material cualidades apropiadas para difundir su uso. Impulsadas por arquitectos como Le Corbusier, Gropius y Alvar, las aplicaciones buscaron resaltar el uso de fachadas desarrolladas en el movimiento moderno. Además del diseño de fachadas, se incorporaron nuevas formas y enormes posibilidades de colores y texturas. Estas tendencias disminuyeron la monotonía en la que se trabajaba, pero no atendieron cuestiones relacionadas con el entorno que transforma al

El hormigón es uno de los materiales con propiedades adecuadas para diversas aplicaciones y es lógico encontrarlo en construcciones que perduran por su calidad. Sin embargo, su deterioro ocurre porque está expuesto a agentes externos agresivos y la matriz no resiste los cambios que el ambiente le puede imponer.

Varias obras importantes hechas de hormigón suelen adquirir un valor monumental. Un monumento (del latín Monumentum, “recordar”) es cualquier obra arquitectónica con cierto valor artístico, histórico o social. En la antigüedad, el término se atribuía especialmente a las obras funerarias y, durante el Imperio Romano, era el monumento dedicado al emperador y su corte, generalmente una estatua o un obelisco. [2] Durante muchos siglos, se aplicó a la estructura que se encontraba en memoria de una personalidad o evento relevante, pero hoy en día implica cualquier construcción histórica, ya sea urbana o rural, que adquiera valor patrimonial. Durante muchos años, la humanidad se ha esforzado por hacer construcciones con

belleza relevante siendo las piedras naturales los materiales de construcción más utilizados desde la antigüedad, y el hormigón apareció como una alternativa interesante porque su uso proporciona propiedades mecánicas y duraderas, pero también su aspecto puede ser asimilado a la piedra natural.

Este trabajo presenta tres casos, antagónicos entre sí, que demuestran la versatilidad de las mezclas cementíceas y los diferentes impactos generados por su implementación en territorio de la ciudad de Buenos Aires y de la Provincia. Primer caso: Nuevo Teatro Argentino, ubicado en la ciudad de La Plata, provincia de Buenos Aires, construido después de la destrucción del original debido a un incendio; segundo caso, el Puente de la Mujer obra de Arq. Ing. Calatrava ubicado en Ciudad Autónoma de Buenos Aires en una zona portuaria, finalmente, el plan de urbanización pensado por el gobernador de la Provincia de Buenos Aires, Dr. Manuel Fresco y realizado, entre otros por el Arq. Ing. Salamone previendo en nuestra Provincia las habilidades del hormigón.

Este trabajo es una ampliación de un artículo que fue presentado en el AIC 2019 Midterm Meeting Color and Landscape durante los días 14-17 de Octubre de 2019.

## VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL HORMIGÓN

El hormigón es el material más utilizado en la construcción debido a la gran variabilidad de las aplicaciones; algunas de ellas son la facilidad de colocar, economía, durabilidad y también porque se pueden producir en una variedad de formas, con calidades estéticas relacionada al color y la textura. Sin embargo, para su aplicación es necesario tener en cuenta que la resistencia a la tracción es menor que la resistencia a la tracción, puede ser frágil como las rocas, es menos dúctil que el metal y el volumen puede cambiar en diversas circunstancias (reacciones deletéreas, humedad, etc). Este cambio a veces produce grietas o fisuras por donde ingresan fácilmente los agentes agresivos.

[3] Todos los materiales son susceptibles a la degradación mecánica, física o fisicoquímica. [3 - 5] y la identificación de las causas que las producen permite seleccionar la técnica adecuada para analizar el material y seleccionar las técnicas de mantenimiento o de restauración. [6] Otro tipo de degradación de naturaleza física, entre otras, es cuando hay ciclos de humedad y secado que producen un cambio sostenido de color en la superficie y, por lo tanto, modifican la apariencia en el paisaje.

Las ventajas del hormigón son suficientes para las construcciones arquitectónicas. A principios del siglo XX, la gran variedad de formas, texturas y colores que se podían obtener era visible y reemplazó a la roca natural. [1] Pérez en su tesis doctoral transcribe los pensamientos de Le Corbusier, quien incorpora este material en sus obras, y está de acuerdo con esta opinión: "... el hormigón constituye la materia prima del edificio, trascendiendo el alcance de la estructura de sostén". La expresión material del hormigón lo hace "digno de mostrarse en su estado bruto".

[7] En la década del 30, con la aparición del modernismo, comenzó también a usarse en fachadas. Luego se incorporaron ornamentaciones en las fachadas (década 50) que permitieron aplicar los conceptos de forma, textura y color, además de la fabricación de prefabricados. El racionalismo y la expresividad fueron las razones que guiaron a las estructuras de las fachadas en la arquitectura.

[1] Ya se mencionó que el uso del hormigón es una alternativa que se materializa principalmente con la pasta sobresaliendo en la superficie o "piel del hormigón". Este es el "concreto" que se llamó apropiadamente Béton Brut, comenzando la tendencia del "brutalismo". [7] Se buscó aprovechar la apariencia rugosa del hormigón y, en ocasiones, el efecto del molde que contiene el material (encofrado). En alemán la palabra "Sichtbeton" destacó a este tipo de hormigón y en español se traduce como "Hormigón visto", en sus orígenes color gris. Además, la expresión en la superficie se conjuga con el entorno y, por lo tanto, impacta el paisaje. Le Corbusier propone el

color como un cambio drástico en la percepción espacial de la arquitectura, y su contribución fue muy decisiva para las generaciones posteriores. [8] Durante mucho tiempo, los diseñadores de obras arquitectónicas imaginaron grandes áreas de hormigón liso, sin defectos, ya que se creía algo fácil de crear. Por otro lado, la práctica indicó que era casi imposible obtener la calidad requerida en grandes superficies. Por ejemplo, en el caso de elementos verticales, aunque la superficie puede tratarse de alguna manera para lograr una mayor homogeneidad, era difícil lograr una ausencia total de burbujas como resultado de quedar atrapada en el hormigón y visibles al quitar los encofrados. El progreso en el estudio de los materiales muestra cómo las características y proporciones de los materiales mejoraron estos aspectos. [1]

## **EL NUEVO TEATRO ARGENTINO EN LA PLATA: hormigón gris como fachada**

El Antiguo Teatro Argentino ubicado en La Plata

fue una de las primeras instituciones locales ubicadas en la modernización de la ciudad. Dos aspectos principales relacionados con la cultura y la popularidad, responden a las producciones de este período. [9]

Esté fue supervisado por el arquitecto italiano Leopoldo Rocchi y se caracterizó por el estilo renacentista. El 19 de noviembre de 1890, el Teatro Argentino levantó por primera vez el telón pero desafortunadamente, el edificio se incendió el 18 de agosto de 1977 y fue demolido por decisión de la autoridad provincial al mando en ese momento, militar. En 1979 su reconstrucción fue adjudicada por concurso a los arquitectos Enrique Bares, Tomás García, Roberto Germani, Inés Rubio, Alberto Sbarra y Carlos Ucar. Los profesionales comenzaron el trabajo en 1980 y lo terminaron después de 16 años. La construcción del teatro generó muchas críticas ya que fue catalogado como fría e incluso sombría por el uso de hormigón armado y su enorme tamaño. Este



diseño tenía una estética típica del brutalismo ético porque destaca las normas que, adaptadas a la urbanización de la ciudad que evoca su forma con ángulos y diagonales, son una mega estructura que monumentaliza la técnica del hormigón armado y refleja el poder del estado en el momento. [10] Algunos de estos factores estaban lejos de la concepción del brutalismo que era la de una nueva forma del movimiento moderno impregnado de ideas socialistas que apelaban a la honestidad de los materiales, en este caso del hormigón en bruto. Las tecnologías de hormigón y construcción evolucionaron para materializar estos trabajos en una de las últimas obras que nuestro país diseñara con tal impronta. Otros ejemplos donde la arquitectura brutalista se usó en América Latina y son obras icónicas son la Biblioteca Nacional Mariano Moreno de Testa, Bullrich y Cazzaniga en Buenos Aires, 1961-90; Banco de Londres y Sudamérica por Clorindo Testa, Buenos Aires, 1966; Edificio de la CEPAL por Emilio Duhart, Santiago-Chile, 1966; Banco de Guatemala por Jorge Montes Córdova y Raúl Minondo, Ciudad de Guatemala, 1966. [11] En todos los casos, el color de los edificios era gris.

En particular, el Teatro Argentino tiene patologías que aparecen según los ciclos de lluvia como la eflorescencia, un defecto que aclara la superficie, algunas manchas de óxido y superficies con diferentes niveles de grises lo que disminuye la homogeneidad del color a simple vista. Este edificio tiene un impacto en el paisaje urbano de la zona, ya que se encuentra en un espacio asignado a edificios públicos y seguir con la concepción de “caja negra” que tienen los edificios fundacionales ubicados en la zona. Sin embargo, el nuevo paisaje urbano lejos de tomar distancia a este tipo de obra, se acerca más y se construye un Hotel en frente del teatro, el primer hotel 5 estrella en La Plata.

### **EL PUENTE DE LA MUJER, CIUDAD CAPITAL DE ARGENTINA**

Santiago Calatrava es un Arquitecto, Ingeniero Civil y Escultor español de gran trayectoria

internacional. Una de las características que lo destacan es que concibe cada uno de sus proyectos como si fuera una “obra viva”. Después de la Segunda Guerra Mundial, muchos puentes tuvieron que ser reconstruidos en Europa razón por la cual se creó una escuela de puentes on la premisa de que debían ser simples y económicos, esta escuela mencionó la necesidad de descubrir el potencial de los puentes y hacer que la gente los disfrute. [12] Fue, asimismo, la fuente de explicaciones sobre diferentes factores: la inspiración del diseño, la ubicación, la longitud, la altura, los materiales, las variables de los costos, su impacto en el medio ambiente, etc. En clases para sus alumnos, Calatrava dijo: “Si volvemos a una época en la que no había diferencia entre el arte de la arquitectura y el arte de la ingeniería, como sugerí que hiciéramos al comienzo de mi primera charla, entonces podemos considerar que es en nosotros mismos, y especialmente en la nueva generación, que ocurre un renacimiento del arte. No sólo es nuestra herencia sino también la madre de la herencia lo que debemos traducir en acción a través de nuestra capacidad para construir edificios, reinventándolos cada vez”. La consideración de las propiedades estáticas de un puente es muy importante. “El equilibrio estático del puente es probablemente su parte más esencial, por lo que si pensamos en un puente como un cuerpo, esta condición estática es análoga al corazón. Por supuesto, el cuerpo tiene otras partes; en un puente tienes otras propiedades”. [12]

“La parte central es resolver el problema de cómo comunicar a la sociedad y de cómo distribuir los esfuerzos”. [12] Esta modalidad inspiró cada una de sus obras y una vez más eligió el hormigón elaborado con cemento blanco. El Puente de la Mujer representa a la mujer como la esencia del puente, y la belleza del pilón inclinado representa al hombre que por medio de las mortajas sostiene a la mujer, ambas entrelazadas en un mágico baile de tango. Esta obra es la primera que Calatrava hizo en América del Sur y se inauguró en 2001. El Puente fue construido para mejorar la comunicación en el área y facilitar no sólo la

comunicación y transferencia entre el Hilton Apart Hotel, el Museo del Mar y los cines en el lado este de Puerto Madero a ambos lados del Dock 3 que une Puerto Madero con la ciudad sino también para lograr una conexión compleja entre el Antiguo Ayuntamiento, la Plaza de Mayo y la Casa Rosada.

El sitio web de Calatrava habla sobre la solución a este desafío, el que fue resuelto con: una estructura consistente en un puente colgante giratorio de 102 metros de largo, ubicado entre un par de tramos fijos de aproximación. La sección central está suspendida por cables de un pilón inclinado de 39 metros de altura. La cubierta revestida de madera está ligeramente inclinada y proporciona una conexión sin barreras para peatones y ciclistas. Esta sección del puente puede girar 90 grados para permitir el libre paso del tráfico por el agua. El peso de la torre mecánica equilibra el peso del pilón, lo que permite simplificar el sistema de rotación. Construido en hormigón armado y acero, y el paseo con madera local, el Puente de la Mujer se ilumina por la noche, transformándolo en un nuevo símbolo para Buenos Aires. Junto con otras estructuras recientemente construidas en el área, el Puente de la Mujer contribuye a un nuevo sentido de lugar para Puerto Madero. [13] La estructura

combina dos colores que contrastan: la estructura de hormigón armado blanco y el paso de madera, ambos aprovechados en el paisaje durante el día. La iluminación utilizada durante la noche es el otro fenómeno que modifica el paisaje.

A casi 20 años de su inauguración, una nota periodística remarca el grave deterioro que muestra el puente, destacando que el mal estado de las maderas genera situaciones de inseguridad para los transeúntes; hay manchas de óxido y reprocha la falta de mantenimiento. También destaca que hay zonas donde la pintura sobresale, situación que indicaría la necesidad de algún tipo de mantenimiento o intervención para conservar la superficie blanca original del hormigón. Independientemente del mantenimiento que requieren las nuevas tecnologías y la idealización de los materiales de construcción para que sean muy durables, quizás más de lo que deben, los daños en el hormigón tienen que ver con cambios de los aspectos estéticos ya que toda partícula o crecimiento biológico (líquenes u hongos) de color oscuro depositado sobre el hormigón blanco será muy visible. Por ello surge el interrogante, dado la ubicación del puente si era el hormigón blanco la mejor opción.



## EL PLAN DE URBANIZACIÓN EJECUADO POR FRANCISCO SALAMONE EN LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES.

El comienzo de la modernidad en el interior de la Provincia de Buenos Aires tuvo su impulso en el Plan de Obras Públicas llevado a cabo durante la gobernación del Dr. Manuel Fresco (1936-1940). La construcción de carreteras, puentes, canales y aeródromos, junto con las escuelas y obras de equipamiento comunal en toda la provincia proporcionaron sin duda la recuperación laboral, económica y una mejor calidad de vida para Buenos Aires, desalentando un creciente proceso de emigración al Gran Buenos Aires como resultado de la crisis económico de los años treinta.

La Ley de Bonos de Obras Públicas Municipales de 1928 fue el instrumento que permitió ejecutar obras que permitieron a municipios carentes de profesionales el contratarlos por medio de las licitaciones. Así, Salamone diseñó y dirigió sedes municipales, mercados, mataderos, hospitales, cementerios, plazas y parques en muchos pueblos de la provincia. Durante más de 25 años, el LEMIT llevó a cabo estudios e investigaciones sistemáticas sobre el trabajo realizado durante este período [14]. “La inexistencia actual del archivo profesional de Salamone obliga a investigar los datos bibliográficos preexistentes, descartando algunos trabajos y agregando otros, en un proceso que no podemos afirmar que esté concluido”. [14] De nacionalidad italiana, Francisco Salamone nació en León Forte (Sicilia), asistió a la escuela secundaria en la Escuela Técnica Otto Krause donde se graduó como maestro mayor de obra y más tarde, en la Provincia de Córdoba-Argentina, fundó con su hermano una empresa de construcción dedicada a la obra pública. En 1922 se graduó como ingeniero, pero como obras arquitectónicas dirigidas sus obras lo identifican como “Ing. Arq. Francisco Salamone”. Recibió premios nacionales e internacionales. Aunque la dimensión de su producción puede considerarse extraordinaria, su aspecto más notable es la originalidad teórica de sus proyectos, la audacia y el poder de las formas, el



empleo de tecnologías como el hormigón armado, el diseño de detalles constructivos, así como los muebles y accesorios de iluminación, todo lo cual establece claramente una forma particular de entender y expresar la modernidad. [14]

Durante muchos años los medios académicos obviaron estudiar su trabajo, sin embargo, en los últimos años, los velos han comenzado a ser descubiertos y se han abierto puertas para su reconocimiento, siendo el estado provincial el que ha reconocido el valor histórico y patrimonial del legado urbano, arquitectónico y escultórico del trabajo de Salamone. La introducción de tecnologías innovadoras de construcción como el hormigón armado y prefabricado permitió llevar la modernidad a pequeños pueblos y localidades ubicadas en la pampa argentina. La Ley Provincial 12854 declaró Patrimonio Cultural de la Provincia de Buenos Aires a bienes muebles e inmuebles cuyos proyectos y ejecución de obras fueron realizados por él. Salamone construyó 73 obras, 11 palacios municipales, 15 delegaciones municipales, 16 mataderos, 6 portales de cementerios y 2 portales de parques en 33 ubicaciones de 15 partidos.



El primer trabajo de Salamone con referencia Art Decó es el tanque de agua del matadero municipal en Alta Gracia, provincia de Córdoba, hoy convertido en una escuela agrotécnica. Le siguió un edificio municipal (1934) en Las Varillas, con elementos decorativos alrededor de un patio circular, estilo repetido a lo largo de su extensa obra en la Provincia de Buenos Aires[14]. Una de las peculiaridades que lo destacan es su metodología de trabajo en la cual aplicó criterios para la estandarización y sistematización de datos y componentes, y la repetición de “partes” en algunos casos. El carácter innovador del profesional se basó en el uso de cemento blanco ya en la década del 30. La mayor parte de su trabajo tiene armonías que combinan colores en la escala de grises y, en algunos casos, el rojo. El impacto positivo estuvo relacionado con las formas que utilizaba y con los diseños conseguidos, incluso utilizando hormigón

armado. Otra de las habilidades de Salamone fue cambiar el paisaje existente modificando el horizonte de la pampa bonaerense con altas torres, éstas ubicadas principalmente en los palacios municipales y mataderos.

## CONSIDERACIONES FINALES

El trabajo resume el impacto que el hormigón ha tenido en obras específicas y en una planificación de ellas de carácter público. En todos los casos, la inspiración fue, entre otras, modificar el paisaje urbano a través de la estética materializada por el hormigón como así también en el caso particular de la obra del Ing. Salamone, emplear un nuevo material con el cual se modificó el paisaje de la Provincia de Buenos Aires.

A lo largo de la joven historia del hormigón se

busca aplicar distintos estilos arquitectónicos como el brutalismo, movimiento moderno o Art decò para valorizar los aspectos estéticos del hormigón. Esta posibilidad del hormigón se obtiene por la habilidad superficial que permite brindar diferentes colores y texturas. Su impacto es impresionante e imponente si se usa sin pigmentación y en un gran volumen, puede ser disimulado si se lo combina con otros materiales o estético si se lo usa con finalidades artísticas.

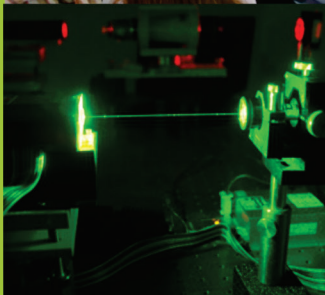
## REFERENCIAS

- 1.- Huidobro E, 1996. Concreto Arquitectónico. IMXCC, Florida, México. 169p.
- 2.- Gonzáles Martínez P., 2008. Módulo V: Registro de bienes patrimoniales. Apuntes de clase. Curso Avanzado de Especialización en RyC de CyBVP en CD.
- 3.- Mindess S, Franis Young J, Darwin D, 2003. Concrete. 2nd-ed. Pearson Education, Inc. Upper Saddle River, EEUU. 629p.
- 4.- Mehta PK, Monteiro PJM, 1998. CONCRETO Estructura, propiedades y materiales. 1 ed. Eds Huidobro H E y Martínez R. H. IMXCC, Florida, México. 381 p.
- 5.- Irassar EF, 2001. Durabilidad del Hormigón Estructural. Autoeditor, La Plata, Bs As, Argentina. 305p.
- 6.- Traversa L. P., Sota J, 2008. Relevamientos y técnicas de estudios de materiales. Módulo XIV. Curso Avanzado de Especialización en RyC de CyBVP, en CD. CIC-LEMIT.
- 7.- Pérez PF, 2006. “Le Corbusier desde el palacio del Gobernador: un análisis de la arquitectura del Capitolio de Chandigarh. PhD. UPC. Barcelona, España.
- 8.- Caivano JL, 2006, Research on Color in Architecture and Environmental Design: Brief History, Current Developments, and Possible Future. Color Res. and Appl. Vol. 31, Nº 4, Aug, pp. 350-363.
- 9.- Di Sarli N, 2014. Historia del teatro en el período fundacional de La Plata (1890-1930): identidad urbana y proyecto artístico. 15 p, acceso en Julio 2018 <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/36340>.
- 10.- Minni A, 2012. Historia de la Arquitectura y el Urbanismo. Brutalismo. Acceso en Julio 2018. <https://historiadearquitectura.files.wordpress.com/.../brutalismo-y-teatro-argentino.doc...>
- 11.- <https://elarcondelahistoria.com/el-primer-teatro-argentino-de-la-plata-19111890>
- 12.- Jodidio P, 1998. Santiago Calatrava. Benedikt Taschen Verlag GmbH Köln. Ed Pfothner A, España, 26-27, 30-31, 81, 164p.

13.- <https://calatrava.com/projects/puente-de-la-mujer-buenos-aires.html>. Santiago Calatrava-Architects & Engineers. Access on July 2018.

14.- Traversa L. P., Rosato V. G., Iloro F. H., 2017. La obra del Ing. Arq. Francisco Salamone en la provincia de Buenos Aires (1936-1940): Anales LEMIT. Serie III, Año 3, n°9, 9,21, 17-29

# 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)