

ISSN 2250-5989

CIENCIA y de los TECNOLOGÍA MATERIALES

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



Revista N° 1 - 2012

CIENCIA y de los TECNOLOGÍA MATERIALES

DIRECTOR

Dr. Ing. ZEGA, Claudio J.

COMITE EDITOR

Dr. BIDEKAIN, Juan C.

Ing. DI MAIO, Ángel A.

Ing. GIACCIO, Graciela

Dr. Ing. GREGORUTTI, Ricardo

Ing. MARCOZZI, Rosana

Dra. Ing. TORRIJOS, María Celeste

Ing. TRAVERSA, Luis P.

Dra. ROSATO, Vilma G.

Arq. VITALONE, María Cristina

Dr. Ing. ZERBINO, Raúl L.

INDICE

- | | |
|--|-----------|
| 1.- Resistencia a la Corrosión por Picado del Acero Inoxidable AISI 316l Nitruado Iónicamente. R. Gregorutti, J. Grau, C.I. Elsner | 7 |
| 2.- Mezclas Asfálticas Semicalientes Elaboradas con Aditivos Tensoactivos. Estudios Comparativos del Comportamiento Mecánico Respecto a las Mezclas en Caliente Convencionales. R.G. Marcozzi, F. Morea | 13 |
| 3.- Propiedades de Agregados Obtenidos por Combinación de Arena de Rio con Agregados Finos Reciclados. M.E. Sosa, C.J. Zega, A.A. Di Maio | 31 |
| 4.- Corrosión de Armaduras en el Hormigón Armado: Una Problemática del Patrimonio Moderno. L.P. Traversa | 39 |
| 5.- Estado de Conservación del Edificio Ex Jockey Club de la Provincia de Buenos Aires en Punta Lara, Ensenada. R. Delâge, R. Lofeudo, V.G. Rosato | 51 |
| 6.- Determinación de la Composición de Morteros de la Envolvente del Museo de Ciencias Naturales de la Ciudad de La Plata. L.P. Traversa, F.H. Iloro, S. Marquez | 65 |
| 7.- Adsorción de Contaminantes en Sedimentos Finos del Pleistoceno-Holoceno de la Región de La Plata. J.C. Bidegain, S. Jurado | 77 |



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

Durante el período 1991-2008, la revista “Ciencia y Tecnología del Hormigón” sirvió como medio de divulgación de los resultados obtenidos en diferentes líneas de investigación del LEMIT relacionadas con materiales cementíceos, especialmente en el campo de la tecnología del hormigón. Con el fin de favorecer la divulgación e intercambio con el medio científico y productivo de los estudios sobre distintos materiales que se investigan en el LEMIT, se decidió ampliar el espectro de temas de manera de abarcar a la totalidad de las áreas que componen dicho laboratorio, denominándose a la nueva revista ***Ciencia y Tecnología de los Materiales***. 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 primer número de ***Ciencia y Tecnología de los Materiales*** se incluyen siete trabajos que abarcan diferentes áreas temáticas, vinculados con el tratamiento superficial de metales, diseño de mezclas asfálticas y utilización de agregados finos reciclados, como así también estudios relativos a la problemática de la corrosión de armaduras en construcciones modernas y el estado de conservación del patrimonio construido. Además, se presentan un trabajo sobre las características de morteros de revestimiento y otro relativo a la capacidad de adsorción de contaminantes en sedimentos finos.

De manera particular, en el primero de los trabajos se realiza un estudio sobre la resistencia a la corrosión por picado del acero inoxidable empleado para prótesis e implantes quirúrgicos, observándose que el tratamiento térmico superficial de nitruración iónica permite mejorar las características anticorrosivas de este acero. El segundo trabajo evalúa el comportamiento mecánico de mezclas asfálticas semicalientes respecto al de las mezclas calientes convencionales, con la finalidad de ahorrar energía, reducir las emisiones de vapores a la atmósfera y mejorar la seguridad en obra. En el siguiente trabajo se aborda la temática de los agregados reciclados de hormigón, en particular respecto a las posibilidades de empleo de la fracción fina, evaluándose las propiedades de combinaciones de agregados conformados por arena natural de río y agregado fino reciclado en distintos porcentajes, realizando una comparación respecto a combinaciones con arena de trituración natural. En cuarto lugar se presenta un estudio sobre la problemática de la corrosión de armaduras en el patrimonio moderno, planteándose a la corrosión por carbonatación como la patología más crítica para las obras que integran el patrimonio moderno. El siguiente trabajo presenta un análisis evolutivo del estado de conservación del edificio del Ex Jockey Club de la Provincia de Buenos Aires, sito en la localidad de Ensenada, realizándose una reseña histórica y un relevamiento de las diferentes patologías que presenta. En el sexto trabajo se realiza una evaluación de los morteros que constituyen los revoques de la envolvente del Museo de Ciencias Naturales de La Plata, analizándose proporciones, composición y características de los materiales componentes. En el último de los trabajos presentados en este número de la revista se incluye un estudio sobre la presencia y concentración de metales pesados en sedimentos finos de los cursos de agua de la región de La Plata, procurando establecer alguna relación entre distintos parámetros evaluados, los metales pesados, el contenido de materia orgánica y la concentración de óxidos de hierro.

La Plata, Febrero de 2012.-

RESISTENCIA A LA CORROSIÓN POR PICADO DEL ACERO INOXIDABLE AISI 316L NITRURADO IÓNICAMENTE

PITTING CORROSION RESISTANCE OF ION NITRIDED AISI 316L STAINLESS STEEL

R. Gregorutti¹, J. Grau², C.I. Elsner³

1.- Personal de Apoyo CIC-LEMIT. metalurgia@lemit.gov.ar

2.- Personal de Apoyo CIC-LEMIT

3.- Investigadora Independiente CONICET-CIDEPINT -UNLP

RESUMEN

El acero inoxidable AISI 316L es uno de los materiales habitualmente usados para confeccionar prótesis e implantes quirúrgicos, debido a su elevada resistencia a la corrosión. Sin embargo, este acero es susceptible de sufrir corrosión por picado en medios que contengan iones Cl⁻, tal el caso de algunos fluidos del cuerpo humano. Con el fin de mejorar las características anticorrosivas de este acero, se realizaron tratamientos térmicos superficiales de nitruración iónica a 400°C. La resistencia a la corrosión por picado fue evaluada mediante ensayos potencioestáticos de corriente continua, observándose que el tratamiento de nitruración iónica mejora la resistencia a la corrosión de este acero debido a la formación de una capa superficial de austenita sobresaturada en nitrógeno, denominada austenita expandida.

Palabras clave: *acero inoxidable 316L, nitruración iónica, corrosión.*

ABSTRACT

Stainless steel AISI 316L is one of the metallic alloys used as biomaterial due to their satisfactory mechanical and corrosion resistance. Nevertheless, this steel is susceptible to suffer pitting corrosion by the action of the Cl⁻ ions present in the fluids of the human body. In order to enhance its corrosion resistance, ion nitriding treatment was performed at 400°C. The susceptibility to localized corrosion was evaluated through potentiostatic tests and the results indicated that nitrided AISI 316L exhibited a higher pitting corrosion resistance than the same steel without nitriding treatment. This behaviour can be attributed to the superficial layer of nitrogen supersaturated austenite, also called expanded austenite.

Keywords: *316L stainless steel, ion nitriding, corrosion.*

INTRODUCCIÓN

Las prótesis e implantes quirúrgicos son dispositivos que tienen como objetivo restaurar funciones naturales del tejido y órganos del cuerpo humano. Los materiales empleados en esta disciplina son las aleaciones metálicas, polímeros y cerámicos. Las aleaciones metálicas son usadas para elaborar piezas tales como prótesis de cadera, rodilla, placas óseas e implantes dentales. Entre ellas se destacan el acero inoxidable austenítico AISI 316L, las aleaciones base cobalto ASTM F75 y el titanio y sus aleaciones.

Los materiales implantados en el cuerpo humano, están sometidos a exigencias de tipo biológico, químico y mecánico, lo que ha conducido a definir el concepto de biomaterial. Se denomina biomaterial a todo material o combinación de materiales que pueden usarse por un determinado tiempo, como sistema o parte de un sistema que reemplaza tejidos, órganos o funciones del cuerpo, interactuando con el sistema biológico. Los biomateriales deben satisfacer propiedades intrínsecamente relacionadas como biocompatibilidad, resistencia mecánica y, fundamentalmente, resistencia a la corrosión. Esta última es la propiedad más crítica, debido a que la corrosión afecta adversamente a la biocompatibilidad y a la integridad mecánica de los implantes. La corrosión es un fenómeno electroquímico que se produce a nivel superficial, como consecuencia de la acción del entorno biológico consistente en fluidos oxigenados con presencia de iones cloruros, proteínas, enzimas, bacterias y suero. La resultante de este proceso es la degradación química del material que, además, ocasiona el deterioro de las propiedades mecánicas de la pieza y la liberación de iones metálicos que pueden depositarse en distintos órganos del cuerpo y producir reacciones sistémico-tóxica [1,2]. Los factores determinantes en el comportamiento de las aleaciones metálicas frente a la corrosión son la composición química, las fases presentes y el tratamiento superficial al que hayan sido sometidas [3-5]. Entre estos últimos, la nitruración iónica es un proceso de modificación o tratamiento

de la superficie que, realizado a bajas temperaturas (menores a 400°C), mejora la resistencia al desgaste y a la corrosión de distintas aleaciones [6,7].

El acero inoxidable AISI 316L presenta una aceptable resistencia a la corrosión, debido a la formación de una película de óxido de cromo (Cr_2O_3) que pasiva la superficie. Sin embargo, este acero es susceptible a sufrir corrosión por picado en medios donde se encuentre presente el ión Cl^- , como en el caso del cuerpo humano [8,9]. En este contexto, el presente trabajo analiza la resistencia a la corrosión por picado del acero inoxidable AISI 316L nitrurado iónicamente, evaluando la posible mejora de sus propiedades electroquímicas en medios que simulan el entorno humano.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Las muestras de acero inoxidable AISI 316L fueron obtenidas de barras laminadas con la siguiente composición química: C = 0,023%, Cr = 16,22%, Ni = 10,10%, Mo = 2,16%, Si = 0,9%, Mn = 0,9%. El tratamiento de nitruración iónica fue realizado con las siguientes condiciones operativas: Tiempo: 20 h; Temperatura: 400°C; Presión: 6,5 hPa; Atmósfera: 75% H_2 , 25% N_2 , Pulso on/off : 70 – 200 ms y densidad de corriente de 1 A/cm².

La resistencia a la corrosión por picado fue evaluada mediante ensayos electroquímicos de corriente continua siguiendo las pautas de la Norma IRAM 9428/99 [10] (equivalente a la Norma ASTM F746-87), que establece el procedimiento para evaluar la susceptibilidad a la corrosión por picado o rendija de las aleaciones usadas en aplicaciones biomédicas. El electrodo de trabajo consistió en un cilindro del material a analizar, al que se le adosó un aro cónico de politetrafluoretileno para generar el efecto de rendija. El área expuesta fue del orden de los 2 cm². La celda electroquímica se completó con un electrodo de calomel saturado como electrodo de referencia y un contraelectrodo de platino. El entorno de cuerpo humano fue simulado mediante una solución acuosa de 0,9 % de NaCl, con pH entre 7,1 y 7,4, a la temperatura de 37°C.

Previo al inicio del ensayo, se dejó estabilizar el sistema por una hora y, en esas condiciones, se determinó el potencial de circuito abierto (Eca). A partir de este momento, la muestra fue sometida a pulsos de potencial entre un valor de franca disolución (+0,8V/ECS) y posibles potenciales de repasivación. Con el fin de determinar el potencial de ruptura de la película pasiva, el potencial aplicado se fue incrementando en escalones de 50 mV en sentido anódico respecto al valor inicial del Eca. Finalizado el ensayo, la solución fue analizada mediante espectroscopia de absorción atómica para determinar los niveles de Fe y Cr disueltos durante el proceso de corrosión.

La capa nitrurada fue caracterizada mediante microscopía óptica y electrónica de barrido (SEM) con microanálisis dispersivo de energías (EDAX) y mediciones de microdureza siguiendo el procedimiento Vickers.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis microestructural

La Imagen 1 ilustra la microestructura austenítica correspondiente al acero inoxidable AISI 316L, donde también se observa la capa nitrurada consistente en una solución sólida de austenita sobresaturada en nitrógeno, llamada austenita expandida [6,12,13]. El espesor promedio de esta capa, medido con analizador de imágenes fue de 11,6 μm y los análisis realizados mediante EDAX revelaron una concentración en peso de nitrógeno de 1,26%.

La elevada concentración de nitrógeno promovió un significativo aumento de la dureza en la superficie del acero hasta un valor promedio de 720 Vickers, mientras que la dureza del metal base fue de 365 Vickers. En la Imagen 2 se observan las improntas de microdureza realizadas en el metal base y en la capa nitrurada.

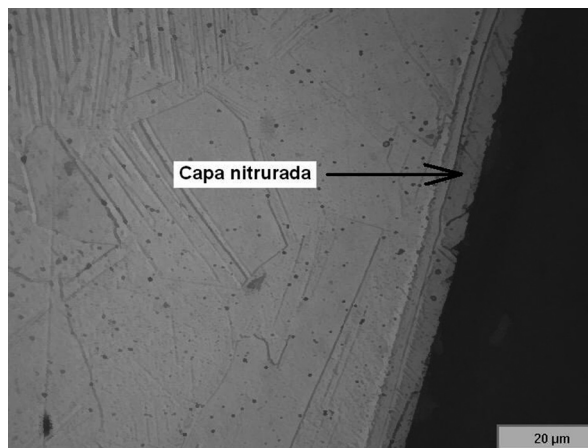


Imagen 1. Microestructura del acero inoxidable AISI 316L nitrurado.

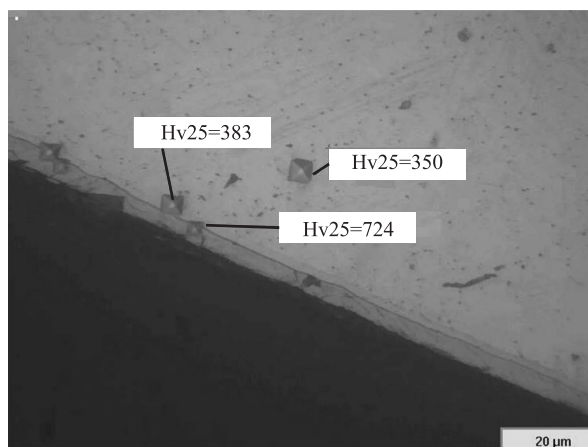


Imagen 2. Microdureza Vickers en el metal base y en la capa nitrurada.

Resultado de los ensayos electroquímicos de corriente continua

Los ensayos electroquímicos de corriente continua se realizaron en muestras de acero inoxidable 316L nitrurado y sin nitrurar. La Norma IRAM 9428/99 determina que el parámetro de interés de este ensayo es el potencial crítico de picado, definido como el potencial más positivo al cual la superficie se repasiva luego de aplicar el escalón de potencial de estimulación a +0,8 V/ECS para inducir el picado superficial. En la Figura 1 se

observan las densidades de corrientes medidas durante la aplicación del potencial de estimulación, apreciándose que en la muestra nitrurada las mismas fueron significativamente inferiores a las de la muestra sin nitrurar.

Estos resultados son indicativos de que en las condiciones de ensayo practicadas el acero nitrurado presentó una mayor resistencia a la corrosión que el acero sin nitrurar. En cuanto a su capacidad de repasivación, la respuesta en corriente obtenida para ambos materiales, en función del programa de potenciales aplicados, se muestra en la Figura 2.

En este caso, también se observa que las corrientes medidas fueron más altas en el caso del acero sin nitrurar, si bien es evidente un efecto de repasivación en este último hasta $E \approx -0,045$ V/

ECS. Para el potencial inmediatamente superior ($E = 0,005$ V/ECS) la densidad de corriente mostró un aumento constante indicativo de la ruptura de la película pasiva. En el acero nitrurado, si bien cualitativamente el comportamiento fue semejante, las densidades de corriente fueron siempre menores a las obtenidas en el acero sin nitrurar, motivo por el cual, las observaciones metalográficas ilustradas en la Imagen 3, evidencian un ataque significativamente menor que en el caso anterior.

En concordancia con los resultados de los ensayos electroquímicos, los análisis por absorción atómica de las soluciones usadas en los ensayos, revelaron que los contenidos de Fe y Cr presentes en las soluciones al final de los ensayos fueron significativamente mayores en el caso de la muestra sin nitrurar (Ver Tabla 1).

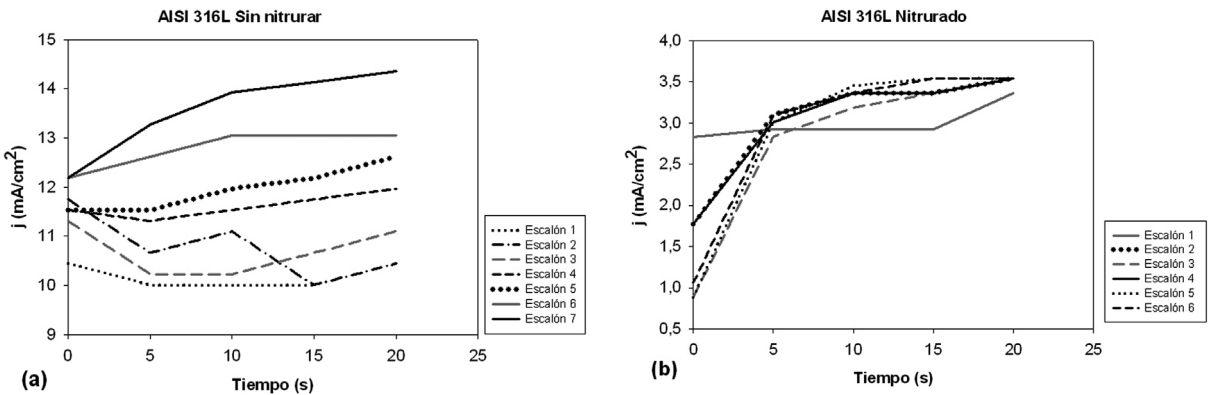


Figura 1. (a) Inoxidable 316L sin nitrurar. (b) Inoxidable 316L nitrurado.

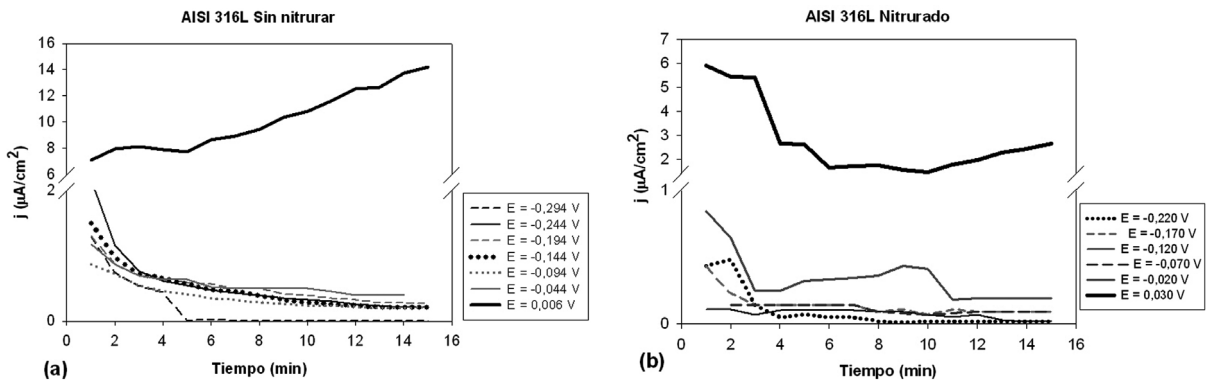


Figura 2. Potenciales y corrientes de repasivación.

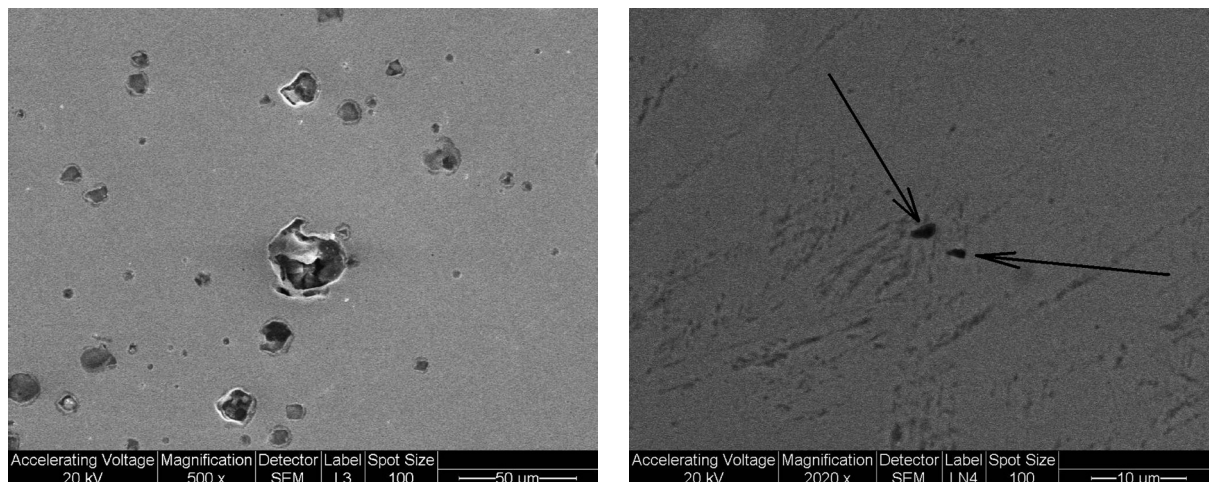


Imagen 3. Evidencias de picado. Izquierda, acero no nitrurado. Derecha, acero nitrurado.

Tabla 1. Concentración de Fe y Cr en las soluciones usadas en los ensayos de corrosión.

Muestra	Contenido de Fe (ppm)	Contenido de Cr (ppm)
No nitrurada	2,5	0,3
Nitrurada	1	<0,2

CONCLUSIONES

Los ensayos electroquímicos de corriente continua revelaron una mayor resistencia a la corrosión por picado del acero 316L nitrurado. Estos resultados fueron corroborados por los análisis metalográficos, donde no se observaron evidencias significativas de picado en este acero. Por otro lado, la superficie del acero 316L sin nitrurar mostró un importante desarrollo de picado. Los análisis de las soluciones después de los ensayos indicaron que las concentraciones de Fe y Cr fueron menores en el caso del acero nitrurado. La mayor resistencia a la corrosión del acero 316L nitrurado puede ser atribuida a la formación de la capa superficial de austenita sobresaturada en nitrógeno, denominada austenita expandida.

REFERENCIAS

- 1.- ASM Handbook, Vol 13, Corrosion, Ed 1987, 1324-1335.
- 2.- M. Niinomi, Metall. and Mater. Trans. A, Vol. 33, 477-485, (2002).
- 3.- J. Paolini; J. Grau y C.I. Elsner, Proceeding Congreso Conamet/Sam 2004, Capítulo I, V.M Bermont Ed., 77-80, Chile, (2004).
- 4.- B. D. Ratner, Biomateriales Science: An introduction to materials in medicine, 2nd Edition, Chapter 1.4: Surface Properties and Surface Characterization of Materials (2004).

- 5.- David G. Castner, B. D. Ratner, *Surface Science* 500, 28-60, (2002).
- 6.- E. De Las Heras; F. Walter; P.A. Corengia; M.O. Quinteiro; A. Cabo; S. Brühl; S. Sommadossi, *Proceeding Congreso Conamet/Sam 2004*. V.M.Bermont Ed., 909-912, Chile, (2004).
- 7.- N. Renevier; P. Collignon; H. Michel; T. Czerwicz, *Surface and Coatings Technology III*, 128-133, (1999).
- 8.- Design for corrosion resistance. *ASM Handbook*, Vol. 20, 545-556, (1997).
- 9.- Corrosion of metallic implants and prosthetic devices. *ASM Handbook*, Vol. 13, 553, (1992).
- 10.- Norma IRAM 9428, (1999).
- 11.- Norma ASTM G 61, (1986).
- 12.- C. Blawert, H. Kalvelage, B. L. Mordike, G. A. Collins, K. T. Short, Y. Jirásková, O. Schneeweiss, *Surface and Coatings Technology*, 136, pp 181-187, (2001).
- 13.- L. Nassei, M. Avalos, B. J. Gómez, L. Nachez, J. Feugeas, *Thin Solid Films*, 468, 134-141, (2004).

MEZCLAS ASFÁLTICAS SEMICALIENTES ELABORADAS CON ADITIVOS TENSOACTIVOS. ESTUDIOS COMPARATIVOS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO RESPECTO A LAS MEZCLAS EN CALIENTE CONVENCIONALES

WARM MIX ASPHALTS MIXED WITH TENSOACTIVE ADDITIVES. COMPARATIVE STUDIES OF MECHANICAL BEHAVIOUR RESPECT TO TRADICIONAL HOT MIX ASPHALTS

R.G. Marcozzi¹, F. Morea²

1.- Investigador Asistente CIC-LEMIT. tecnologiavial@lemit.gov.ar

2.- Becario Post-Doctoral CONICET-LEMIT

RESUMEN

Considerando las implicancias ambientales en la fabricación de mezclas asfálticas en caliente se han desarrollado tecnologías para reducir las temperaturas de trabajo de manera de generar significativos ahorros de energía, menores emisiones y mayor nivel de seguridad en obra. Las mezclas que utilizan asfaltos modificados con polímeros o asfaltos especiales como ligantes hacen posible la reducción de las temperaturas de trabajo sin afectar significativamente las propiedades mecánicas y de adherencia. Sin embargo, cuando se fabrican mezclas con asfaltos convencionales la reducción de las temperaturas de trabajo implican directamente un importante desmedro de la calidad, aún cuando sea posible obtener las densidades de diseño. El presente estudio se enfoca en dos aditivos del tipo tensoactivos que fueron incorporados en diferentes tipos de cemento asfáltico para fabricar mezclas semicalientes (WMA), trabajando con sustanciales reducciones de temperatura, de 35 a 55°C. Los resultados muestran que en todos los casos se presenta una merma en las prestaciones de la mezcla respecto de la mezcla de referencia, asimismo algunos ensayos evidencian más fehacientemente el efecto de la disminución de las temperaturas de fabricación, tales como los ensayos de daño por humedad. Se concluye que, para este fin, los ensayos de daño inducido por humedad son indudablemente métodos muy adecuados para definir rangos aceptables de reducción de las temperaturas para la fabricación de mezclas semicalientes.

Palabras clave: *mezclas asfálticas semicalientes, aditivos tensoactivos, comportamiento mecánico.*

Trabajo presentado en el XVI Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto (CILA), Río de Janeiro, Brasil, 2011.

ABSTRACT

Considering the environmental implications in the use of HMA (hot mix asphalt), new technologies have been developed in order to reduce the mixing and compaction temperatures and consequently to save energy, to cut emissions and to improve safety during the construction tasks. Polymer modified and non-conventional asphalt binders make it possible to reduce laying and compaction temperatures down to a limit which does not necessarily affect the performance of the hot mixtures. Nevertheless, when it comes to conventional asphalt binders a reduction in temperature –i. e., temperatures below the usual ones- result in an apparent reduction in quality, even when the design densities was reached. This research focuses on two surfactant additives which were incorporated into different types of cement ashpalts in order to manufacture warm mix-asphalts (WMA). In our research we have worked with substantial reductions in temperature, from 35 to 55°C. The results show, without exception, a decrease in the performance of the mixture when compared with the HMA (T1) control specimens, besides, some tests are more suitable tools to prove the effect of temperature reduction, as it happens with moisture-induced damage tests. We may conclude, along this line of thought, that moisture-induced damage tests are undoubtedly a suitable method to define the acceptable range in temperature reduction for warm mixtures design.

Keywords: *warm mix asphalts, tensoactive additives, mechanical behaviour.*

INTRODUCCIÓN

La temperatura de fabricación en mezclas asfálticas en caliente es necesaria para un mezclado efectivo y un buen tendido garantizando de esta manera la calidad de la mezcla asfáltica como producto final.

En estudios anteriores se ha demostrado que es posible reducir las temperaturas de tendido y compactación de las mezclas asfálticas en caliente (HMA, por sus siglas en inglés) hasta un cierto límite y obtener las mismas propiedades volumétricas [1]. Sin embargo, se comprueba también que al disminuir las temperaturas de mezclado y compactación se reducen las prestaciones mecánicas y de adherencia, siendo este efecto más o menos significativo en función del cemento asfáltico utilizado, el diseño granulométrico y el rango de reducción de las temperaturas [2,3].

Reducir las temperaturas de trabajo durante la fabricación de mezclas asfálticas en caliente tiene como objetivo principal la disminución de emisiones de CO₂ y olores, permitiendo además

importantes avances en la seguridad laboral en planta y obra. Esto dio origen a una nueva clasificación de mezclas en función de la energía consumida para su fabricación. Por convención, las mezclas que evaluaremos en el presente trabajo son llamadas mezclas semicalientes, también llamadas tibias (warm mix asphalt WMA, en la bibliografía en inglés).

Conceptualmente son mezclas asfálticas en caliente, ya que utilizan cemento asfáltico como ligante, pero resulta posible producirlas y colocarlas a temperaturas sensiblemente inferiores a las usadas en técnicas convencionales. Para ello se utilizan diferentes metodologías, las que pueden ser divididas en dos grandes grupos: las tecnologías que usan agua (directa o indirectamente) y las que usan aditivos.

El principio de funcionamiento de los procesos que usan agua es el espumado del ligante: cuando el agua fría es puesta en contacto con el asfalto caliente el intercambio térmico genera vapor de agua que espuma al asfalto, aumentando

su superficie específica y disminuyendo su viscosidad aparente, lo que permite una cobertura de agregados más fácil a temperaturas menores que las convencionales. Dentro de este grupo de tecnologías se destacan el sistema WAM Foam® (método mixto de mezcla de agregados con asfalto blando y duro espumado), la incorporación de zeolitas y las mezclas LEA®, Low Energy Asphalt (incorporación de agregados finos húmedos).

En el segundo grupo se encuentran los procesos que incorporan aditivos. Este grupo a su vez puede subdividirse en aditivos que cambian la viscosidad del ligante a las temperaturas de trabajo, es decir, son fluidificantes del asfalto y aditivos que no modifican la viscosidad. Entre los aditivos que fluidifican al asfalto se encuentran las ceras tipo Fischer-Tropsch, otras ceras sintéticas (AAG) y las ceras de polietileno (Cera Montana). Los que no modifican necesariamente la viscosidad son en general tensoactivos que actúan como hiperplastificante en la mezcla sin modificar significativamente las propiedades físico-reológicas del ligante. El surfactante o tensoactivo al reducir la tensión superficial del asfalto produce una reducción de la fuerza que se opone al mojado de los agregados, además de actuar como agentes lubricantes entre el asfalto y el árido y mejorar las propiedades asociadas a la adherencia y la cohesión.

El objetivo del presente trabajo ha sido evaluar comparativamente los desempeños de mezclas asfálticas en caliente (HMA) y mezclas semicalientes (WAM) elaboradas con este último tipo de aditivos, los tensoactivos.

PLAN EXPERIMENTAL

Se utilizó para el estudio una mezcla asfáltica de granulometría convencional fina elaborada y compactada a diferentes temperaturas. Los ligantes utilizados fueron del tipo convencional (CA 30) y modificado con polímero (AM3), con y sin aditivos tensoactivos.

Temperaturas de trabajo

Las HMA fueron elaboradas a temperaturas de mezclado y compactación (T_1) correspondientes a los valores medios de los rangos de viscosidades tradicionales de $0,17 \pm 0,02$ y $0,28 \pm 0,03$ Pa.s, respectivamente.

Las WMA se elaboraron a temperaturas inferiores a T_1 (T_2 y T_3). T_2 corresponde a las temperaturas de mezclado y compactación propuestas por Khatri et al [4] basadas en el concepto de Viscosidad a corte cero, con valores medios de 0,75 y 1,40 Pa.s para mezclado y compactación, respectivamente. T_3 corresponde a temperaturas de mezclado y compactación obtenidas extrapolando las curvas en el gráfico Temperatura – Viscosidad para viscosidades de 3 y 6 Pa.s (Tabla 1).

Materiales y Mezclas

Se estudiaron dos ligantes asfálticos de producción comercial en Argentina, un asfalto convencional (CA 30) y el otro un asfalto modificado con polímero SBS (AM3). Estos ligantes fueron mezclados con dos aditivos que se utilizan para reducir las temperaturas de elaboración, uno constituido por ácidos grasos y aminas (A) y otro

Tabla 1. Temperaturas de trabajo.

ASFALTO	T_1 (°C)		T_2 (°C)		T_3 (°C)	
	0,17 Pa.s	0,28 Pa.s	0,75 Pa.s	1,4 Pa.s	3 Pa.s	6 Pa.s
CA 30	160	150	125	115	105	95
AM3	190	180	157	149	141	134

formado por resinas, polímeros y un activante de adhesividad (B).

Las diferentes propiedades mecánicas se determinaron sobre una mezcla asfáltica de granulometría convencional densa. En la Tabla 2 se indica la dosificación y en la Figura 1 la correspondiente curva granulométrica. El árido utilizado proviene de una misma fuente. Está formado por fracciones comerciales de árido granítico triturado 6-19 mm, 6-12 mm y 0-6 mm, proveniente de la ciudad de Olavarría, provincia de Buenos Aires.

Ensayos de laboratorio

Los parámetros analizados fueron:

- Estabilidad y fluencia [5]
- Resistencia a compresión diametral a distintas temperaturas de ensayo [6]
- Daño por humedad (AASHTO T-283) [7]
- Módulo de rigidez

Tabla 2. Dosificación de la mezcla de diseño.

Material (%)	6-19 mm	6-12 mm	0-6 mm	Asfalto
Áridos	20	15	65	---
Dosificación	19	14,2	61,8	5

Tamiz [mm]	19	12,7	9,5	4,75	2,36	1,18	0,6	0,3	0,15	0,08
% de pasa	100,0	92,0	87,0	64,0	45,0	32,0	23,0	16,0	10,0	6,2

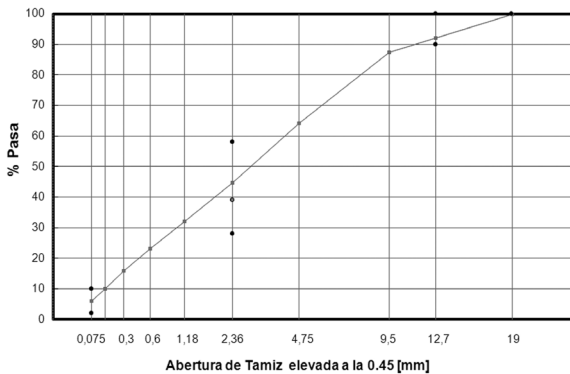


Figura 1. Curva granulométrica de la mezcla de diseño.

- Ensayos de rueda cargada en seco y bajo inmersión (ensayo de Hamburgo)

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En trabajos realizados anteriormente se ha verificado que las mezclas asfálticas de granulometrías convencionales y no convencionales realizadas con asfaltos modificados con polímeros o especiales pueden compactarse a temperaturas inferiores a las normalizadas con el mismo esfuerzo sin variar significativamente la resistencia que presentan al ser compactadas, presentando, por tanto, propiedades volumétricas similares [1,8,9].

Estabilidad y fluencia Marshall

Para cada tipo de mezcla se moldearon tres probetas. La Tabla 3 y la Figura 2 presentan los resultados de los ensayos de estabilidad y fluencia.

Resistencia a tracción indirecta

Para cada tipo de mezcla se moldearon 12 probetas divididas en grupos de 3 para ensayar a cada temperatura. El ensayo de tracción indirecta provee de numerosa información. Por una parte, se conoce que la resistencia a la tracción es dependiente del grado de alteración de la mezcla e implícitamente del asfalto que la compone ya que asfaltos alterados por altas temperaturas de trabajo se rigidizan presentando sus mezclas, en general, valores altos de resistencia a tracción [10]. En este caso mayores resistencias a tracción no estarán determinando necesariamente una mayor calidad de la mezcla asfáltica.

Por otra parte, la dependencia del comportamiento de una mezcla asfáltica con la temperatura de ensayo se manifiesta además por el tipo de rotura que se presenta en el ensayo. Una rotura tipo dúctil indica un comportamiento tipo sólido viscoelástico, en cuyo caso la resistencia a la tracción se relaciona con la compacidad de la mezcla, con la cohesión del mástico y la adherencia asfalto-agregado. Una rotura tipo frágil indica un comportamiento tipo

Tabla 3. Resultados de Estabilidad y Fluencia Marshall para distintas temperaturas de fabricación.

		Mezcla					
		CA-30			AM3		
		HMA	WMA-A	WMA-B	HMA	WMA-A	WMA-B
Estabilidad Marshall (N)	T ₁	15818	---	---	20339	---	---
	T ₂	14537	10176	11960	19980	19651	18625
	D.S. T ₁ *	NO	NO	NO	NO	NO	NO
	T ₃	11635	7995	8211	20916	16269	16747
	D.S. T ₁ *	NO	SI	SI	NO	NO	NO
Fluencia (mm)	T ₁	2.8	---	---	4,1	---	---
	T ₂	2.7	2.8	2.8	2,9	4,5	4,8
	T ₃	3.2	2.4	2.7	4,0	3,3	3,0
Relación E/F (N/mm)	T ₁	5651	---	---	5022	---	---
	T ₂	5523	3669	4504	6831	4335	3880
	D.S. T ₁ *	NO	SI	SI	NO	NO	NO
	T ₃	3674	3329	3096	5229	4881	5645
	D.S. T ₁ *	NO	SI	SI	NO	NO	NO

* D.S. con T₁: indica si hay o no diferencias significativas entre los valores medios de los ensayos y el valor del parámetro en mezclas HMA con las temperaturas especificadas, con un 95% de confianza.

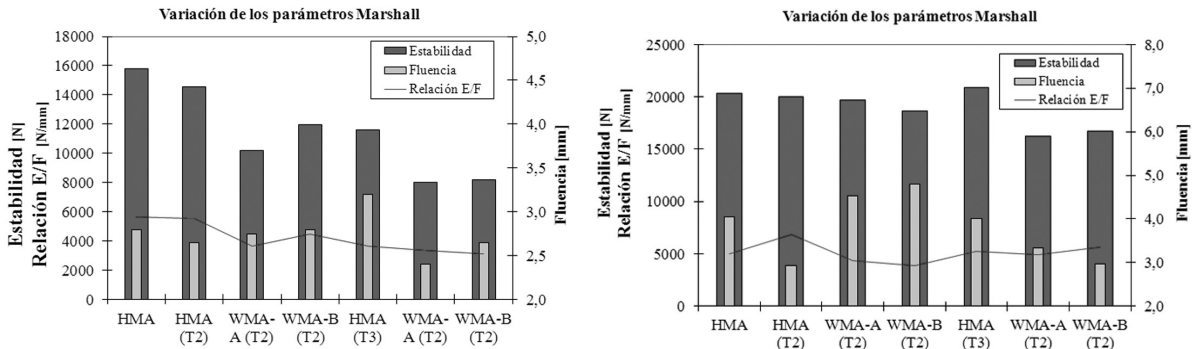


Figura 2. Variación de los parámetros Marshall para mezcla con CA-30 (izq) y AM3 (der).

sólido elástico y su resistencia se relaciona con la compacidad de la mezcla, con la dureza de los agregados y con la cantidad y calidad del mástico. Como la gradación, el porcentaje de asfalto, el tipo de agregado y la energía y método de compactación no varían, el tipo de rotura estará determinado por

el ligante utilizado (solo o aditivado) y cómo afecta esto a su comportamiento cuando se reducen las temperaturas de fabricación.

En la Tabla 4 se presentan los resultados de los ensayos de resistencia a tracción.

• A 5°C la mayoría de las mezclas asfálticas se comportaron como sólidos elásticos y el tipo de rotura predominante es por mástic y agregados, del tipo frágil, caracterizada por la presencia de agregados partidos en el plano de rotura de la probeta. No se presentan diferencias significativas en la comparación de los valores medios de las resistencias a compresión diametral para HMA (T_1) y las mezclas WMA realizadas a temperaturas T_2 , con o sin aditivos.

• A 15°C las mezclas asfálticas presentan roturas predominantemente por mástic y agregados. La

presencia de agregados fracturados en el plano de rotura de la probeta es menor que en el caso de rotura a 5°C. En todos los casos se presentan diferencias significativas en la comparación de los valores medios de las resistencias a compresión diametral para HMA (T_1) y las mezclas WMA realizadas a temperaturas inferiores.

• A 25°C la mayoría de los asfaltos están cerca del límite inferior del comportamiento elástico. La rotura de las probetas es del tipo de rotura por cohesión (mástic) y/o por adherencia (interfase agregado – asfalto).

Tabla 4. Ensayo de Resistencia a Tracción mediante compresión diametral.

		Mezcla					
		CA-30			AM3		
		HMA	WMA-A	WMA-B	HMA	WMA-A	WMA-B
Resistencia a tracción a 5°C (kPa)	T_1	4061	---	---	4271	---	---
	T_2	3720	3493	3621	4068	4140	3720
	D.S. T_1^*	NO	NO	NO	NO	NO	NO
	T_3	3288	2908	2903	4161	3780	3797
	D.S. T_1^*	NO	SI	SI	NO	NO	NO
Resistencia a tracción a 15°C (kPa)	T_1	3100	---	---	2908	---	---
	T_2	2299	2413	2370	2706	2418	2470
	D.S. T_1^*	SI	SI	SI	NO	SI	SI
	T_3	2236	2020	2107	2661	2232	2351
	D.S. T_1^*	SI	SI	SI	NO	SI	SI
Resistencia a tracción a 25°C (kPa)	T_1	1545	---	---	1691	---	---
	T_2	1283	1168	1234	1447	1477	1505
	D.S. T_1^*	SI	SI	SI	NO	NO	NO
	T_3	1034	883	1072	1402	1068	1185
	D.S. T_1^*	SI	SI	SI	NO	SI	SI
Resistencia a tracción a 35°C (kPa)	T_1	661	---	---	927	---	---
	T_2	593	496	499	730	780	694
	D.S. T_1^*	NO	SI	SI	SI	SI	SI
	T_3	372	367	405	706	574	591
	D.S. T_1^*	SI	SI	SI	SI	SI	SI

* D.S. con T_1 : indica si hay o no diferencias significativas entre los valores medios de los ensayos y el valor del parámetro en mezclas HMA con las temperaturas especificadas, con un 95% de confianza.

• A 35°C la cohesión y/o adherencia de las mezclas WMA se ven significativamente disminuidas en comparación con la obtenida con la mezcla HMA (T₁).

Aún cuando en algunos casos no existan diferencias estadísticamente significativas entre los valores medios, en todos los casos se presenta una disminución de los valores de resistencia a tracción cuando se reducen las temperaturas de fabricación, aún con los asfaltos para mezclas semicalientes (Ver Figura 3).

Evaluación de la sensibilidad a la humedad (AASHTO T – 283)

En el ensayo de daño por humedad se moldean probetas según la metodología Marshall, de manera que las mismas tengan un 7±1% de vacíos

en su estructura para favorecer el efecto de la acción del agua.

Para cada tipo de mezcla se moldearon nueve probetas y se unieron en grupos de tres de manera que el promedio de densidades de cada grupo sean similares. Uno de estos grupos se destinó a grupo de control. Las probetas del segundo grupo fueron sometidas a una saturación de sus vacíos con agua y puestas luego en agua a 60°C durante 24 h. Las probetas del tercer grupo fueron igualmente saturadas, sometidas a un primer ciclo de congelamiento a -18°C durante un periodo de 16 a 18 h. y luego al ciclo de inmersión en agua a 60°C anteriormente descrito. Luego de cumplir los ciclos de cada grupo las probetas fueron ensayadas a compresión diametral a 25°C con el fin de determinar el daño generado por el agua en los distintos ciclos. Los resultados del ensayo,

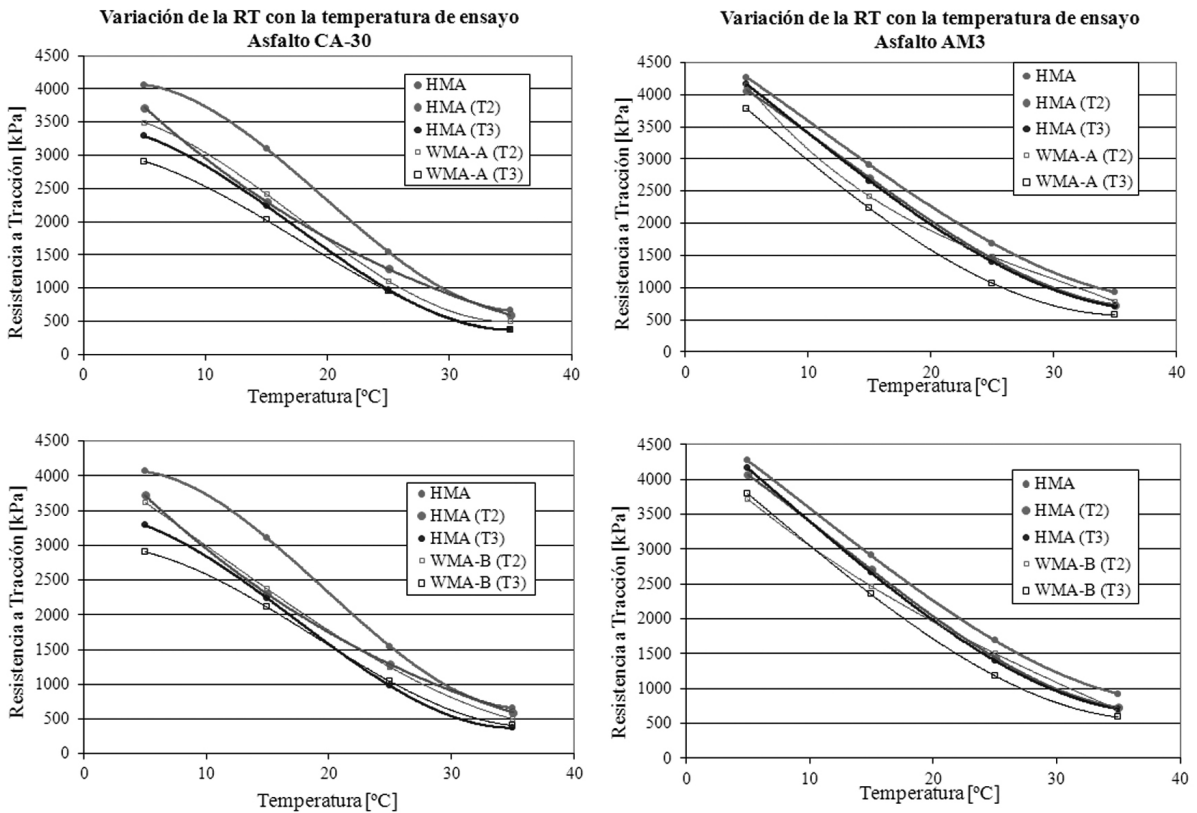


Figura 3. Variación de la Resistencia a Tracción con la temperatura de ensayo. Mezcla con CA-30 (izq) y AM3 (der).

Tabla 5. Relación de valores medios de la Resistencia Retenida según AASHTO T-283.

	Resistencia conservada (%)					
	AASHTO T-283 Opcional sin congelamiento			AASHTO T-283		
	Asfalto CA-30					
	HMA	WMA-A	WMA-B	HMA	WMA-A	WMA-B
T ₁	87	---	---	88	---	---
T ₂	53	70	86	54	62	84
T ₃	23	57	91	19	58	86
	Asfalto AM3					
T ₁	89	---	---	89	---	---
T ₂	82	82	89	82	76	90
T ₃	69	62	88	69	69	97

informados como resistencia conservada (cociente entre la resistencia de las probetas acondicionadas y las de control), se observan en la Tabla 5. Se especifica un valor de 80% como límite inferior para dicho parámetro evaluado según AASHTO T-283.

En el caso de las mezclas semicalientes (WMA) con asfalto CA-30 las resistencias conservadas son mayores que las obtenidas al bajar las temperaturas de fabricación de la mezcla en caliente (HMA), si bien con el aditivo A no cumplen con el valor mínimo especificado.

En las mezclas semicalientes con asfalto AM3 las resistencias conservadas tampoco cumplen con el mínimo especificado al utilizar el aditivo A.

Evaluadas con esta metodología puede definirse el rango de reducción de las temperaturas de fabricación que admite cada mezcla semicaliente para conservar buenas propiedades de cohesión y adherencia

Ensayo de módulo de rigidez

Para cada tipo de mezcla se moldearon tres probetas. Los ensayos se realizaron en la modalidad de carga

por compresión diametral descrita en la normativa EN 12697-26, Anexo C [11]. La temperatura de ensayo fue de 20°C.

Los valores del módulo obtenidos bajo esta configuración de carga se presentan en la Tabla 6. En casi todos los casos de mezclas con CA-30 no hay diferencias significativas entre los valores medios (coeficientes de variación entre 0,3 y 9%) al 95% de confianza cuando se comparan con los valores medios de la mezcla HMA (T₁) con CA-30. Para las mezclas WMA (T₃) con AM3 hay diferencias significativas entre los valores medios (coeficientes de variación entre 2,4 y 10%) al 95% de confianza cuando se comparan con los valores medios de la mezcla con AM3 realizada a T₁, indicando que estas mezclas tibias son significativamente más flexibles.

Aún cuando en algunos casos no existan diferencias estadísticamente significativas entre los valores medios, en todos los casos se presenta una disminución de los valores del módulo de rigidez cuando se reducen las temperaturas de fabricación (Figura 4).

Tabla 6. Módulo de Rigidez (EN 12697-26).

	Modulo de Rigidez (MPa)					
	CA-30			AM3		
	HMA	WMA-A	WMA-B	HMA	WMA-A	WMA-B
T_2	5757	6573	6289	5483	6064	6565
D.S. T_1^*	NO	NO	NO	NO	NO	NO
T_3	5568	5081	5387	5824	4141	4446
D.S. T_1^*	NO	SI	NO	NO	SI	SI

* D.S. T_i : indica si hay o no diferencias significativas entre los valores medios de los ensayos y el valor del parámetro en mezclas HMA con las temperaturas especificadas, con un 95% de confianza.

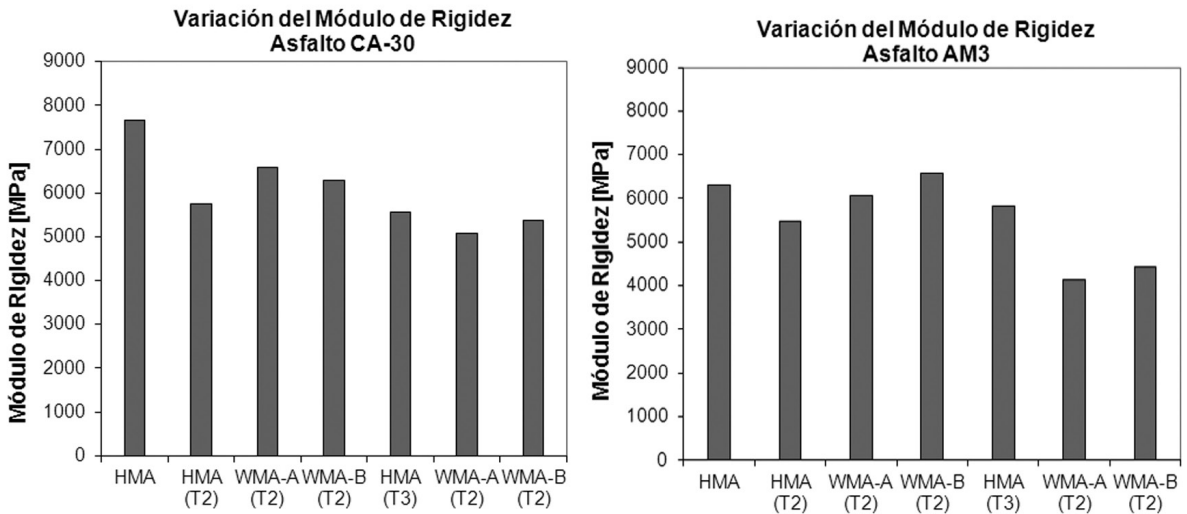


Figura 4. Variación del módulo de rigidez. Mezcla asfáltica con CA-30 (izq) y AM3 (der).

Ensayo de rueda cargada

Se realizaron los correspondientes ensayos de ahuellamiento por rueda cargada según normativa BS 598 [12] y ensayos de adherencia Hamburgo Wheel Tracking Test según AASHTO T-324 [13] por considerarlos herramientas importantes en la verificación de un diseño de mezclas asfálticas.

Todo gráfico de acumulación de deformaciones permanentes presenta tres etapas bien diferenciadas (Figura 5).

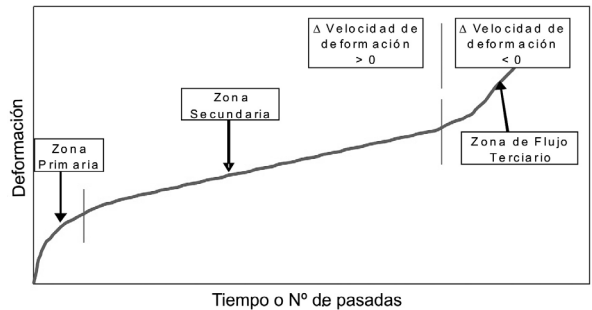


Figura 5. Curva tipo de deformaciones permanentes.

El desarrollo de las zonas será función de las condiciones de ensayo: tiempo de ensayo, temperatura, en seco o bajo inmersión, etc.

En nuestro caso, el ensayo de rueda cargada en seco (WTT – Wheel Tracking Test) se extendió 120 minutos. Durante este tiempo, en general, sólo alcanza a desarrollarse la Zona secundaria por lo que los parámetros del ensayo están asociados a esa condición.

El ensayo de rueda cargada bajo inmersión (HWTT – Hamburgo Wheel Tracking Test) se extendió hasta desarrollar deformaciones mayores a 12,5 mm o 360 minutos, lo que suceda primero. En este caso, las tres zonas tienen tiempo y condiciones suficientes para desarrollarse. En el ensayo HWTT, a pesar de no poder dissociarse completamente dichos efectos, la zona secundaria está asociada con la deformación y la zona de flujo terciario está asociada con el inicio de la pérdida de adherencia y cohesión (stripping), si bien puede deberse también a inestabilidad por sobrecompactación.

Ensayo de rueda cargada en seco

Las variables de ensayo fueron: 60°C, 42 pasadas/min durante 120 minutos. Probetas de 300 mm de lado y 50 mm de espesor se compactaron con la densidad de diseño. Los parámetros medidos en el ensayo son:

- Deformación permanente final (ph_{final}), en mm, a los 120 minutos.
- Estabilidad dinámica (E.D.), en pasadas/mm, es decir, el número de pasadas necesarias para deformar la mezcla asfáltica 1 mm, evaluada entre los 105 y 120 minutos, en los que la pendiente de deformación se considera estable. Dichos valores se presentan en Tabla 7.

En las Figuras 6 y 7 se comparan los comportamientos bajo rueda cargada de mezclas fabricadas a distintas temperaturas con los asfaltos CA-30 y AM3 con y sin aditivos.

Analizando los resultados se observa que la fabricación de la mezcla asfáltica a temperaturas reducidas sin la incorporación de aditivos presenta menores prestaciones que la mezcla asfáltica HMA (T1) en el caso del asfalto convencional no así en el asfalto modificado, en el cual no se observan diferencias significativas en el desempeño entre ninguno de los casos estudiados. Los resultados son dependientes del tipo de mezcla; en microaglomerados y SMA realizados con asfaltos modificados, este efecto también es despreciable [14]

Ensayo de rueda cargada bajo inmersión

Las características del aparato Hamburgo utilizado y la operatoria general se describen extensamente en el trabajo realizado por Agnusdei y et al [15].

Tabla 7. Parámetros medidos al final del ensayo.

		CA-30			AM3		
		HMA	WMA-A	WMA-B	HMA	WMA-A	WMA-B
Estabilidad Dinámica (pasadas/mm)	T ₁	3723	---	---	17071	---	---
	T ₂	1892	1393	1665	21547	12598	15593
	T ₃	1105	1513	1092	15476	19068	16781
ph_{final} (mm)	T ₁	4.1	---	---	1.59	---	---
	T ₂	5.8	6.6	5.7	1.08	1.55	1.41
	T ₃	9.1	6.5	8.5	1.35	1.33	1.06

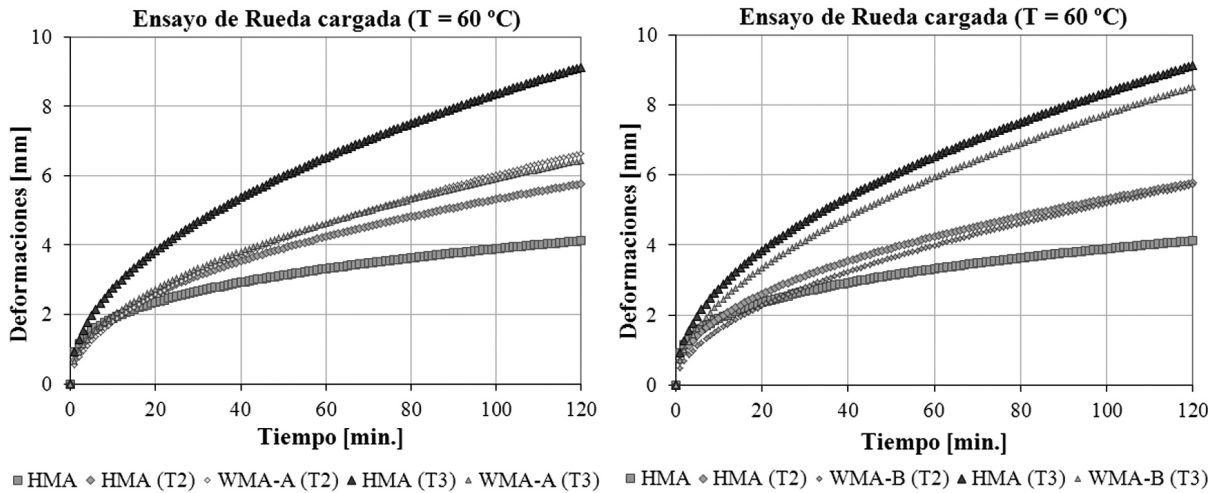


Figura 6. Curvas de ahuellamiento. Asfalto CA-30, solo y con aditivo A (izq), solo y con aditivo B (der).

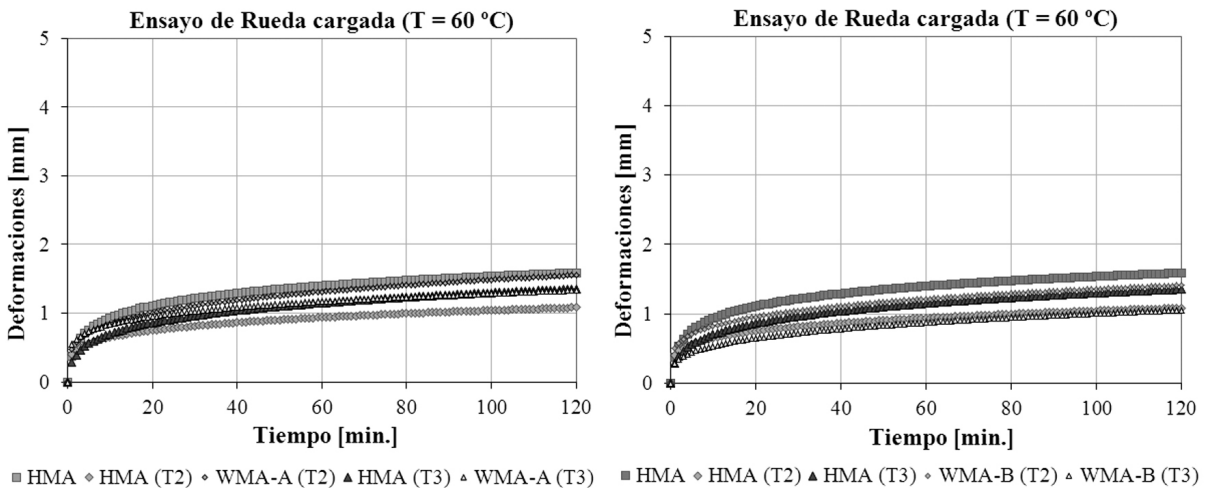


Figura 7. Curvas de ahuellamiento. Asfalto AM3, solo y con aditivo A (izq), solo y con aditivo B (der).

Las variables de ensayo fueron: agua a 50°C, 50 pasadas/min durante el tiempo necesario para alcanzar una deformación de 12,5 mm o durante 6 horas (lo que ocurra primero). Las probetas se moldearon con un 7±1% de vacíos.

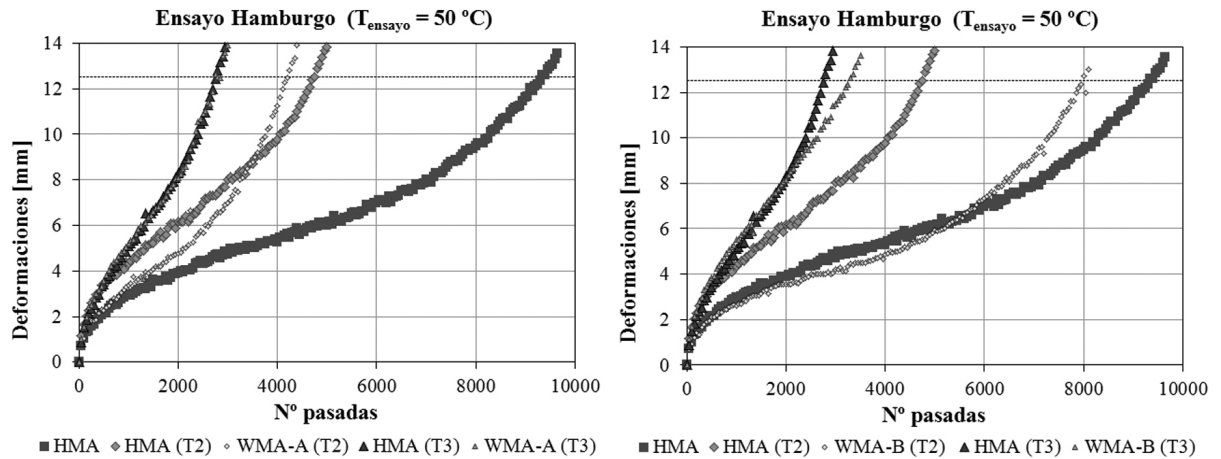
La curva de las deformaciones debidas simultáneamente al paso de una rueda cargada y a la acción del agua a temperatura elevada presenta, en general, las tres zonas anteriormente descritas.

En la bibliografía al respecto la zona secundaria está asociada con la deformación y la zona de flujo terciario en general está asociada al inicio de la pérdida de adherencia y cohesión.

El parámetro analizado fue el punto de intersección de la pendiente de deformación y la pendiente del flujo terciario, medido a través del número de pasadas de la rueda (Tabla 8).

Tabla 8. Ensayo Hamburgo.

	Punto de intersección de las pendientes (pasadas)					
	CA-30			AM3		
	HMA	WMA-A	WMA-B	HMA	WMA-A	WMA-B
T ₁	7400	---	---	Sin Inflexión	---	---
T ₂	4150	3100	6000	6850	Sin Inflexión	Sin Inflexión
T ₃	2400	2400	2600	3600	Sin Inflexión	Sin Inflexión



24

Figura 8. Ensayos de Hamburgo para el asfalto CA 30. Solo y con aditivo A (izq), solo y con aditivo B (der).

En la Figura 8 se presentan las curvas de deformación resultantes del ensayo Hamburgo para las mezclas HMA (temperaturas convencionales y reducidas) y las mezclas WMA (temperaturas reducidas) con el asfalto CA-30. Del análisis de los resultados surge que la mezcla HMA es una mezcla con una regular resistencia al daño por humedad y que su resistencia se ve disminuida de manera notable al ser fabricada a temperaturas reducidas. La incorporación del aditivo B permite que la reducción de casi 40°C en las temperaturas de fabricación no tenga efectos tan destructivos durante el ensayo Hamburgo llegando casi a igualar el comportamiento de la HMA (T₁).

En la Figura 9 se presentan las curvas de deformación resultantes del ensayo Hamburgo para las mezclas HMA (temperaturas convencionales y reducidas) y las mezclas WMA (temperaturas reducidas) con

el asfalto AM-3. En este caso la reducción de las temperaturas de elaboración produce también una merma en el desempeño de la mezcla. Con la incorporación de los dos aditivos estudiados (A y B) a las mezclas semicalientes logran resultados de desempeño comparables a la HMA (T₁). En ninguna de éstas se observa un punto de inflexión en la curva de deformaciones.

En las mezclas estudiadas se aprecia en algunos casos la pérdida de la película de asfalto y el consecuente desprendimiento de agregados en la huella; en otros casos no se aprecia desprendimiento de agregados, a pesar de haberse desarrollado plenamente la zona de flujo terciario (Imagen 1a y 1b).

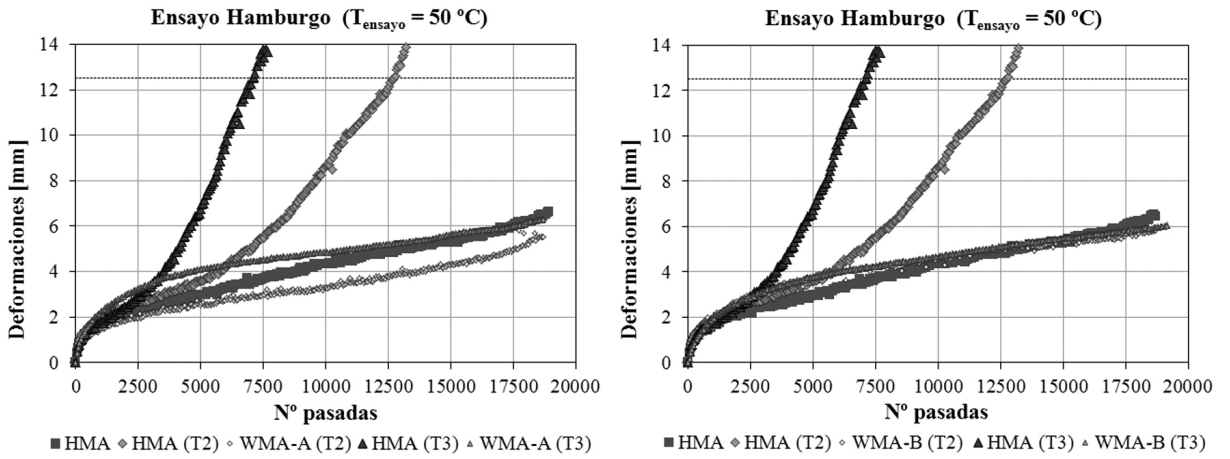


Figura 9. Ensayos de Hamburgo para el asfalto AM3. Solo y con aditivo A (izq), solo y con aditivo B (der).



Imagen 1a. Huellas en probetas con aditivo en ensayo de Hamburgo. No se observa desprendimientos.

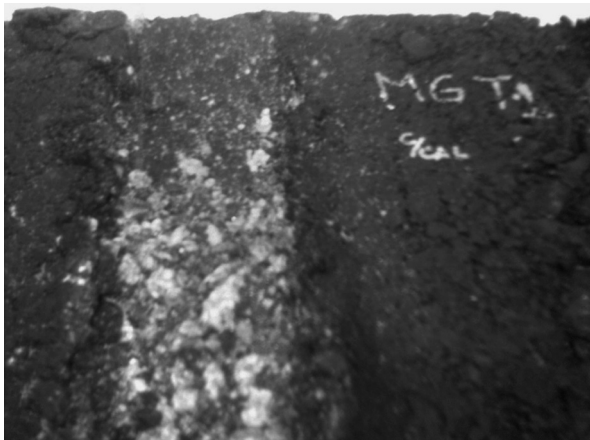


Imagen 1b. Huellas en probetas sin aditivo en ensayo de Hamburgo. Se observa desprendimientos.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los valores de estabilidades y las resistencias a tracción a 5°C no se vieron significativamente afectados cuando se disminuyeron las temperaturas de fabricación de las probetas a T_2 .

Las resistencias a tracción a 15, 25 y 35°C se ven significativamente afectadas cuando se reducen las temperaturas de fabricación, aún en las mezclas semicalientes WMA.

En las mezclas con el asfalto convencional en estudio la disminución de las temperaturas de fabricación de las probetas destruye la capacidad de la mezcla para resistir el ataque del agua. En el caso de la incorporación del aditivo B, la resistencia al daño por humedad ha conservado valores muy altos, aún con las temperaturas T_3 de fabricación. Si bien en menor medida, la incorporación del aditivo A también evita el brusco descenso de la resistencia al daño por humedad que aparece al fabricar las mezclas a temperaturas tan reducidas.

Los valores de módulo de rigidez no se vieron significativamente afectados en las mezclas con CA-30 cuando se disminuyeron las temperaturas de fabricación en aproximadamente 40°C. Si bien en todos los casos los valores de módulo se reducen al disminuir las temperaturas de fabricación, las mezclas semicalientes con aditivos presentan mayores valores de módulo de rigidez que las mezclas sin aditivar. En el caso de las mezclas con AM3, hay diferencias significativas cuando se utilizan las temperaturas T_3 .

Ensayo de rueda cargada: El uso de aditivos no tiene efecto sobre la resistencia a las deformaciones permanentes en el ensayo de rueda cargada en seco de las mezclas asfálticas estudiadas.

En el ensayo Hamburgo la mezcla asfáltica se debilita debido, entre otras causas, al ablandamiento o emulsionando parcial de la película de asfalto, en algunos casos sin removerla de la superficie del agregado [16].

Al incorporar aditivos al asfalto CA-30 se observó que el aditivo A no produce un comportamiento diferente que el que manifiestan la mezclas sin aditivar cuando se utilizan temperaturas de trabajo reducidas, mientras que la incorporación del aditivo B en la fabricación de mezclas a T_2 permite que el comportamiento de la mezcla se asemeje al de la mezcla realizada con el asfalto sin aditivar a la T_1 .

En cuanto al asfalto AM3 se observó que la incorporación de los aditivos para la elaboración de mezclas semicalientes a las temperaturas T_2 y T_3 mejora el comportamiento en el ensayo de rueda cargada bajo inmersión, asemejándose al comportamiento de la mezcla HMA (T_1).

CONCLUSIONES

En todos los casos una reducción de las temperaturas de trabajo provoca una merma en las prestaciones mecánicas de las mezclas. En algunos casos la misma no resulta significativa al plantear el uso de aditivos como en el caso de una reducción del orden de 30°C (T_2).

Los ensayos realizados indican también cambios en las propiedades cohesivas y/o de adherencia de las mezclas asfálticas cuando se trabaja con temperaturas de mezclado y compactación reducidas.

Del análisis de resultados surge que hay ensayos que evidencian más fehacientemente el efecto de la disminución de las temperaturas de fabricación, como el daño por humedad en las dos metodologías utilizadas para su análisis, AASHTO T-283 y AASHTO T-324. Este último, el ensayo Hamburgo, presenta más sensibilidad al daño ocasionado por el agua al sumar el efecto de tránsito. En estos ensayos se destaca el beneficio de la incorporación de aditivos en las mezclas fabricadas a temperaturas reducidas con asfaltos convencionales.

El propósito de la disminución de las temperaturas de trabajo dentro de valores aceptables es generar un significativo ahorro de energía, menores emisiones y mayor nivel de seguridad en obra, pero además debemos asegurar que el pavimento conserve una adecuada vida útil que no requiera mayor mantenimiento ni intervenciones tempranas que generarían nuevos consumos de energía.

En esta oportunidad se ha trabajado con importantes reducciones de temperaturas, del orden de 35 a 55°C, pero será necesario determinar en cada caso soluciones que conduzcan a un compromiso entre la reducción de las temperaturas de trabajo y la durabilidad del producto.

Se concluye que, para este fin, las metodologías para evaluar daño por humedad resultan muy adecuadas por lo que se propone su uso como herramienta para definir el rango de reducción de las temperaturas de fabricación que admite cada mezcla semicaliente diseñada para conservar buenas propiedades de cohesión y adherencia.

AGRADECIMIENTOS

A los Profesionales, Personal de Apoyo y Becarios del Área Tecnología Vial del LEMIT.

REFERENCIAS

- 1.- Agnusdei, J.O., Jair, M, Iosco, O.A., Fernández, A.I., López, M. Optimización de las temperaturas de mezclado y compactación en laboratorio y en planta de mezclas bituminosas con la utilización de ligantes no convencionales. Memorias de las Cuartas Jornadas Internacionales del Asfalto 2004. Cartagena de Indias, Colombia.
- 2.- Marcozzi, R. Algunos conceptos reológicos sobre mezclas asfálticas compactadas a diferentes temperaturas. Memorias del XIII° CILA, San José de Costa Rica, Costa Rica. Noviembre del 2005.
- 3.- Marcozzi, R. Evaluación del comportamiento mecánico de mezclas asfálticas realizadas a temperaturas reducidas. Revista Carreteras N° 153 – Mayo/Junio 2007, Asociación Española de Carreteras.
- 4.- Khatri, Bahía and Hanson. Mixing and Compaction Temperatures for Modified Binders using the Superpave Gyratory Compactor. The Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 70, pp. 368 -401, Marzo 2001.

- 5.- Norma ASTM 6927: Método de ensayo normalizado para la Estabilidad y Fluencia Marshall de Mezclas Bituminosas. Annual Book of ASTM Standards, Volumen 04.03.
- 6.- Norma ASTM 6931: Método de ensayo normalizado para la Resistencia a Tracción Indirecta (IDT) de Mezclas Bituminosas. Annual Book of ASTM Standards, Volumen 04.03.
- 7.- Norma AASHTO T-283: Resistance of Compacted Hot Mix Asphalt (HMA) to Moisture-Induced Damage.
- 8.- Fernández, A.I., Agnusdei, J.O., Iosco, O.A. Temperaturas óptimas de mezclado y compactación de mezclas con asfaltos no convencionales. Memorias del XII° CILA, Quito, Ecuador, Noviembre 2003.
- 9.- Marcozzi, R. Utilización del Compactador Giratorio Superpave para evaluar la compactabilidad de las mezclas asfálticas. Memorias de la XXXIII° Reunión del Asfalto, Mendoza, Argentina. Noviembre del 2004.
- 10.- Marcozzi, R. Análisis preliminar sobre la utilización del ensayo de tracción indirecta en mezclas asfálticas diseñadas mediante el Sistema Superpave. Segunda Parte. Memorias de la XXXII° Reunión del Asfalto, Tafí del Valle, Argentina. Noviembre del 2002.
- 11.- Norma EN 12697-26: Mezclas bituminosas. Métodos de ensayos para mezclas bituminosas en caliente. Parte 26: Rigidez, Anexo C. Normas EN del Comité de Normalización Europeo CEN, AENOR Ediciones, Madrid, 2007.
- 12.- Norma BS 598: Part 110: 1996: Sampling and examination of bituminous mixtures for roads and other paved areas: Methods of test for the determination of wheel-tracking rate.
- 13.- Norma AASHTO T-324: Hamburg Wheel-Track Testing of Compacted Hot Mix Asphalt (HMA).
- 14.- Agnusdei, J.O., Marcozzi, R., Iosco, O.A., Jair, M., Morea, F. Incidencias de las temperaturas de preparación y compactación sobre las propiedades de las mezclas preparadas con asfaltos modificados. XV Congreso Iberoamericano del Asfalto, 2009.
- 15.- Agnusdei, J.O., Iosco, O.A., Morea, F. Daños por humedad en mezclas asfálticas. Memorias del XIII° CILA, San José de Costa Rica, Costa Rica. Noviembre del 2005.
- 16.- Santucci, L. Moisture sensitivity de asphalt pavements. Technology Transfer Program. Publicación del Institute of Transportation Studies (ITS).

PROPIEDADES DE AGREGADOS OBTENIDOS POR COMBINACIÓN DE ARENA DE RIO CON AGREGADOS FINOS RECICLADOS

PROPERTIES OF AGGREGATES OBTAINED BY COMBINING RIVER SAND WITH RECYCLED FINE AGGREGATES

M.E. Sosa¹, C.J. Zega², A.A. Di Maio³

1.- CIC-LEMIT

2.- Investigador Asistente CONICET-LEMIT.

3.- Investigador Independiente CONICET-LEMIT. hormigones@lemit.gov.ar

RESUMEN

La utilización de agregados reciclados en la construcción está fundamentada principalmente en motivos de índole medioambiental, debido a la generación de grandes volúmenes de desechos que hacen necesario la disposición de grandes superficies para el vertido de los mismos. En este trabajo se presentan los resultados obtenidos en la evaluación de diferentes propiedades tales como granulometría, densidad, absorción, material que pasa el tamiz IRAM 75 μm y durabilidad por ataque con sulfato de sodio, determinadas en agregados finos constituidos por combinación de arena silíceo de río y distintos porcentajes de agregados finos reciclados (20, 30 y 40% en peso) provenientes de la trituración de hormigones. Las propiedades obtenidas en cada combinación de agregados son comparadas con las determinadas sobre combinaciones de arena de río y los mismos porcentajes de arena natural de trituración granítica. De los resultados obtenidos surge que las combinaciones con agregados finos reciclados presentan mayor absorción, pérdida de peso por ataque con sulfato de sodio y material que pasa el tamiz IRAM 75 μm , y menor densidad que las mezclas con arena de trituración granítica, presentando sendos tipos de mezclas curvas granulométricas similares.

Palabras clave: *agregado fino reciclado, arena de trituración, absorción, ataque por sulfatos.*

ABSTRACT

The use of recycled aggregates in the construction industry is based primarily on the basis of environmental reasons, due to the need for large areas to dispose large volumes of waste generated. In this paper, the results of the evaluation of different properties such as particle size distribution, specific gravity, absorption, material finer than 75 microns, and durability with sodium sulphate attack, determined in fine aggregates constituted by combining siliceous river sand and different percentages of recycled fine aggregates (20, 30 and 40% by weight), obtained from the crushing concretes, are presented. The properties obtained for each combination of aggregates are compared with those determined for combinations of river sand and crushing granite sand in the same percentages. The obtained results show that the recycled fine aggregate combinations present higher absorption, weight loss of sodium sulphate attack and material finer than 75 microns, and lower specific gravity than combinations with granite crushing sand, presenting similar particle size distributions in both types of mixtures.

Keywords: *recycled fine aggregate, crushing sand, absorption, sulphate attack.*

INTRODUCCIÓN

El tratamiento de residuos conduce a un máximo aprovechamiento de los materiales mediante su reutilización o reciclaje, evitando la masificación de vertederos y contribuyendo a la disminución en el uso de materias primas naturales, hechos que además permiten disminuir la contaminación ambiental y una mayor economía en los productos que con éstos se elaboran.

El reciclaje de los residuos de construcción y demolición es una de las temáticas más abordadas de las últimas décadas, y la utilización de este tipo de desechos como agregados para la elaboración de hormigones, principalmente aquellos que provienen de la trituración de hormigones que han culminado su vida en servicio, es una práctica habitual en países con políticas ambientales claras y eficientes.

En el proceso de obtención del agregado reciclado se generan dos fracciones de materiales, como son el agregado grueso y el agregado fino. Respecto al primero, son cuantiosos los estudios realizados respecto de las características y propiedades que los mismos poseen [1-6]. Incluso en diversos países se han elaborado recomendaciones para su uso en hormigones estructurales, o bien los mismos han sido incorporados a las normativas y

reglamentos vigentes [7-10].

Con relación al empleo de agregado fino reciclado (AFR) en la elaboración de hormigones, los estudios que pueden hallarse son escasos. Entre los disponibles se concluye que los AFR presentan, al igual que los agregados gruesos reciclados, partículas que pueden estar compuestas solamente de mortero, agregado natural ó agregado natural y mortero adherido en proporciones variables, poseen forma irregular, textura superficial rugosa, menor densidad mayor absorción de agua, y pérdida por ataque con sulfatos que las arenas naturales de trituración [6,11,12]. Debido a su elevada absorción de agua, su uso en la elaboración de hormigones no se permite o es muy restringido, ya que puede conducir a una pérdida de trabajabilidad, presentar mayor contracción y creep, tener alta permeabilidad y por consiguiente provocar una deficiente durabilidad [12-15].

El objetivo de este trabajo consiste en evaluar el comportamiento que presentan mezclas de arena silícea de río con distintos porcentajes (20, 30 y 40% en peso) de AFR, proveniente de la trituración de hormigones con piedra partida granítica como agregado grueso, en comparación con mezclas de arena silícea de río con iguales

porcentajes de arena de trituración granítica. Se estudian diferentes propiedades de las mezclas tales como granulometría, densidad, absorción de agua, material que pasa el tamiz IRAM 75 μm y durabilidad por ataque con sulfato de sodio, aplicando en todos los casos los lineamientos indicados en las respectivas normas IRAM habitualmente utilizadas en la evaluación de agregados finos naturales.

EXPERIENCIAS

Para dar cumplimiento al objetivo planteado se trituraron hormigones con niveles de resistencia de 30 MPa, elaborados con agregado grueso de piedra partida granítica, para lo cual se utilizó una trituradora de mandíbulas, cuyo material resultante fue tamizado empleando una malla de abertura de 4,75 mm, seleccionando la fracción que pasó dicha malla.

Previa homogenización del material, se tomaron muestras representativas del mismo y se preparon mezclas de arena silícea de río con 20, 30 y 40% en peso de AFR, a las cuales se les determinó granulometría (IRAM 1505), densidad y absorción de agua (IRAM 1520), material que pasa el

tamiz IRAM 75 μm (IRAM 1540) y durabilidad por ataque con sulfato de sodio (IRAM 1525). Los resultados obtenidos se comparan con los determinados sobre combinaciones preparadas de manera análoga con 20, 30 y 40% en peso de arena de trituración granítica.

Dichas combinaciones de agregados se denominan mediante una letra, que indica el origen de la arena de trituración, la cual será (N) natural o (R) reciclada y un número, que hace referencia al porcentaje de arena silícea reemplazada. A modo de ejemplo N40, indica que se trata de una combinación de agregados conformada por 60% de arena silícea de río y 40% de arena de trituración granítica, en tanto que R40 indica que se trata de una combinación de 60% de arena silícea de río y 40% de AFR.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

En la Figura 1 se presentan las curvas granulométricas obtenidas para las diferentes combinaciones de agregado en estudio, junto con las curvas límites (A, B y C) correspondientes a arenas naturales indicadas en el CIRSOC 201 [16] para la elaboración de hormigones.

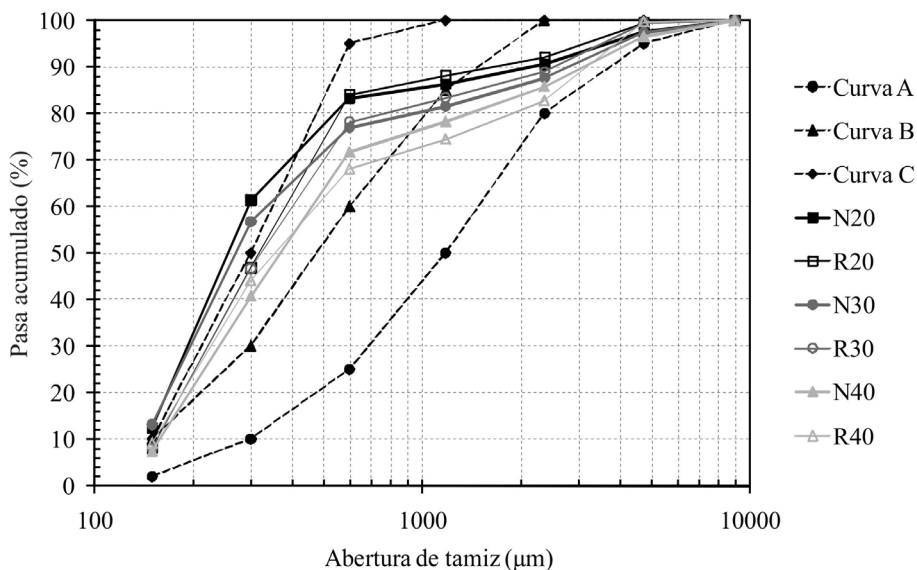


Figura 1. Curvas granulométricas

Se observa que las combinaciones con igual porcentaje de arenas de trituración (natural y reciclada) son similares entre sí, siendo levemente más gruesas las que contienen AFR. Este hecho hace que las combinaciones con arena de trituración granítica, a diferencia de las combinaciones con AFR, no se encuentren comprendidas en su totalidad entre los límites granulométricos A y C, debido fundamentalmente a la finura que presenta la arena silícea de río (modulo de finura 1,21).

En la Tabla 1 se presentan los resultados obtenidos en cada una de las propiedades evaluadas tanto para las combinaciones con AFR como para las que contienen arena de trituración granítica, los cuales corresponden al promedio de al menos tres determinaciones.

En la Figura 2 puede observarse que, las combinaciones con AFR poseen menor densidad, del orden del 2, 3 y 4% para las mezclas con 20, 30 y 40% de AFR, respecto a las combinaciones con

arena de trituración granítica.

En el caso de las mezclas con arena de trituración granítica se produce un aumento de la densidad al incrementarse el contenido de la misma, debido a que su densidad es levemente superior que la de la arena de río (densidad arena de río 2,68; arena de trituración granítica 2,72). Cuando las combinaciones se realizan con AFR, las densidades disminuyen a medida que aumenta el porcentaje AFR, hecho que se atribuye a la menor densidad que poseen los mismos, debido a la presencia de mortero adherido en sus partículas.

En cuanto a la absorción de agua de las diferentes combinaciones, la cual se presenta en la Figura 3, se puede observar que la misma se mantiene prácticamente constante para las combinaciones N, mientras que se produce un pequeño incremento de la misma en las combinaciones R, a medida que aumenta el porcentaje de AFR, siendo este incremento del 16% entre las combinaciones R20

Tabla 1. Propiedades de las combinaciones de agregados finos

Agregado	Módulo de finura	Densidad	Absorción (%)	Pasa tamiz IRAM 75 µm (%)	Pérdida por ataque con sulfato (%)
N20	1,68	2,67	0,20	0,55	2,43
R20	1,81	2,61	1,68	1,66	4,87
N30	1,87	2,68	0,24	0,66	2,20
R30	1,95	2,60	1,76	2,05	6,16
N40	2,20	2,69	0,25	0,77	2,30
R40	2,22	2,58	1,95	2,19	7,33

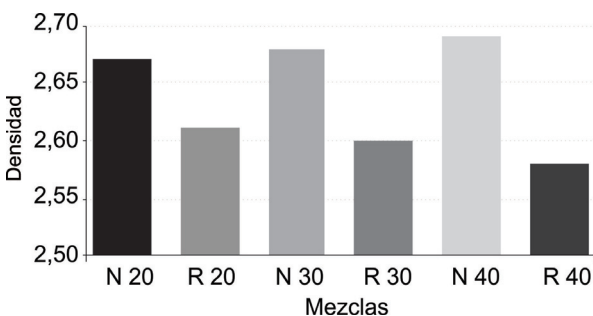


Figura 2. Densidad de las mezclas

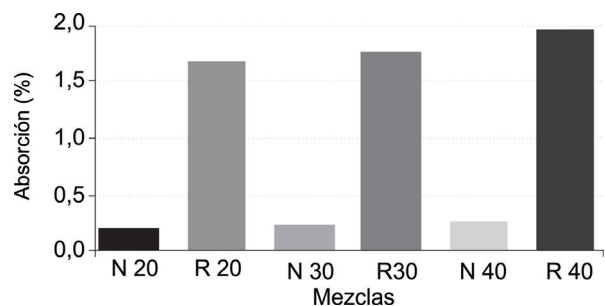


Figura 3. Absorción de agua de las mezclas

y R40. Además resulta claramente observable la mayor absorción que poseen las combinaciones con AFR respecto a las correspondientes con arena de trituración granítica (750, 800 y 900% para 20, 30 y 40% respectivamente), debido a la presencia de mortero adherido que tienen las partículas de AFR, el que posee una mayor porosidad.

Respecto del contenido de material que pasa el tamiz IRAM 75 μm , en la Figura 4 se puede observar que el mismo se incrementa para ambos tipos de combinaciones (N y R) conforme aumenta el porcentaje de arena de trituración o AFR que contienen. Si bien para todos los casos el porcentaje de material que pasa dicho tamiz es mayor para las combinaciones con AFR respecto a las correspondientes con arena de trituración, puede observarse que dicho aumento es mayor para estas últimas, siendo del 34%, mientras que para las que contienen AFR el mismo es del orden del 30% (entre las combinaciones de 20 y 40%).

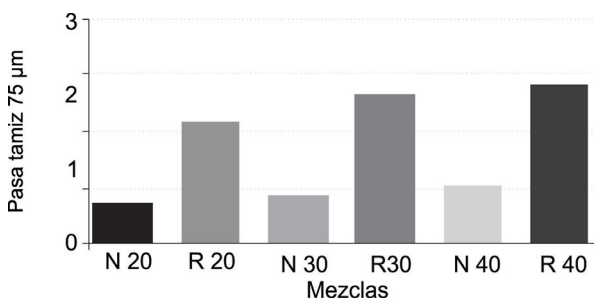


Figura 4. Material que pasa el tamiz 75 μm de las mezclas

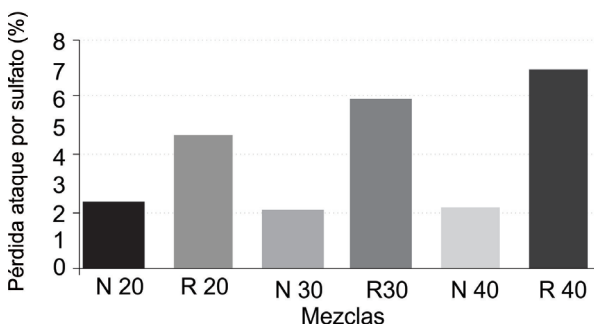


Figura 5. Pérdida por ataque con sulfato de sodio de las mezclas

Sin embargo cabe mencionar que para todos los porcentajes de AFR los resultados obtenidos se encuentran dentro del límite inferior del 5% indicado en el reglamento CIRSOC 201 para agregados naturales.

En la Figura 5 se presentan los resultados obtenidos en el ensayo de durabilidad por ataque con sulfato de sodio, donde se evidencia una pérdida superior de material en las combinaciones con AFR, respecto de las que contienen arena de trituración granítica, siendo del 51, 65 y 68% para las combinaciones con 20, 30 y 40% respectivamente. Al respecto puede observarse que a medida que se incrementa el porcentaje de AFR, se produce un comportamiento más deficiente de las mismas, hecho que también está relacionado con la presencia de mortero adherido en los AFR, dado que es un material más fácilmente degradable ante dicha exposición, por la elevada porosidad que posee. También en este caso se evidencia que para los tres porcentajes de AFR evaluados se verifica que la pérdida porcentual en peso es inferior al límite del 10% indicado para los agregados naturales.

CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en este estudio sobre mezclas de arena silícea de río con distintos porcentajes de AFR (20, 30 y 40% en peso), se puede concluir que los mismos presentan curvas granulométricas similares a las determinadas en mezclas elaboradas con iguales porcentajes de arena de trituración granítica, siendo levemente más gruesas las que poseen AFR. Las densidades de las combinaciones con AFR resultan inferiores a las de aquellas con arena de trituración granítica, y decrece conforme aumenta el porcentaje de AFR. Este hecho es atribuido a la menor densidad que presentan los AFR producto del mortero adherido que poseen sus partículas.

Otras propiedades como la absorción de agua, ataque por sulfato de sodio y material que pasa el tamiz IRAM 75 μm resultan superiores en las

combinaciones con AFR, siendo este incremento más notorio cuanto mayor es el porcentaje de AFR empleado, debido a la mayor porosidad y por ende mayor degradabilidad del mortero adherido que éstos presentan. Es de notar que, no obstante el incremento de estas propiedades, todas las combinaciones evaluadas cumplen con los límites que establece el reglamento CIRSOC 201 para agregados finos naturales.

De lo expuesto surge que los resultados obtenidos en las distintas propiedades evaluadas en mezclas de arena silíceas de río con hasta un 40% en peso de AFR, se encuentran por debajo de los límites establecidos para agregados naturales en el reglamento CIRSOC 201 para su utilización en hormigones.

REFERENCIAS

- 1.- Nixon, P.J. (1978). Recycled concrete as an aggregate for concrete- a review. *Matériaux et constructions*, Vol. 11, N° 5, pp.371-378.
- 2.- Hansen, T.C., Narud, H. (1983). Strength of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate. *Concrete International*, Vol. 5, N° 1, pp.79-83.
- 3.- Sri Ravindrajah, R., Tam, C.T. (1985). Properties of concrete made with crushed concrete as coarse aggregate. *Magazine of Concrete Research*, Vol. 37, N° 130, pp.29-38.
- 4.- Tavakoli, M., Soroushian, P. (1996). Strengths of Recycled Aggregate Concrete made Using Field-Demolished Concrete as Aggregate. *Materials Journal*, ACI, pp.182-190.
- 5.- Boyle-Bodin, F., Hadjiev-Zaharieva, R. (2002). Influence of Industrially Produced Recycled Aggregates on Flow Properties of concrete. *Materials and Structures*, Vol. 35, N° 52, pp.504-509.
- 6.- Zega, C.J., Sosa, M.E., Di Maio A.A. (2010). Propiedades de los agregados finos reciclados procedentes de hormigones elaborados con distintos tipos de agregados gruesos naturales. *Memorias de la 18° Reunión Técnica de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón*, Mar del Plata, Argentina, pp.33-38.
- 7.- Grübl, P., Rühl, M. (1998). German Committee for Reinforced Concrete (DafStb) – Code: Concrete with Recycled Aggregates. *Proc. Int. Symposium Sustainable Construction: Use of Recycled Concrete Aggregates*. University of Dundee, London. (Disponible en www.b-i-m.de)

- 8.- RILEM Recommendation 121-DRG (1994). Guidance for demolition and reuse of concrete and masonry. Specifications for concrete with recycled aggregates. Materials and Structures, RILEM, Vol.27, pp.557-559.
- 9.- ACI Committee 555 (2002). Removal and reuse of hardened concrete. Materials Journal, ACI, N°99-M31, pp.300-323.
- 10.- EHE (2008). Instrucción de Hormigón Estructural. Comisión Permanente del Hormigón, Ministerio de Fomento, España. Anejo 15, Recomendaciones para la utilización de hormigones reciclados. (Disponible en www.fomento.es)
- 11.- Zega, C.J., Di Maio, A.A. (2006). Comportamiento de hormigones elaborados con agregado fino reciclado. Memorias 16° Reunión Técnica de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón, Mendoza, Argentina, pp.47-54.
- 12.- Rodríguez Tovar, G. (2011). Estudio de morteros de agregado fino reciclado en matrices con cemento Portland y en matrices de escoria de horno alto activada alcalinamente. Tesis de magíster. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, canales y puertos de Barcelona. Universidad Politécnica de Cataluña, 75 p. (Disponible en <http://upcommons.upc.edu/pfc/handle/2099.1/12119>)
- 13.- Hansen, T.C. (1986). Recycled aggregate and recycled aggregate concrete. Second state-of-the-art. Report developments 1845-1985. Materials and Structures, Vol. 19, N° 3, pp.201-246.
- 14.- Poon, C.S., Azhar, S., Kou, S.C. (2003). Recycled aggregates for concrete applications. MaSTEC2003 - Materials Science and Technology in Engineering Conference - Now, New and Next, Hong Kong.
- 15.- Etxeberria, M., Marí, A., Vázquez, E. (2007). Recycled aggregate concrete as structural material. Materials and Structures, Vol. 40, N° 5, pp.529-541.
- 16.- CIRSOC 201 (2005). Proyecto de Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón. Instituto Nacional de Tecnología Industrial. (En trámite de aprobación)

CORROSIÓN DE ARMADURAS EN EL HORMIGÓN ARMADO: UNA PROBLEMÁTICA DEL PATRIMONIO MODERNO

REINFORCEMENT CORROSION IN CONCRETE: A PROBLEM OF MODERN HERITAGE

L.P. Traversa¹

1.- Investigador Emerito CIC-LEMIT. direccion@lemit.gov.ar

RESUMEN

En este trabajo se describe y analiza la problemática de la corrosión de las armaduras observada en construcciones ejecutadas en hormigón armado que integran el patrimonio moderno. Las mismas corresponden a épocas y tipologías diferenciadas, perteneciendo algunas de ellas a la década de 1930 y otras son muchos más modernas, correspondientes a la década del 60. Los ambientes de emplazamiento en la Provincia de Buenos Aires, Argentina, también son diferenciados (ambiente rural y urbano). Se hace una referencia a la introducción en la Argentina del hormigón armado en la década de 1910 y se analizan algunas construcciones emblemáticas. Se presenta un análisis global de la información disponible que corresponde a estudios e inspecciones realizados en el LEMIT y se plantean los mecanismos de corrosión de las armaduras y las causales que le dan origen principalmente el proceso por carbonatación. Se plantea a la corrosión como la patología mas crítica para las obras que integran el patrimonio moderno. Además, se explicitan algunos lineamientos generales sobre las técnicas disponibles para la reparación y mantenimiento de las estructuras afectadas por corrosión.

Palabras clave: patrimonio moderno, hormigón, corrosión, carbonatación.

Trabajo presentado en 2^{do} Congreso Iberoamericano y X Jornada “Técnicas de Restauración y Conservación del Patrimonio, COIBRECOA, La Plata, 2011.

ABSTRACT

In this paper it is described and analyzed the problem of reinforcement corrosion shown in those reinforced concrete buildings corresponding to modern heritage. They come from different periods and typologies, being the oldest ones from the 1930s and others corresponding to the 60's decade. The placement environments in the Province of Buenos Aires, Argentina, were also differentiated (rural and urban environment). It is mentioned the introduction in Argentina of reinforced concrete in the 1910s and some emblematic buildings are analyzed. The work includes a global analysis of the available information, corresponding to studies and inspections performed in LEMIT, and the corrosion mechanisms and its origin are presented, especially the carbonation process. The corrosion is posed as the worst problem for the works of modern heritage. Besides, general guidelines are given about the available techniques for repair and maintenance of structures affected by corrosion.

Keywords: *modern heritage, concrete, corrosion, carbonation.*

INTRODUCCIÓN

Es conocido que la Arquitectura Moderna tiene su origen en Europa en las primeras décadas del Siglo XX, siendo su representante más importante el Arq. Charles-Edouard Jeanneret (conocido como Le Corbusier) una de cuyas obras se encuentra en la ciudad de La Plata (Casa Curuchet). Aunque muchos de sus preceptos se continúan empleando en la actualidad, se considera que el Movimiento Moderno vio su final alrededor de la década de los 60, sin que haya surgido una tendencia clara que lo haya sucedido. El Posmodernismo, sin embargo, se refleja en la arquitectura actual en varios aspectos ya que los edificios adoptan a menudo tipologías heredadas del pasado, se recupera el ornamento (columnas, pilastras, molduras, etc.) y se escapa de las formas puras y simples, buscando la yuxtaposición y la mezcla de volúmenes y formas.

Las construcciones que integran el patrimonio moderno se caracterizan entre otros factores, porque los materiales y los requerimientos funcionales determinan el resultado de la obra ("la forma sigue a la función") y por el empleo de nuevas tecnologías y materiales, como por ejemplo el hormigón armado.

El desarrollo científico tecnológico de fines del siglo XIX creó un nuevo material para la

construcción, basado en elementos activos e inertes que unidos conforman el hormigón armado, permitiendo liberar las formas arquitectónicas y convirtiéndose en el material característico de "lo nuevo". En los primeros años del siglo XX en los que se desarrolló el primer ciclo del hormigón armado, las obras del Ing. Auguste Perret muestran una estética propia para el nuevo material, siendo Roberto Maillart, con sus proyectos de puentes, la síntesis de la simbiosis tecnología-estética, que luego descubrieron los arquitectos al reconocer el valor plástico-estructural del hormigón. En 1905, A. Perret, realiza un edificio-manifiesto en París cuya estructura de hormigón se halla a la vista pero sin embargo, no se atreve a dejar completamente desnuda la fachada y coloca, entonces, algunos adornos cerámicos.

Una vez que el hormigón es asumido por la sociedad como un material de confianza, comienza a generalizarse su uso. Fueron, tal vez, los ingenieros estructurales, los primeros en emplear el hormigón armado como ya habían hecho con los perfiles metálicos en la construcción de fábricas, debido a la necesidad de disponer de espacios libres de grandes dimensiones. A fines del siglo XIX, en 1893, se construyó en Alameda, California, el depósito de la Pacific Coast Borax Company, tal vez el primer edificio de hormigón

armado, cuyo diseño tenía fuertes reminiscencias con las estructuras construidas con perfiles de hierro.

En Argentina, los avances tecnológicos se fueron incorporando rápidamente a las obras arquitectónicas e ingenieriles. En la década de 1930, el Arq. Alberto Prebisch plasma una serie de obras vanguardistas, como por ejemplo el Obelisco, en la Plaza de la República, ejecutado en hormigón armado, que es una obra con una fuerte atemporalidad y una vuelta a la esencia de la forma geométrica.

Otro ejemplo, es el edificio Kavanagh, de los arquitectos Gregorio Sánchez, Ernesto Lagos y Luís María de la Torre construido en 1934. Sus arquitectos indicaban que "...Adherimos a las premisas de la arquitectura moderna con geometrías puras y ausencia de adornos, con armonía de mazas y solidez de los elementos constructivos que daba la técnica moderna...". En esta etapa, el movimiento moderno fue impulsado fuertemente por los grupos socio-económicos de mayor poder adquisitivo y, posteriormente, sus conceptos y sus materiales fueron empleados, fundamentalmente, en la construcción de viviendas sociales.

El brutalismo como parte del movimiento moderno tuvo una influencia dentro de la arquitectura institucional argentina ganando espacios a inicios de los años 60 siendo sus manifestaciones más importantes el Banco de Londres (hoy Banco Hipotecario) y el Edificio de la Biblioteca Nacional, ambos de Clorindo Testa, en la ciudad de Buenos Aires. En la ciudad de La Plata, puede citarse como un ejemplo tardío de dicho movimiento el Teatro Argentino (Imagen 1).

La ideología del movimiento moderno se refleja a mediados del siglo XX en una fuerte participación en proyectos de viviendas colectivas, fundamentalmente a fines de los años 60 y 70. Estos conjuntos de viviendas se encuentran en la mayoría de los casos en una compleja situación de deterioro físico unido a los procesos de obsolescencia que



Imagen 1: Teatro Argentino, La Plata.

sufren algunos proyectos a través del tiempo como resultado de cambios culturales y funcionales. Por ejemplo se ha informado que "Mendoza tiene barrios de viviendas construidos en la década del 50, que han superado ampliamente la vida útil estimada con criterios mínimos de mantenimiento y, actualmente, viviendas con menos de 5 años de antigüedad presentan importantes patologías y han cumplido su ciclo de utilidad" [1], debido fundamentalmente a la corrosión de las armaduras por una alta porosidad del hormigón.

En lo que respecta a puentes puede plantearse que en el año 1916, se inaugura en la Argentina el primer puente arco oblicuo, diseñado por el Ing. Donato Gerardi (1886-1962), ejecutado en hormigón armado (Imagen 2). El puente se realizó sobre vías del ferrocarril con un ancho del arco de 8 metros. Los otros puentes existentes sobre la misma Ruta Nacional N° 1 habían sido ejecutados en hierro, pero a consecuencia del estallido de la Primera Guerra Mundial y por razones estratégicas, Francia, país proveedor de materiales, suspende las exportaciones. La necesidad de concluir la ruta hizo necesario pensar en alternativas tecnológicas para la construcción del puente faltante.

La decisión de construir un puente en hormigón armado puede plantearse como revolucionaria, ya que el primer documento conteniendo un método



Imagen 2: Puente arco de hormigón armado. Gonnet, año 1916, diseño del Ing. Donato Gerardi.



Imagen 3: Puente de Hormigón armado, año 1960. Sauce Grande. Ruta Nacional N° 3.

para el diseño del hormigón armado fue publicado por Emil Mörsch en 1902, y los primeros Reglamentos fueron el Suizo de 1903, el Alemán de 1904 y el Francés de 1906.

Este puente se encuentra en servicio, sometido a un intenso tránsito vehicular ya que está emplazado en uno de los principales accesos a la ciudad de La Plata. Se ha detectado el inicio de un proceso corrosivo, fundamentalmente en las armaduras secundarias.

En la década de 1930, en la Provincia de Buenos Aires, en particular durante el gobierno del Dr. M. Fresco (1936-1940) se impulsó, a fin de reactivar la economía y detener la migración interna tras el crack de los años 30, un plan de obras de infraestructura. El estado adopta las ideas del movimiento moderno, tanto en las construcciones de los edificios públicos como en las obras de infraestructura. Durante este período se construyeron más de 200 puentes, en su mayoría de vigas continuas rectas de hormigón armado de 15 metros de luz, conformando un sistema modular. Asimismo, se construyeron importantes puentes arco de tablero inferior, que aún se encuentran en servicio. Ejemplos paradigmáticos son los puentes que se encuentran sobre Río Sauce Grande, en las proximidades de la localidad de Saldungaray, de 52

metros de luz, inaugurado en el año 1937 (Imagen 3), el Viaducto Luján, en la Ruta Nacional N° 5 y el ubicado sobre el arroyo Cochenleufú, próximo a Pigüé, todos ellos en servicio y sin problemas de corrosión generalizada. Debe mencionarse que el Viaducto de Luján se encuentra sometido a un intenso tránsito vehicular.

Entre los ejemplos altamente innovadores de puentes puede citarse el diseñado como un arco con tablero superior, con estructura laminar en hormigón armado, ubicado sobre el Río Quequén Salado en las proximidades de la localidad de Oriente, diseñado por los Ings. C. Luisoni y A. Giacobbe. Construido a principios de la década del 60, sobre un río torrencioso y con profundidades en el lugar de emplazamiento del orden de los 7 metros, originadas en una pequeña represa hidroeléctrica ubicada aguas abajo. Esta situación, unida al ancho del río, llevó a prescindir de apoyos intermedios, eligiendo un arco parabólico biarticulado de tablero superior de 60 metros de luz y 9 metros de flecha. El arco se compone de una lámina plegada de 7 metros de ancho cuya sección transversal adopta la forma de alas de 20cm de espesor, excepto en los pliegues superiores que alcanzan 25 cm. En correspondencia con los pórticos que soportan al tablero, se dispone de tímpanos en el arco del mismo espesor.

La construcción de este puente, por sus características particulares, fue extremadamente supervisada, garantizándose los procesos de calidad. La resistencia de rotura del hormigón alcanzó un valor medio de 42 MPa, empleándose un contenido unitario de cemento portland normal del orden de 380 Kg/m³. En la inspección visual realizada, luego de 50 años de vida en servicio, no se detectaron patologías de tipo estructural ni atribuibles al material.

Las estructuras de hormigón armado son proyectadas y construidas para satisfacer durante su vida en servicio un conjunto de requisitos funcionales, sin que se produzcan costos inesperados por mantenimiento y/o reparaciones. Se debe deducir que al alcanzar la vida proyectada la estructura no debe ser demolida, sino que la periodicidad y el costo de mantenimiento se incrementa sensiblemente. En estructuras con valor patrimonial se plantea en esta circunstancia, la necesidad de su reparación y/o recuperación, siendo evidente que algunos componentes no admiten reparación y sólo su reemplazo por otros nuevos garantiza la posibilidad del uso continuado de la estructura, preservando el espacio arquitectónico original.

Las obras se ejecutan en ambientes que interactúan con las estructuras, originando a lo largo de su vida en servicio algunas patologías que pueden afectar su seguridad, su funcionalidad y/o su estética. Dentro de estos comportamientos anormales, la corrosión de las armaduras es tal vez la patología más importante por el porcentaje de estructuras afectadas, alcanzando un valor promedio a nivel internacional y local del orden del 20% [1-5]. Sin embargo, últimos relevamientos informados han indicado porcentajes más elevados cercanos al 40% [6].

En los citados relevamientos se ha considerado que una estructura está afectada por corrosión cuando manifiesta signos externos de dicho proceso (manchas, fisuras, desprendimientos del hormigón de recubrimiento, etc.). Sin embargo, puede

plantearse que todas las estructuras se encuentran en alguna de las etapas en las cuales habitualmente se divide el proceso de corrosión, ya que desde el momento en que se construye la estructura se inicia la difusión de anhídrido carbónico y/o de los cloruros en la red porosa del hormigón de recubrimiento, dando origen al denominado período de iniciación. La velocidad de ingreso y el espacio a recorrer hasta llegar a la armadura (espesor de recubrimiento), son los factores que condicionan la cinética del proceso corrosivo y por lo tanto son los que revisten importancia

ALGUNOS CONCEPTOS SOBRE EL HORMIGÓN ARMADO

La unión del hormigón de cemento Portland y el acero ha dado origen al hormigón armado. La adherencia entre ambos materiales otorga integridad a esta unión y la protección a la corrosión que el hormigón ofrece a las barras asegura una determinada vida útil. En el año 1908 la demolición de depósitos de ácido tánico y agua amoniacal en Hamburgo, Alemania, posibilitó verificar la existencia de hierros de anclajes empotrados en el hormigón desde hacía 50 años sin ningún tipo de alteración, confirmando la hipótesis de protección antes mencionada. Además, las barras le confiere un cierto grado de ductilidad a los elementos de hormigón armado que no la tendrían si fuesen de hormigón simple.

La protección que el hormigón confiere a las armaduras de acero empotradas es de doble naturaleza: por un lado, es una barrera física que las separa del medio ambiente y por otro, el líquido encerrado en la red de poros y capilares permite formar una película pasiva sobre su superficie (capa de óxidos muy adherente, compacta e invisible). Esta solución acuosa está constituida principalmente por iones Ca(OH)⁻, a los que se debe su alta alcalinidad. Inicialmente se consideró que el hidróxido de calcio (pH ~ 12,5) era el componente que originaba esa alcalinidad; sin embargo, se ha demostrado que el pH del líquido de poros alcanza valores entre 13 y 14, lo cual se

debe, fundamentalmente, a la presencia también de hidróxido de sodio e hidróxido de potasio, ya que el ión calcio prácticamente desaparece de la disolución cuando el cemento progresa en su hidratación. La cantidad relativa de cada uno de esos iones depende de la composición química y grado de hidratación del cemento, empleo de adiciones minerales y de la relación agua/cemento.

Esa película impide la disolución del hierro e imposibilita la corrosión de las armaduras, incluso cumpliéndose el resto de las condiciones necesarias para la corrosión (presencia de humedad y oxígeno) implementándose de esta forma uno de los requisitos fundamentales para la viabilidad del hormigón armado como material para la construcción.

Habitualmente se distinguen para los aceros dos tipos de sensibilidades a la corrosión, identificadas genéricamente con los términos sensibles y ligeramente sensibles, siendo los primeros los que tienen diámetro menores o iguales a 4 mm., los que tienen tratamientos (excepto los templados) y los deformados en frío con tensiones permanentes > a 400 MPa. Los ligeramente sensibles son los aceros distintos a los antes mencionados. Se ha demostrado un mejor comportamiento frente a la corrosión de los aceros lisos comparados con los torsionados, debido a su microestructura [7].

La clasificación muestra claramente la influencia negativa de las tensiones remanentes originadas por tratamientos, por ejemplo, estirados o torsionados, sobre la sensibilidad del acero a la corrosión, con excepción del tratamiento de templado que justamente se emplea para liberar a las piezas de tensiones remanentes. Si se entiende al proceso corrosivo como un regreso a la condición natural de estabilidad del metal, aquellos a los cuales se le ha entregado para su elaboración una mayor cantidad de energía, tienen consecuentemente una mayor inestabilidad y resultan más susceptibles de alterarse. En el caso de los diámetros pequeños, la relación área de alteración (superficie de la barra)/agresivo, es mayor que en los de diámetros

superiores a igualdad en el contenido de la sustancia agresiva, por lo cual los procesos son más intensos particularmente cuando existen, por ejemplo, cloruros en la interfase.

Se desprende de lo antes mencionado que aquellas estructuras en las cuales se han empleado, por ejemplo, aceros torsionados, tecnología generalizada a partir de la década del 70 para aumentar las características mecánicas, han presentado una mayor sensibilidad a la corrosión. Esta situación se ve favorecida, además, por la disminución de la sección de las barras que puede efectuarse para soportar igual carga al aumentar la resistencia a tracción del material.

PATOLOGIAS DEL HORMIGÓN

Los deterioros que una estructura de hormigón simple y armado puede sufrir durante su vida en servicio se deben a distintas causales [8]. En la Figura 1 se describen las causas habituales de deterioro del hormigón armado, separando las debidas al hormigón y a la corrosión de la armadura, haciendo mención en este caso a las causales de carbonatación, contaminantes corrosivos y corrientes parásitas [9].

Es conocido que el proceso de carbonatación se origina cuando el anhídrido carbónico (CO_2) del aire, ingresa a la masa del hormigón a través de los poros interconectados con el exterior y en presencia de agua, transforma al hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) en carbonato de calcio (CaCO_3) según la siguiente expresión simplificada:



Para que se produzca la reacción, es necesaria la presencia de agua, siendo la situación preferencial una humedad relativa comprendida entre 50 y 60%. Cuando el hormigón tiene sus poros capilares saturados, el CO_2 no puede ingresar y consecuentemente no se origina la carbonatación, situación que también ocurre cuando la red se encuentra totalmente seca. En la Figura 2, se

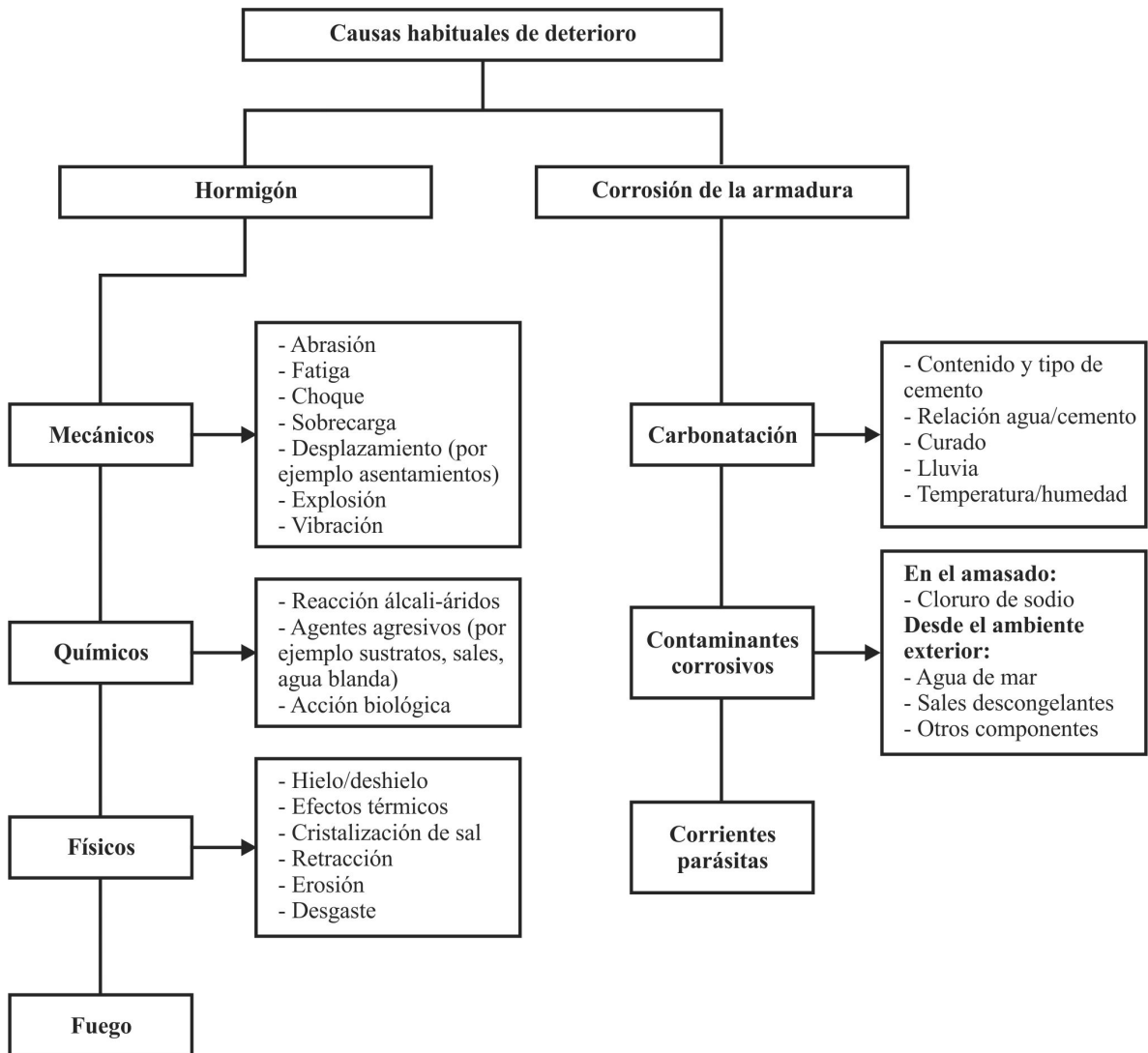


Figura 1: Causas habituales de deterioro del hormigón armado.

esquematiza el proceso de carbonatación en el hormigón armado.

Experimentalmente se ha determinado que el espesor carbonatado es función directa de las características intrínsecas del hormigón de recubrimiento, en especial de su porosidad definida por la relación agua/cemento, la cantidad, tipo y grado de hidratación (tipo y tiempo de curado) del cemento, las condiciones del medio (contenido de CO_2 , temperatura y humedad) y del tiempo de exposición. Estos parámetros se

pueden vincular, en primera instancia, mediante la siguiente expresión general:

$$d_c = K_c t^{1/2}$$

d_c : distancia que alcanza el frente carbonatado

t : tiempo de exposición

K_c : constante que engloba las variables del hormigón y del medio ambiente.

Para que se origine y desarrolle el proceso de carbonatación es necesaria la presencia de anhídrido carbónico (CO_2) en las proximidades

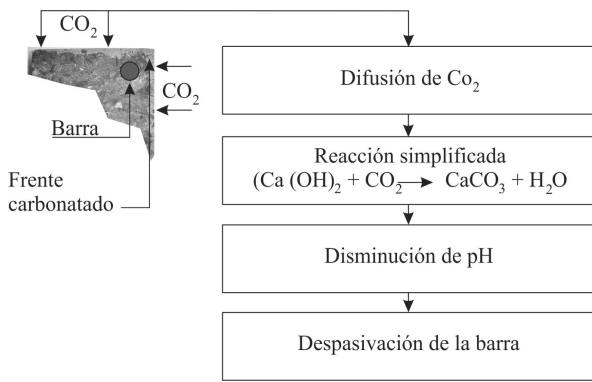


Figura 2: Esquema del proceso de carbonatación del hormigón de recubrimiento.

de las estructura. Mediciones realizadas por el LEMIT en distintos ambientes de la provincia de Buenos Aires empleando un medidor de CO_2 (Marca TESTO modelo 445 con sonda infrarroja), muestran valores del orden de 410 ppm en ambientes urbanos y de 378 ppm en ambientes rurales, observándose diferencias para un mismo ambiente según la ubicación del elemento estructural. En puentes ubicados en ambientes rurales se han detectado diferencias significativas entre la concentración medida sobre la calzada y la determinada debajo de ella, valores que van desde 385 ppm en la parte superior a 440 ppm en la parte inferior. En la Tabla 1 se informan algunos valores de concentración de CO_2 determinados en ambientes urbanos y rurales. Debe recordarse que la concentración depende del parque automotor, de la densidad poblacional y de la existencia de

un área industrial, siendo también significativa la influencia de los vientos la cual puede aumentar o disminuir la concentración de CO_2 .

El otro factor desencadenante del proceso de corrosión es la presencia de contaminantes agresivos, fundamentalmente el cloruro que puede ser incluido en el mezclado del hormigón y/o ingresar desde el ambiente exterior, en particular cuando la estructura este ubicada en ambientes marinos o cuando se emplean sales descongelantes en ambientes fríos; no debe olvidarse tampoco los problemas de corrosión debido a corrientes parásitas.

EDIFICIOS, VIADUCTOS Y PUENTES EVALUADOS

Las estructuras evaluadas en este trabajo corresponden a conjuntos habitacionales, edificios públicos y privados, viaductos y puentes, las cuales presentan características propias del patrimonio moderno, ubicadas en distintos ambientes (Tabla2).

Para la clasificación del nivel de daño por corrosión se emplea la propuesta por el Comité Eurointernacional du Béton [10] el cual califica a los daños de la siguiente forma:

Nivel A: signos iniciales de corrosión (manchas de oxido)

Nivel B: manchas de oxido y fisuras de espesor $<0,4$ mm

Tabla1: Valores medios y desviación standart (s) de concentraciones de CO_2 en ambiente urbano y rural.

Ambiente	Ciudad	Cantidad de hab.	Densidad poblacional (hab/Km ²)	Parque automotor (N°)	CO ₂ (ppm)	
					Medio	s
Urbano	Azul	62.996	53,05	23.898	393	2,1
Urbano	Bahía Blanca	295.600	134,18	102.486	413	9,2
Urbano	La Plata	650.000	585,20	310.000	405	1,8
Urbano	Tandil	120.000	21,91	39.712	420	7,5
Rural					378*	19,0

* Valores tomados en cerros de distintas alturas (de 100 m a 400 m sobre el nivel del mar)

Tabla 2: Estructuras Evaluadas.

Construcción	Año	Edad (años)	Ambiente	Nivel de Daño
Puente Gerardi, Gonnet	1916	95	Semi-urbano	B
Balneario Jockey Club, Punta Lara, Ensenada	1935-40	75	Semi-urbano	A
Puente Río Sauce Grande, Sierra de la Ventana	1937	73	Rural	--
Puente Cochenleufú, Pigüe	1937	73	Rural	--
Puente Río Sauce Grande, Ruta Nac. N° 3	1940	70	Rural	--
Puente Río Quequén Salado, Ruta Nac. N° 3	1940	70	Rural	--
Puente Río Las Mostazas, Ruta Nac. N° 3	1940	70	Rural	--
Edificio LEMIT, La Plata	1942	68	Urbano	A*
Viaducto Luján, Luján	1940	70	Urbano	--
Viaducto Sarandí, Avellaneda	1950	60	Urbano	B
Casa Curuchet, La Plata	1950	60	Semi Urbano	A
B° Gral. San Martín – CABA	1950	60	Urbano	A
B° Simón Bolívar – CABA	1953	57	Urbano	A
Esc. Agraria N° 801 "N. Ezeiza" Cnel. Vidal	1960	50	Rural	E
Puente Río Quequén Salado, Oriente	1960	50	Rural	A*
Sanatorio Anchorena, CABA	1940	70	Urbano	--
Puente Ferroviario 1 y 520, La Plata	1963	47	Urbano	--
Iglesia María Ignacia, Vela, Tandil	1964	47	Rural	D
Iglesia Santísima Eucaristía, Chivilcoy	1965	46	Urbano	--
Iglesia Ntra. Sra. del Carmen, Tandil	1965	46	Urbano	--
Puente Arroyo Chapaleufú, La Pastora	1966	45	Rural	--
Puente Canal 1, Ruta Nac N°11	1970	40	Rural	C
Conjunto habitacional, La Plata	1970	40	Urbano	--
Puente Arroyo El Perdido, Ruta Prov. N° 29	1975	35	Rural	B
Puente Arroyo Langueyú, Ruta Prov. N° 29	1975	35	Rural	A*
Puente Canal 11, Ruta Prov. N° 29	1975	35	Rural	A*
Puente Arroyo El Zapallar, Ruta Prov. N° 29	1975	35	Rural	B
Puente Río Salado, Pila	1975	35	Rural	A
Edificio LAL, Gonnet	1975	36	Semi-urbano	--
Conjunto habitacional, L. Piedrabuena - CABA	1975	35	Urbano	C
Iglesia del Carmelo, La Plata	1976	35	Urbano	--
Escuela Superior de Bosques, La Plata	1980	30	Urbano	C
Teatro Argentino, La Plata	1985	25	Urbano	--

* Corrosión localizada en sectores específicos de la estructura

Nivel C: desprendimientos del recubrimiento y fisuras de mayor espesor

Nivel D: reducción de la sección de las barras.

Nivel E: flexión y pandeo de elementos estructurales con reducción de la sección de las barras mayor a 10%.

De acuerdo a las inspecciones visuales realizadas y a los resultados de los ensayos surge que en muchas de las estructuras inspeccionadas, el hormigón se encuentra afectado por procesos de corrosión de las armaduras en sus distintas etapas. El 44% del total de las estructuras inspeccionadas no presentan procesos de corrosión, mientras que un 41% presenta manchas de oxido y fisuras con un espesor menor a 0,4 mm. El resto presenta signos de un nivel avanzado de corrosión. Si bien el número de estructuras no es elevado las mismas han sido elegidas al azar por lo cual los resultados obtenidos tienen un peso relativo importante.

El proceso de corrosión se ha desencadenado debido a la despasivación de las barras por carbonatación del recubrimiento, con excepción de dos (2) casos en los cuales se origina por la incorporación de cloruro de calcio como acelerador de la resistencia, situación rutinaria en Argentina hasta el año 1964 en el cual se limitó expresamente su uso.

Para la reparación de estructuras de hormigón debe determinarse primeramente si el nivel de

daño alcanzado no pone en riesgo la estabilidad estructural. Para la reparación se debe determinar cuáles son las propiedades de los materiales (hormigón y acero) y el grado de deterioro de los mismos mediante ensayos y determinaciones in situ o en laboratorio. Del análisis de los resultados se deberá evaluar cuál será el grado de intervención, si se desea volver al estado original o si alcanza con mantener el estado actual de deterioro, en esos casos el tratamiento y las técnicas a emplear serán diferenciadas. En la Figura 3 se esquematiza la vida de útil de una estructura considerando la vida ideal o de proyecto, la vida real (estructura con patología) y las formas de restauración o mantenimiento [8].

En lo que respecta a la estrategia a adoptar en el caso de la corrosión de la armadura existen distintas alternativas que pueden emplearse que van desde la restauración o preservación de la pasividad hasta la implementación de una protección catódica. En la Tabla 3 se indican los principios y métodos que pueden utilizarse, cuya selección dependerá de la causa que originó la corrosión y en el caso que el hormigón presenta patologías también deberá ser reparado conjuntamente a fin que el material hormigón armado pueda tener una vida remanente compatible con la vida de diseño de la estructura, cobrando importancia en este caso, el carácter patrimonial de la construcción.

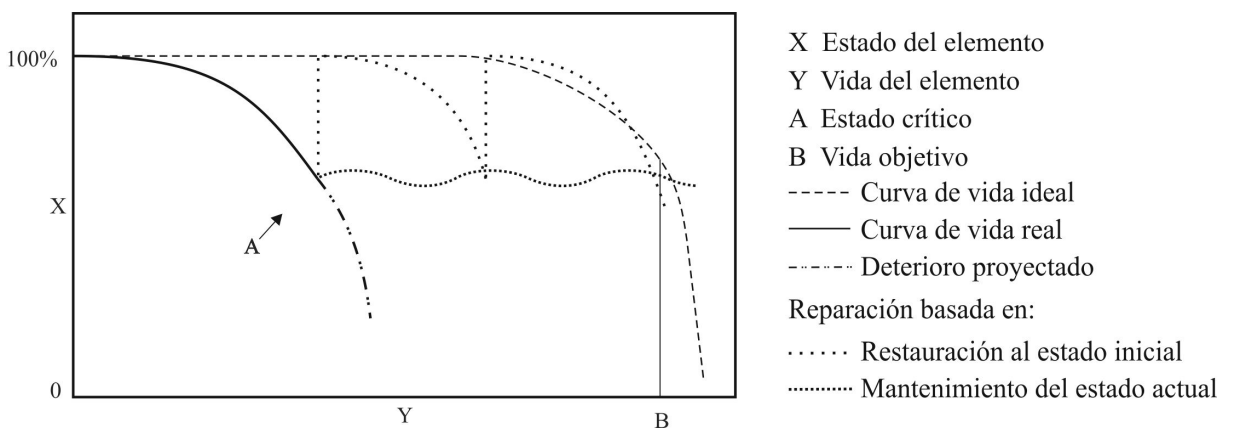


Figura 3: Esquema de vida útil de una estructura.

Tabla 3: Principios y métodos relativos a la corrosión de la armadura.

Principio	Método
Preservación y restauración de la pasividad	Aumento del espesor de recubrimiento con mortero u hormigón.
	Reemplazo del hormigón contaminado o carbonatado.
	Realcalinización del hormigón carbonatado.
	Extracción electroquímica de cloruros.
Incremento de la pasividad	Impregnación hidrófuga.
	Revestimiento.
Protección catódica	Aplicación de un potencial eléctrico.
Control de zonas anódicas	Revestimiento activo de la armadura.
	Revestimiento de protección de la armadura.
	Aplicación de inhibidores de corrosión en o sobre el hormigón.

CONSIDERACIONES FINALES

Los estudios y relevamientos de construcciones (edificios, iglesias, puentes, etc.) de hormigón armado que, por sus características integran el Patrimonio Moderno de la Provincia de Buenos Aires, indican claramente distintas situaciones en lo relativo a su comportamiento a lo largo de su vida en servicio, siendo la corrosión de las armaduras la temática más crítica a pesar que los ambientes de emplazamiento pueden considerarse como de agresividad media o mínima. En el relevamiento realizado el porcentaje de obras afectadas por corrosión (en todas sus etapas) alcanzó un valor elevado del orden del 56%.

El diseño estructural, que incluye la distribución arquitectónica y la selección ingenieril de las formas estructurales, tiene una significativa importancia, concepto que se aparta del enfoque tradicional que centra exclusivamente el comportamiento en servicio de las estructuras en la calidad de los materiales. Es conocido que los problemas de desagüe o estancamiento de agua, que se encuentran fuertemente vinculados con el diseño estructural, son factores determinantes en la durabilidad de las estructuras afectadas por procesos corrosivos. Los diseños simples y robustos de las estructuras originan, en la mayoría

de los casos, un comportamiento adecuado respecto a su durabilidad, situación que puede observarse en la mayoría de las construcciones de antigua data. Puede plantearse además, que en lo que respecta a la corrosión de las armaduras, se encuentra condicionada, entre otros factores, por la sensibilidad del acero a ser corroído y por la porosidad y espesor del hormigón de recubrimiento.

En la actualidad existen tecnologías apropiadas para reparar estructuras afectadas por corrosión o en su defecto mantener a través del tiempo la condición del proceso sin que el mismo incremente los daños relativos a la capacidad resistente, de funcionamiento o estética.

En casos extremos, en que el grado de corrosión presente una magnitud que hace irreversible técnica y/o económicamente la reparación y cuando la construcción revista un particular significado patrimonial, puede ser reconstruida totalmente preservando únicamente el espacio arquitectónico, como por ejemplo el edificio Normadie de la ciudad de Mar del Plata, construido a fines de la década de 1930, que por el grado de deterioro que presentaba y luego de numerosas intervenciones, se decidió en el año 2001 su demolición y posterior reconstrucción.

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Maldonado, N.G. et al. "Patología, durabilidad y calidad de hormigones para viviendas de interés social y la normativa nacional en zona de elevado riesgo sísmico". 16° Reunión Técnica AATH, Mendoza, Argentina, 2006.
- 2.- A. A. Di Maio, J.D. Sota & L.P. Traversa. "Patología de estructuras de hormigón. Análisis de algunos casos mas relevantes ocurridos en la Argentina en los últimos años". Proc. III Congreso Iberoamericano de Patología de la Construcción y V Congreso Iberoamericano de Control de Calidad. La Habana, Cuba, 1999.
- 3.- L.P. Traversa, A.Gioivambattista, A.A. Di Maio, & L. Eperjesi. "Performance of concrete structures in Argentine environments". Proc. Symposium Structures for the Future. The Search for Quality". IABSE, Río de Janeiro, Brasil, 1999.
- 4.- GEHO. Grupo Especial del Hormigón, Proc. Encuentro sobre Patologías de Estructuras de Hormigón. Boletín 10. Madrid, España, 1992.
- 5.- Dal Molin, D. "Fissuras en Estructuras de Concreto Armado: Análisis das manifestacoes típicas e levantamento de casos ocurridos no Estado do Rio Grando do Sul". Curso de postgrado, Universidad Federal de Rio Grando do Sul, Porto Alegre, Brasil, 1988.
- 6.- Traversa, L.P. "Evaluación y diagnóstico de Puentes de Hormigón Armando ubicados en ambientes rurales y marinos". 16° Reunión Técnica AATH, Mendoza, Argentina, 2006.
- 7.- Barbosa, M.R., Martinic, M. y Gassa, L.M. "Estudio comparativo del comportamiento frente a la corrosión de aceros lisos y torsionados de armaduras de Hormigón". Anales del XVII Congreso de la Sociedad Iberoamericana Electroquímica. Trabajo B-57, Buenos Aires, 2006.
- 8.- Traversa L., Villagran Zacardi Y., Iloro F., Marquez S. "Análisis de patologías detectadas en edificios de patrimonio moderno ejecutados en hormigón armado" PATORREB 2009, Porto, Portugal.
- 9.- Norma EN 1504-9. Setiembre de 2008.
- 10.- Comite Eurointernational du Béton (CEB). Bulletin N° 162.

ESTADO DE CONSERVACIÓN DEL EDIFICIO EX JOCKEY CLUB DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES EN PUNTA LARA, ENSENADA

CONSERVATION STATUS OF THE FORMER “EX JOCKEY CLUB OF THE PROVINCE OF BUENOS AIRES” BUILDING IN PUNTA LARA, ENSENADA

R. Delâge¹, R. Lofeudo², V.G. Rosato³

1.- CIC-LEMIT

2.- CIC-LEMIT

3.- Investigador Adjunto CONICET-LEMIT

RESUMEN

En el presente trabajo se realiza un análisis evolutivo de la construcción del Complejo Balneario del Ex Jockey Club de la Provincia de Buenos Aires, su morfología, las empresas actantes y el relevamiento de las patologías que presenta, luego de más de 75 años de estar emplazado en un ambiente altamente contaminado. El balneario se halla en la costa bonaerense del Río de La Plata, en la localidad de Punta Lara, Ensenada. Su construcción se enmarca en la arquitectura moderna recreativa de los años 30, proyectada por el Arquitecto Luís M. Pico Estrada en 1935 y reformulada por el Ingeniero Julio A. Barrios en 1940, quien también diseña la escuela, la unidad sanitaria y la comisaría dotando a ese poblado de un área cívica. Las ampliaciones y el mantenimiento del complejo fueron históricamente costeados por los ingresos de la actividad hípica, hasta que en 1993 el Club Universitario de La Plata compra las instalaciones luego de un período de inactividad. A partir de ese suceso todo lo pertinente a la conservación se ve reducido. Se han priorizado las mejoras en las instalaciones de uso, dejando de lado el resto de las dependencias que sufren en la actualidad algunos deterioros que pueden llevar en el tiempo a daños estructurales sino se reformula un proyecto de mantenimiento preventivo y correctivo.

Palabras clave: ex Jockey Club Punta Lara, características arquitectónicas, estado de conservación.

ABSTRACT

In the present work, an analysis has been done on the building of the Beach Club of the former “Jockey Club of the Province of Buenos Aires”, its morphology, the firms acting and the survey of its pathologies, after being placed more than 75 years in a highly polluted environment. The beach club is located on the right bank of Río de la Plata, in the town of Punta Lara, Ensenada. Its construction corresponds to the modern recreational architecture of the 1930’s decade, designed by the Architect Luis M. Pico Estrada in 1935 and reformulated by the Engineer Julio A. Barrios in 1940, who also designed the school, the health unit and the police station, thereby creating a civic area in the town. Historically, the costs of expansion and maintaining of the beach club had been paid by the equestrian activity, until in 1993 the “Club Universitario de La Plata” bought the facilities after an inactive period. Since then, conservation was significantly reduced. Priority was given to the improvement of the most heavily used areas, leaving aside the other units, currently with a deterioration degree that over time can cause structural damage, unless a preventive and corrective project is planned.

Keywords: *former Jockey Club, architectural features, conservation status.*

RESEÑA HISTÓRICA

La arquitectura Moderna Argentina de las décadas del 30 y 40, fue influenciada por el Racionalismo alemán que, en marcha hacia la desornamentación produce un alejamiento de la naturaleza de la mano de aquellas vanguardias que pasan de la figuración a la abstracción, de la simetría a la asimetría, de la decoración a la desnudez de adornos alejándose de frontis, columnas, cornisas y pilastras. La concepción espacial es protagonista de la obra ligándose al funcionalismo, privilegiando lo interior para llegar al exterior en el desarrollo proyectual [1].

Este modelo adoptado en Argentina se limita a cumplir una función sin pensar en los propósitos estéticos, confiriéndole un valor a los objetos y modelos que satisfacen las expectativas y exigencias, en una primera etapa, de los grupos sociales más distinguidos para luego convertirse también en la arquitectura que marcó las construcciones sociales en las décadas del 60 y 70.

Con el empleo del hormigón armado a cargo de las empresas alemanas, que en 1884 compraron las patentes francesas a Monjer y Hennebicque, y el crecimiento de la producción cementera argentina se iniciaron obras de envergadura desde

principio del Siglo XX. Ante la demanda de obras estatales, y el arribo de las constructoras como Wayss & Freitag A.G., Siemens Bauunion, y Philipp Holzmann, favorecidas por la importante expansión de capitales, crece la imagen de una Argentina próspera, fundamentalmente por la construcción de edificios de gran altura en la Ciudad de Buenos Aires.

Philipp Holzmann cuya filial en Argentina fue conocida como GEOPÉ (Compañía General de Obras Públicas) realizó en lenguaje Moderno, por ejemplo en la ciudad de La Plata, la Sede del Automóvil Club Argentino, y el Instituto Médico Platense, obras diseñadas por los Ings. Vilar y Barrios (1897-1964) respectivamente [2]. El Ing. Barrios fue un prolífero proyectista entre cuyas obras se destacan las Tribunas del Paddock y Popular, ambas en el Hipódromo de La Plata.

Un antecedente importante en la historia constructiva ha sido la teoría de Jean-Nicolás Louis Durand (1760-1835), que promueve la economía, la funcionalidad y la racionalidad como elementos utilizados en el siglo XX por la arquitectura moderna. La renovación de la ciudad moderna utiliza nuevos programas arquitectónicos que

incluyen hospitales, escuelas, estadios deportivos y centro de esparcimiento, como el caso de los clubes náuticos (Balneario Costa en Mar del Plata, Club Regatas de Concordia, el Club de la Marina en Olivos, o el Balneario Municipal de Olavarría).

BALNEARIO DE PUNTA LARA

Conjuntamente con el asentamiento de los primeros pobladores en la Ciudad de La Plata, los sectores sociales más adinerados emulan los paseos de los porteños al Tigre con los paseos a la Isla Santiago. Respecto a la recreación deportiva se inician los deportes vinculados a los caballos, ya que casi conjuntamente con la fecha fundacional de La Plata, se nombra una comisión el 11 de diciembre de 1882, para la construcción de un “circo de carreras”. Así nace el 4 de diciembre de 1884 el “Club de Carreras” (Jockey Club de La Plata), siendo el presidente honorario Don Santiago Luro, el mismo presidente del Jockey Club de Buenos Aires, fundado tan solo dos años antes.

El Estatuto del Jockey provincial data del 21 de abril de 1904 al fusionarse en una sola institución el Jockey provincial con el platense, momento en

que esta institución toma carácter de asociación civil con los fines de fomentar actividades sociales, culturales y deportivas; el interés de la actividad hípica y cría de pura sangre. Se crean entonces comisiones para la explotación del hipódromo, la revisión de cuentas, cultura y ciencias, actividades deportivas y de náutica-balneario.

El emblemático edificio sede en Punta Lara del Jockey Club de la Provincia de Buenos Aires (Imagen 1), fue proyectado en 1935 por el Arq. Luis M. Pico Estrada, bajo la presidencia del Doctor Uberto Vignart (1934-1953), siendo reformulado y ampliado hacia 1940 por el Ing. Julio A. Barrios. El Arq. Pico Estrada presenta también obras de interés dentro de la arquitectura moderna, como por ejemplo, la Tribuna Oficial para Socios del Hipódromo de La Plata, construido por la Empresa Polledo de la ciudad de La Plata, en el año 1934.

Ubicado en Camino Costanero Almirante Brown y altura de la calle 170 lindando con el Arroyo La Guardia, Punta Lara, partido de Ensenada, Provincia de Buenos Aires. Según los datos catastrales se corresponden al expediente J1-63 de la Ciudad de Ensenada, siendo el propietario actual



Imagen 1: Vista actual del Balneario desde la escollera.

el Club Universitario de La Plata. La superficie aproximada cubierta del edificio principal es de 4.000 m² y el edificio anexo de 542 m².

El Jockey se contaba como “uno de los más modernos balnearios en cuanto a su finalidad, solo comparable a los de igual categoría de las costas del Mediterráneo y el lago Geneve en Suiza [...] debería titularse Hotel de veraneo a orillas del mar, pues su destino, además de las otras actividades de carácter mundano y deportivo, es el de hospedar a los socios y las familias de los mismos con todas las comodidades y confort, inherentes a un hotel” [3].

Procurando otorgar un lugar de esparcimiento veraniego a sus asociados, el Jockey contrata la concesión de los terrenos que fueron originalmente propiedad de Tomás Bell, quien en 1892 transfiere los mismos a Luís Francisco Castells, y éste a la Sociedad Anónima de Crédito Hipotecario, que en 1924 las vende a Francisco Piria. La sucesión de Piria en 1941 vende las tierras del balneario y contrafrente hasta las vías del Ferrocarril Sud (ramal Pereyra-Ensenada) por un precio de \$ 3 por m², un total de \$ 284.335,00, siendo la superficie total de 94.778 m² [4].

Ubicación: La Reserva de Punta Lara, lugar donde se ubica el balneario, posee un clima templado-cálido debido a una acción atenuante de las bajas temperaturas que se produce en el estuario del Río de la Plata. Las temperaturas extremas de excepción se sitúan en unos 42°C la máxima y -4°C la mínima, siendo la media de 16°C. Las heladas son escasas y se producen en los meses de junio y julio y las precipitaciones superan levemente los 1.000 mm anuales.

Lo más destacable que posee de la Reserva es albergar el exponente más austral de las “selvas en galería” (Imagen 2) que bordean los ríos Paraná y Uruguay, con vegetación subtropical que llega al lugar por semillas -e incluso porciones de vegetales- transportadas por los ríos Paraná y Uruguay que luego se diluyen en las aguas del

Río de la Plata. Este fenómeno es muy común que suceda y es uno de los medios de traslación o dispersión que utilizan las semillas vegetales.

La zona presenta la típica característica de selva, con grandes árboles que mantienen la humedad de la atmósfera y del suelo, favoreciendo el desarrollo de vegetales inferiores y en el ambiente predomina la escasa luz.

Evolución constructiva: En la Tabla 1 se resumen las etapas constructivas en los distintos años, el profesional interviniente y la empresa constructora que intervino. Se observa, en una primera etapa, participó el Arq. Pico Estrada y, con posterioridad, a partir del año 1938, es el Ing. Barrios quien lleva adelante todas las modificaciones realizadas.

Materiales y Tecnologías constructivas empleados: En la construcción del Balneario se han utilizado los siguientes materiales y tecnologías característicos de la Arquitectura Moderna y de uso generalizado en las construcciones que se realizaban en la época:

- Estructura de hormigón armado (Imagen 3).
- Muros ladrilleros revocados y pintados en blanco en los interiores, y revestidos



Imagen 2: Vista de la Selva Marginal de Punta Lara desde el espigón del Balneario.

Tabla 1: Evaluación constructiva del complejo balneario.

Año	Etapas	Profesional	Constructoras
1935/36	Proyecto y ejecución del Complejo balneario	Arq. Luis M. Pico Estrada	Polledo Hnos & Cía
	Instalaciones eléctricas	---	E. Lix Klett & Co S.A.
	Provisión y colocación de vidrios	---	Vitrolite de Pilkington Brothers Ltda.
	Cemento Portland	---	Incor
1936/37	Ampliación del ala izquierda cilíndrica	Arq. Luis M. Pico Estrada	Polledo Hnos & Cía
1938/39	Ampliación de áreas de servicios, vestuarios, sanitarios, locales de servicios médicos, peluquería, administración, cabinas telefónicas y gimnasio	Ing. Julio A. Barrios	Danieri, Moirano & Cía
1940/41	Modificación del acceso principal	Ing. Julio A. Barrios	---
1941	Proyecto y construcción de la Iglesia Stella Maris	Ing. Julio A. Barrios	León Valli & Cía
1941/42	Cerramiento avanzado sobre la galería existente, dando lugar al salón comedor "De las Cañas"	Ing. Julio A. Barrios	---
1942	Construcción del edificio de Intendencia (pañol salas de máquinas)	Ing. Julio A. Barrios	León Valli & Cía
1942/45	Proyecto y construcción de pileta olímpica y murallón de contención	Ing. Julio A. Barrios	Carlos A. Ronco y Manuel Pereyra
1943	Relleno de 23.000 m ² de terreno frente a la playa de estacionamiento	Ing. Julio A. Barrios	---
1944	Proyecto y construcción de la Escuela y Colonia de vacaciones	Ing. Julio A. Barrios	Serafin Massi
1944	Proyecto y construcción del Destacamento de policía y Sala de primeros auxilios	Ing. Julio A. Barrios	Moirano
1944/46	Ampliación de terraza del salón comedor, dando lugar al salón de baile "El Barco"	Ing. Julio A. Barrios	---
1963	Ampliación del ala de vestuarios en planta alta y baja	Ing. Julio A. Barrios	Omar A. Grasso
1949/70	Proyecto y construcción y Casa de pesca "Uberto Vignar"	Ing. Julio A. Barrios	Santospago y Di Renzo
1990	Cambio de instalaciones eléctricas	---	SEGBA

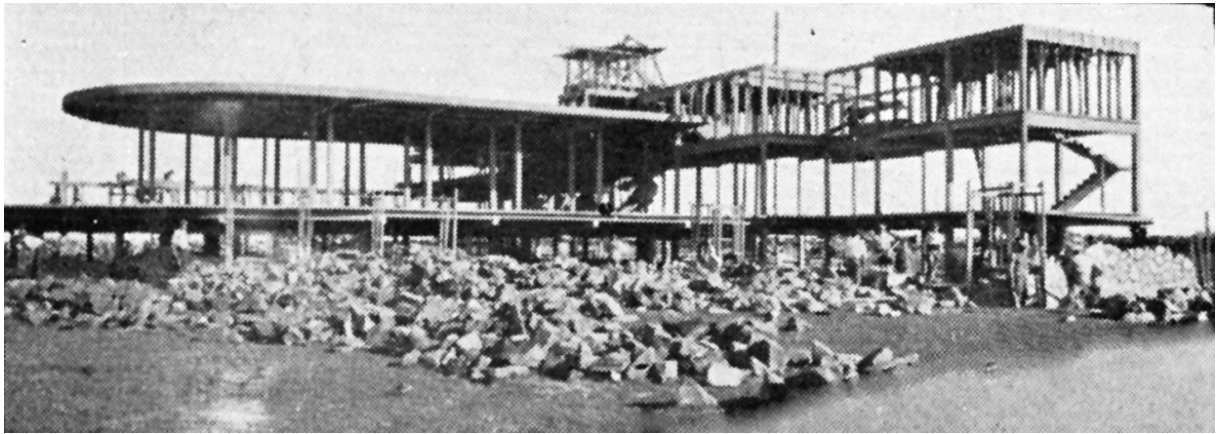


Imagen 3: Construcción de la estructura (vista desde el río). Circa 1935.

con revoque símil piedra en el exterior (actualmente pintado).

- Desagües pluviales de hierro fundido.
- La cubierta del “Barco” es a libre escurrimiento, compuesta por una estructura de madera con placas de un material de características similares a las del aglomerado actual. Culmina con un recubrimiento asfáltico a modo de hidrófugo (se podría suponer que con este sistema constructivo se lograba una cubierta liviana, adaptable a una forma determinada, evitando generar sobrecargas a la estructura existente, además de posibilitar una rápida ejecución y un ahorro de materiales y mano de obra).
- Solados de granito reconstituido en general, excepto en el salón de baile que fue realizado con un entablonado de madera tarugada.
- Carpintería de perfilería de hierro con paños vidriados planos y curvos, o de bronce en los ojos de buey (Imagen 4).
- Pasarelas y escaleras de hormigón armado (Imagen 5).
- Murallas de contención de mampostería de roca con junta tomada. La piedra es una roca granítica de la zona de Olavarría.

Características arquitectónicas: La sede náutica es un característico ejemplo de la arquitectura de recreación de los años 30. Podríamos citar

también a modo de ejemplo y dentro del mismo municipio el Club YPF de 1940 proyectado por su propia Oficina Técnica; y el Club de Regatas, de 1941, proyectado por el Ing. José Bonilla en el Río Santiago, con un lenguaje similar.

La libertad que permitió el “programa arquitectónico de necesidades” facilitó a los proyectistas realizar una experimentación en el uso de las formas como así también utilizar un sinnúmero de elementos característicos del Yacht Style o Estilo Náutico tales como: mástiles, ojos de buey, ventanas apaisadas, barandas curvas, voladizos, volúmenes, puentes, proas, escaleras helicoidales, pilotes, planos, líneas, todo con la característica tonalidad blanca (Imágenes 6 y 7).

Es sabido que la Arquitectura Moderna negaba todo tipo de referencia con la antigüedad clásica, hallando la mimesis en los artefactos, “las máquinas”, de la modernidad: los automóviles, los barcos, los aviones.

El edificio se encuentra emplazado de forma paralela a la Avenida Costanera Almirante Brown y al Río de La Plata, con orientación NE sobre el río y SO sobre el acceso. Acompañando el paisaje de llanura, predomina una gran horizontalidad. Solo la presencia de algunos volúmenes, correspondiente a los tanques de reserva de agua,



Imagen 4: Ojo de buey.



Imagen 5: Escalera helicoidal.



Imagen 6: Vista lateral derecha.



Imagen 7: Vista lateral izquierda.



Imagen 8: Vista actual desde el río.

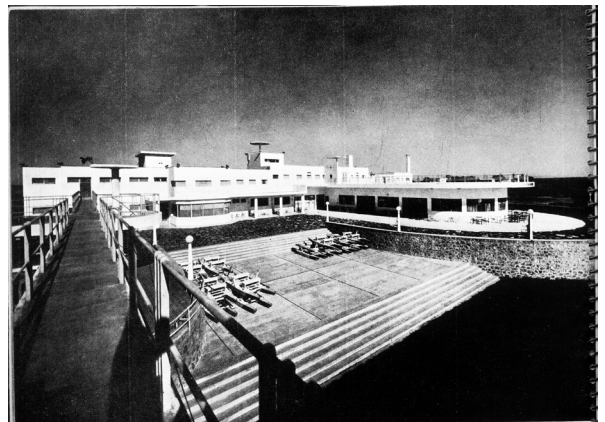


Imagen 9: Fotografía de época en la cual se observa la llegada de la explanada hasta la playa.

el tambor correspondiente a la zona de dormitorios, en uno de sus extremos, y el volumen de la escalera rompen mínimamente con esta característica [5].

Es importante el predominio de “llenos” por sobre los “vacíos” en el edificio que se encuentra negado hacia la Avenida Costanera, brindando sus mejores vistas hacia el río, donde se observa la importante volumetría que avanza con el Salón Comedor y con “El Barco”, que paradójicamente su cubierta se asemeja a la quilla de una embarcación invertida (Imagen 8). Cabe destacar que en la intervención del Ing. Barrios se rellenan los suelos para ganarle territorio al río, perdiéndose así la bajada directa a las arenas desde el salón comedor y desde las pasarelas (Imagen 9).

Tal como es característico en esta arquitectura el edificio carece de simetría, como así también de basamento y desarrollo, solo una serie de volúmenes de los que se hicieron referencia hacen las veces de remate o coronamiento. Posee una estructura compositiva simple, una especie de paralelepípedo rectangular.

En cuanto al partido adoptado, el esquema implementado es una tira de doble crujía, encontrando en su parte media el acceso principal de “espacios servidos”, que cuenta con el Hall de acceso, un Salón de Recepción, el Comedor Principal, Salón de Baile denominado “Barco”. A ambos lados y en ambas plantas se distribuyen los apoyos de los “espacios sirvientes” (vestuarios, sanitarios, cocina, lavaderos, etc). Es importante destacar que en todo el conjunto se observan, en cada uno de sus componentes, detalles de búsqueda de diseño, aún en lo más nimio, como sus cabinas (Imagen 10).

El edificio de la intendencia, anexo utilizado como área de mantenimiento, se encuentra ubicado próximo a uno de los accesos vehiculares (hoy en desuso), y a las canchas de tenis del complejo. Consta de: planta baja (depósito, taller, sanitarios y cámara de Edelap), primer piso (salón, habitaciones, dormitorio, depósito y azotea),



Imagen 10: Cabina de acceso.

segundo piso (vivienda) y tercer piso destinado a una azotea. Cuenta también con los elementos característicos de la Arquitectura Moderna, que lo emparentan con el edificio principal, repitiendo el tratamiento de la fachada en textura y color, como así también en los elementos caracterizantes: volúmenes curvos, pilotes, ojos de buey, vidrios curvos, barandas, etc.

La escala de la construcción permitiría en otro contexto y lugar, ser visualizada como una vivienda multifamiliar con un lenguaje propio del movimiento moderno, emplazada en un terreno urbano o residencial.

Parquización del predio: Hay cerca de veinte especies de árboles, muchos de los cuales provienen de la selva misionera siendo el río Uruguay más transportador de semillas que el Paraná. Se observa más especies características de las selvas en galería del primero que de este último.

A pesar de la gran diversidad de especies autóctonas, en la parquización, se utilizaron principalmente especies exóticas, como el “Cedro del Líbano” (*Cedrus libanii*) del Cercano Oriente y el “Cedro del Atlas” (*Cedrus atlantica*) del norte de África. También hay numerosos “Álamos” (*Populus sp*) y “Sauces” (*Salix babylonica*),

“Fresnos” (*Fraxinus americanus*) y los cercos de *Thuya*, que se emplearon para separar distintos sectores, y también para enmarcar los bancos del frente.

Debemos también mencionar otras especies como las plantas de “Espumilla” (*Lagerstroemia indica*) y demás ornamentales como *Magnolia*, “Plumerillo” (*Calliandra tweedei*), *Acer*, etc. En la plantación original también se incluyeron árboles de *Eucalyptus* y ligustros (*Ligustrum*). Esta última especie se ha reproducido con abundancia en la zona, y es una planta invasora que, junto con la zarzamora (*Rubus* sp.) están amenazando la vegetación remanente de la selva marginal, protegida en el área de la reserva. Originalmente, las únicas plantas autóctonas incluidas fueron el “Palo borracho de flores rosadas” (*Chorisia speciosa*) y la “Anacahuita” (*Blepharocallix tweedei*) [6].

Muelle de pescadores “Uberto Vignart”: El predio del balneario linda con el arroyo de La Guardia y culmina en la casa de pesca y el muelle. Esta casa “de pesca” es un chalet de dos plantas, de mampostería de ladrillos (vistos y revocados), con cenefas de madera y techo de tejas coloniales (Imagen 11). Conforman el arranque al muelle de pescadores iniciado en 1949 y culminado en 1970, de 500 metros de largo por 2,80 metros de ancho [7].



Imagen 11: Casa de pesca.

ESTADO DE CONSERVACIÓN

Al momento de construirse e inaugurarse esta sede náutica, ya existía la Destilería Ensenada de YPF, cuya construcción se finalizó en diciembre de 1925. En una primera etapa tenía 80 hectáreas y su personal estable sumaba unas pocas decenas de técnicos y operarios; luego se amplió a una superficie de 300 hectáreas y 1.000 empleados, aproximadamente. A fines de los años 50, YPF firma un convenio con la Administración General de Puertos, por la que se entregó a la petrolera, entonces estatal, el uso exclusivo del 70% de las instalaciones portuarias, lo que significó un gran incremento en la producción, pero también en los niveles de contaminación en la región.

El desarrollo industrial del Puerto continúa en 1952 cuando se instala la fábrica militar de ácido sulfúrico y, en 1953, al inaugurarse el 12 de setiembre las instalaciones de Astilleros y Fábricas Navales del Estado (AFNE), hoy Astilleros Río Santiago. Más adelante, en 1960, comienzan las obras de construcción de la planta petroquímica IPAKO y en 1963 nace el proyecto para la construcción de la planta Propulsora Siderúrgica, actualmente SIDERAR. La autorización respectiva llegó en 1967 a través del Decreto N° 1296; un año después se había realizado el dragado para la terminal, y el material de refulado fue aprovechado en piletas primarias y secundarias para elevar el nivel del terreno.

Luego se construyó una planta de laminado en frío y por último se construyó el muelle del atraque. La instalación de nuevas industrias continúa con la inauguración de Petroquímica General Mosconi en 1974; la planta de Polibutenos (única en Iberoamérica) en 1981; la planta de tratamiento de carbón de petróleo COPETRO S.A. en 1983 y por último PETROKEN Petroquímica Ensenada S.A., que comenzó a funcionar en 1992.

Toda esta actividad industrial condujo a que la región quede expuesta a la acción de los efluentes líquidos y gaseosos que, en caso de no respetarse

las normas de control y las leyes vigentes, pueden afectar a los habitantes, la flora, la fauna y también a las construcciones.

El elemento constitutivo por excelencia de todas las edificaciones del complejo de la sede náutica es el hormigón armado. La degradación de los hormigones puede responder a diferentes causales (proyecto, materiales, mano de obra) o a la alteración por la interacción con el medio de emplazamiento (ataques químicos o bióticos). A pesar del clima costero, el estado de conservación del edificio puede plantearse como aceptable, presentando, sin embargo, algunas patologías no generalizadas en todos los edificios.

En términos generales puede plantearse que los muros no presentan humedades ascendentes por efecto de la capilaridad, pero los sótanos se inundan por permeabilidad en períodos de creciente del río cuando la napa freática se eleva. Esto implica un riesgo de corrosión de las armaduras al existir un porcentaje óptimo de humedad para que se desarrolle el proceso corrosivo.

También, se han observado filtraciones de agua de lluvia acumulada en las terrazas, ya sea por los desagües taponados o por las fisuraciones de los solados. Puede observarse que por el ingreso de agua ha colapsado el material dejando expuestas las armaduras que presentan un proceso corrosivo. Se realizaron algunas intervenciones mediante el empleo de membrana asfáltica, originando, por ejemplo, en la zona denominada “El barco” una deformación en su cubierta por la múltiple superposición de las mismas que desdibujan la forma original.

En otros sectores se observan fisuras entre el edificio original y la posterior ampliación del ingeniero Barrios hacia 1960 (Imágenes 12 y 13), que pueden atribuirse a movimientos diferenciales de suelo, originado tal vez por el relleno de la playa con el fin de ganar terreno al río. La fisura más significativa se desarrolla como una línea continua desde el suelo, afectando la pileta olímpica y el

anexo de vestuarios.

Además, durante las ampliaciones y nuevas construcciones realizadas en tiempos del Ing. Barrios se ha cuidado de resguardar el lenguaje moderno de la construcción, sin embargo algunas intervenciones posteriores resultan incompatibles estilísticamente. Un caso significativo es el adosamiento de un quincho en la medianera del edificio de intendencia y la galería adosada al comedor de planta baja rompiendo con la línea náutica original que le da una impronta propia a la construcción.

En la terraza, sobre el techo de fibra de vidrio, se observó el crecimiento de líquenes y helechos y de otras plantas en las fisuras existentes, lo cual sucede también en la canaleta del desagüe de la pasarela que va a la pileta de natación (Imágenes 14 y 15). Esta situación origina en ciclos de mojado y secado un riesgo de desprendimientos y caída de material debido al incremento del espesor de las fisuras y posibles crecimiento y/o aparición de nuevas fisuras.

Un caso interesante de señalar, es que sobre la mezcla asfáltica que cubre el muelle se observa una fuerte colonización biológica, fundamentalmente, de líquenes (Imagen 16). En los pilotes del muelle se observa una significativa degradación por erosión, ocasionada talvez en el movimiento diario del agua del río como así también la presencia de mejillones dorados, especie exótica en las aguas del Río de la Plata, que pueden provocar algún daño superficial al hormigón (Imagen 17).

EDIFICIOS DONADOS POR EL JOCKEY CLUB DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

El poblado de Punta Lara ve modificado su estilo de vida cuando, con intencionalidad urbana, se inician las construcciones donadas por las autoridades del Jockey, para dotar al lugar de una serie de edificios a través de la Avenida Costanera Almirante Brown a modo de cordón cívico. A



Imágenes 12 y 13: Fisuras en la ampliación del edificio principal.

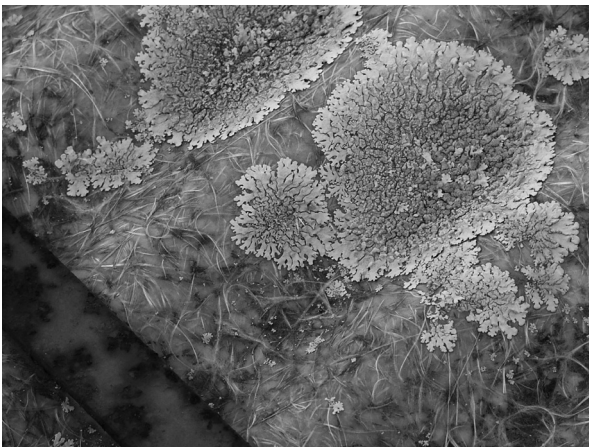


Imagen 14: *Xanthoparmelia farinosa*.



Imagen 15: Vegetación invasiva en canaletas.



Imagen 16: *Lecanora albescens*.

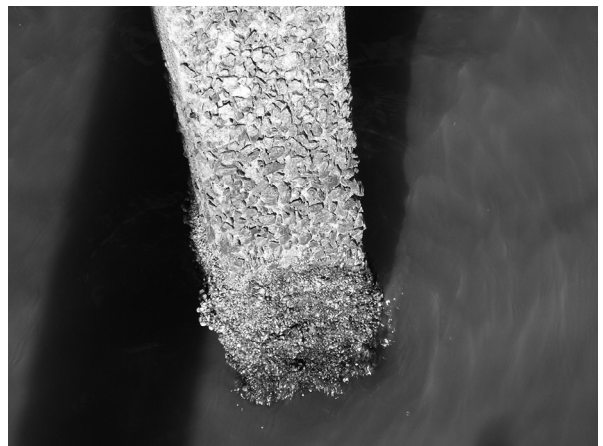


Imagen 17: Mejillones dorados.

partir de que la Asamblea General Extraordinaria de 1941 expresa el deseo de brindar así una serie de servicios a la comunidad tales como culto, educación y recreación, salud y seguridad. Dichos proyectos fueron realizados por el Ing. Julio A. Barrios en lenguaje pintoresquista californiano.

- La iglesia Stella Maris y casa parroquial fueron construidas en 1941 por la Constructora León Valli & Cia. Estas construcciones fueron puestas en valor durante el año 2011.
- La Escuela y Colonia de Vacaciones fueron construidas en 1944.
- El Destacamento de Policía y sala de primeros auxilios que guardan el estilo de la Iglesia y la Escuela, fueron inauguradas también en 1944.

CONSIDERACIONES FINALES

Del análisis histórico arquitectónico del Complejo Balneario Punta Lara, cuya construcción se enmarca en la Arquitectura Moderna recreativa de los años 30, surgen algunas consideraciones generales. Puede plantearse que el edificio presenta un estado de conservación aceptable, a pesar de encontrarse en un área que por la actividad industrial que se realiza en sus proximidades debe definirse como altamente agresiva hacia las estructuras de hormigón armado.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen por la colaboración brindada para la ejecución del presente trabajo al Arq. Jorge Mele; Señor Federico Pistolesi (Intendente de la Sede Náutica del Club Universitario); Arq. Martín Ostinelli y a las Autoridades Directivas del Club Universitario de La Plata.

REFERENCIAS

1.- Delâge, R. Monografía final “Patrimonio La Plata y su Arquitectura Moderna en la visión del Ing. Francisco belvedere”. Anales LEMIT, 2009.

Una de las patologías que presentan las distintas construcciones que integran el Balneario es el inicio de un proceso de corrosión de las armaduras que, por la antigüedad que presenta, no puede considerarse como muy significativa. Sin embargo, es necesario para evitar inconvenientes mayores, proceder rápidamente a su reparación. También, debe plantearse la existencia de algunas fisuras, fundamentalmente, en la unión de construcciones antiguas y nuevas por lo cual habría que realizar algunas tareas de mantenimiento en particular el sellado de las mismas, ya que son un lugar ideal para el crecimiento de plantas con las consecuencias ya mencionadas de incremento de su espesor en ciclos de mojado y secado.

Como conclusión final puede plantearse la necesidad de realizar un estudio integral que involucre a distintas disciplinas con el fin de analizar no solo el Edificio a que se refiere el presente trabajo, sino a todo el entorno del mismo, como un conjunto de construcciones integrado por la iglesia, la escuela, y el destacamento policial dentro del paisaje ribereño natural (selva, costa, río), para darle una fuerte identidad como área costera de recreación y característica de un determinado periodo histórico de la región.

- 2.- Liernur, J.F. Arquitectura en la Argentina del siglo XX. La Construcción de la Modernidad. Ediciones del Fondo Nacional de las Artes. Ciudad de Buenos Aires, 2008.
- 3.- Auge, M. Agua Subterranea, Deterioro de Calidad y Reserva. Publicación informática. Buenos Aires, 2006.
- 4.- A.A.V.V. Jockey Club de La Provincia de Buenos Aires, Memoria y Balance, Presidencia del Dr. F. Vignart. Editorial El Libro. La Plata, 1942.
- 5.- A.A.V.V. Informe sobre la Sede Náutica. Edición de la Comisión de Cultura del Club Universitario de La Plata. La Plata, 1998.
- 6.- Capeli, L., Ceppi, N. Árboles de La Plata, Los Forestales de los Jardines de La Plata y Balneario de Punta Lara. Ediciones del Jockey Club de la Pcia. de Bs. As. La Plata, 1941.
- 7.- Mónzón, N. Jockey Club de La Plata a 100 Años de su nacimiento. Colección textos de La Memoria. Ediciones La Comuna: Dirección General de Cultura y Educación de la Municipalidad de La Plata. La Plata, 2004.

DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE MORTEROS DE LA ENVOLVENTE DEL MUSEO DE CIENCIAS NATURALES DE LA CIUDAD DE LA PLATA

DETERMINATION OF MORTAR COMPOSITION ON THE EXTERNAL COATING OF THE NATURAL SCIENCE MUSEUM, LA PLATA CITY.

L.P. Traversa¹, F.H. Iloro² y S. Marquez³

1.- Investigador Emerito CIC-LEMIT. patrimonio@lemit.gov.ar

2.- Personal de Apoyo CIC-LEMIT

3.- Personal de Apoyo CIC-LEMIT

RESUMEN

En tareas de restauración de edificios de valor patrimonial, es necesario conocer la composición de los morteros existentes para emplear en la sustitución y/o reparación de los sectores afectados un material de composición y comportamiento elástico-resistente semejante al original, sumado esto a otras características como color, rugosidad, etc. En este trabajo se presentan los estudios y experiencias realizadas para la evaluación de los morteros endurecidos correspondientes a los revoques de las fachadas del Museo de Ciencias Naturales de la ciudad de La Plata. La evaluación de los morteros endurecidos tiende a determinar mediante ensayos, la proporción entre el ligante y el árido empleado como así también el tipo de ligante utilizado y la mineralogía y el tamaño de las partículas de los áridos empleados.

Palabras clave: *morteros, proporciones, ligante, arenas.*

ABSTRACT

In the restoration of heritage buildings, it is necessary to know the composition of original mortars, in order to employ, for its replacement and/or repair, materials with similar composition and elastic resistance, added to other features such as color, roughness, etc. This work presents the studies and experiences performed in the evaluation of hardened mortars from the external walls and niches of the Natural Science Museum in the city of La Plata. Through specific tests, the evaluation of hardened mortars has the aim of determining the ratio between the binder and aggregate used, as well as the type of binder and the mineralogy and particle size of aggregates.

Keywords: *mortars, ratio, binder, sands.*

INTRODUCCIÓN

El mortero es una masa compuesta fundamentalmente por material ligante, arena y agua, que se ha empleado y se utiliza actualmente para unir piedras o ladrillos, alisar superficies y proteger a las mamposterías. El conocimiento profundo de los morteros se remonta al Imperio Romano, siendo, sin embargo, diversas las civilizaciones que los han empleado con anterioridad. En excavaciones realizadas en Jericó se han encontrado casas construidas con ladrillos y pisos ejecutados con morteros de cal. Granos de cereales presentes en el mortero han permitido datarlo alrededor de 7.000 años antes de Cristo (técnica de ^{14}C) [1].

Cuando los albañiles de la antigua Roma hablaban del mortero (*mortarius*) se referían a la gaveta en la que se mezclaba y transportaba la cal y la arena, sin embargo, poco a poco la palabra fue designando no al recipiente sino a su contenido. En la fabricación de los morteros de cal se han seguido las enseñanzas que Marco Vitruvio Polión estipuló en el Libro II de Arquitectura, Capítulos 4 y 5. Vitruvio, arquitecto y tratadista romano del siglo I a.C., plantea que después de apagar la cal el mortero se debe ejecutar de la siguiente forma: “si la arena fuere de mina (se explota subterráneamente entre las formaciones geológicas), a tres partes de ella se pondrá una de cal, y si fuere de río ó mar a dos partes de arena, una de cal: esta es la regla que debe seguirse en la composición del mortero. Si a la arena de mar o río se añadiese una tercera parte de polvo de ladrillo cocido, hará una mezcla de mucho mejor calidad” [1]. Estas recomendaciones son las que se han seguido para la elaboración de los morteros por muchos años, prácticamente hasta la actualidad.

Puede definirse a la cal como un material calcinado capaz de reaccionar con el agua, constituido por óxido e hidróxido de calcio y/o magnesio con cantidades moderadas de compuestos silíceos o aluminosos. Según la naturaleza y cantidad de los compuestos formados durante su cocción la

cal será capaz de endurecer en el aire y/o en el agua, lo cual permite su clasificación en aéreas e hidráulicas respectivamente [2]. Desde principio del siglo XX el ligante en los morteros puede ser también el cemento Portland o una mezcla de cal y cemento lo cual da origen a los morteros denominados híbridos.

Es conocido que todos los materiales presentan distintos procesos de alteración a través de su vida en servicio. Este proceso se acentúa como consecuencia del emplazamiento de las construcciones, ya que su alteración depende no sólo de la calidad original de los materiales empleados sino también y fundamentalmente de las condiciones ambientales en las que se encuentran expuestos. Cuando se ha empleado cal o un material cementíceo, su degradación ocurre cuando existe humedad ascendente o descendente, por lo cual los productos hidratados se lixivian, generando un material deleznable.

Cuando las aguas ascendentes contienen sulfatos pueden ocurrir procesos físicos y/o químicos de alteración. El proceso físico por cristalización de sales incrementa las tensiones de tracción en el material, en tanto que el químico, origina sulfoaluminatos que tienen un mayor volumen que los productos originales y, en consecuencia, también, se fisura y se altera el material (Imagen1).



Imagen 1: Vista de revoques alterados por circulación de aguas sulfatadas.

En los revoques de cal de los paramentos, el hidróxido de calcio se carbonata en contacto con la atmósfera, situación que origina un medio con un pH menor o próximo a 10, que resulta ideal para ser colonizado por líquenes de diversas especies que los afectan tanto química como físicamente (Imagen 2). Los morteros ubicados en atmósferas industriales o urbanas con un alto grado de contaminación, principalmente de compuestos de azufre y óxido de nitrógeno, también, presentan alteraciones por reacciones químicas.



Imagen 2: Vista de un macetero, con sectores colonizados por líquenes.

En los morteros de cal, puede ocurrir que los mismos presenten luego de un período de vida en servicio, reventones generalizados de pequeño diámetro, originados en la hidratación lenta del óxido de magnesio presente como contaminante en algunas calces. En las calizas puede existir como impureza CO_3Mg , en pequeñas cantidades pero al sobrecalentarse en la calcinación a 900°C , la hidratación del óxido de magnesio se dilata en el tiempo aproximadamente 3 meses. Esta situación genera que cuando se hidrata dentro de una masa cálcica endurecida se generen tensiones de tracción que provocan reventones y fisuras en el revoque.

MORTEROS DE CAL

Los morteros de cal se obtienen mezclando cal, arena, agua y en algunos casos otras sustancias en menor proporción, siendo la relación cal/arena, en peso, más empleada en morteros antiguos de 1:3 [1]. En la Argentina, particularmente para las construcciones en la región próxima al Río de La Plata, la cal fue primero importada desde Europa y, con posterioridad, traída desde el interior del país por ejemplo de Córdoba; debe mencionarse que desde el siglo XVII y hasta muy entrado el siglo XX existen antecedentes de explotación de caleras y yacimientos de conchillas en los albardones hacia los bañados de Ensenada, cuyo procesamiento se efectuaba en hornos instalados en la actual zona del Bosque y sus alrededores [3].

La calcinación de las calizas se ha realizado originalmente en hornos verticales que consisten en construcciones circulares u ovoides de aproximadamente 2 o 3 m de diámetro y 8 m de altura, las cuales son cargadas alternativamente con rocas trituradas con tamaños comprendidos entre 6 y 8 cm y con el combustible que puede ser carbón o leña. En la actualidad se emplean hornos rotativos, tecnología adoptada de la industria del cemento Portland.

La cal fue utilizada en Córdoba, antes de 1586, pero en Buenos Aires, su uso comienza a difundirse en el siglo XVII, como consecuencia de la construcción

de grandes obras como el Cabildo y la Catedral. Existen antecedentes sobre la utilización de tres tipos diferentes de cales: la de conchilla, de la zona de Magdalena, la de Montevideo y la isla Martín García, y la Córdoba. En el año 1887, existían 5 fábricas en la zona de la ciudad de Buenos Aires[3].

En el año 1884, el Dr. Juan Biolet Massé construyó el horno “La Primera Argentina”, para la fabricación de parte de las cales hidráulicas que se utilizaron para la construcción del muro del dique San Roque, Córdoba, el cual fue demolido en parte para la construcción del nuevo dique, sin embargo todavía puede observarse durante las bajadas del embalse los restos del primitivo paredón, lo cual indica la aceptable vida útil del material (Imagen3). En la Provincia de Buenos Aires las principales productoras de cales a principios del siglo XX estaban ubicadas en la localidad de Sierras Bayas, Olavarría, las cuales actualmente conforman un circuito turístico industrial (Imagen 4).

En la ciudad de La Plata para la construcción de los grandes edificios (Departamento de Ingenieros, Ministerio de Gobierno, Ministerio de Hacienda, Casa de Gobierno y Legislatura) la cal empleada corresponde cerca de un 95% a cal apagada y el resto a cal viva. También, en los citados edificios se emplearon cementos citándose cuatro variedades: tierra romana, puzolana, cemento Portland y cemento hidráulico, representando el primero de ellos cerca del 80% del total [3].

En Argentina la primera experiencia para la fabricación de cemento fue en el año 1872 en Punta Barraca, en Alberdi sobre el Río Paraná, donde Tomás N. Furth instaló una fábrica de cemento, obteniendo un producto denominado “Tierra Romana” a partir del empleo de tosca y tosquilla de las barrancas del río. Este primer intento fue abandonado sin trascendencia, no se sabe si por falta de calidad o por dificultades de comercialización.

En el horno de cal tiene lugar el proceso de descarbonatación de la piedra caliza o dolomía en



Imagen 3: Vista del horno “La Primera Argentina” construido en el año 1884. Provincia de Córdoba.



Imagen 4: Vista de ruinas de la calera Victoria. Sierras Bayas. Provincia de Buenos Aires.

óxido de calcio o magnesio (cal viva) y dióxido de carbono. Para apagar la cal se agrega agua, formándose hidróxido de calcio (portlandita) o de magnesio (brucita). Este material se mezcla con agua y arena para conformar el mortero. La evaporación de parte del agua de mezclado y la reacción del hidróxido de calcio formado en primera etapa con el anhídrido carbónico del aire, regenera el material de origen y el mortero adquiere lentamente resistencia. La formación en la superficie del mortero de una capa de carbonato de calcio hace que el mismo sea prácticamente insoluble, ya que el hidróxido de calcio original tiene una solubilidad 40 veces mayor que el carbonato, por lo cual es fácilmente lixiviado. Debe recordarse que la solubilidad en agua del hidróxido de calcio es de 1,3 g/litro mientras que la del carbonato es de 0,03 g/litro.

Si la piedra caliza original contiene impurezas (sílice, aluminio, hierro), en el horno se generan aluminatos y silicatos que son similares a los del cemento Portland, dando origen a una cal hidráulica, cuya mayor o menor hidraulicidad dependerá del porcentaje presente de aluminatos y silicatos. Las cales hidráulicas se obtienen de rocas constituidas por carbonato de calcio y silicatos de aluminio hidratado ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$), en una proporción mayor al 5%.

La calcinación de este tipo de rocas alcanza los 1200°C, ocurriendo procesos diferenciados a distintas temperaturas; la sílice y la alúmina, productos de la descomposición de las arcillas, entre 500 y 650°C se combina con el óxido de calcio disociado a 900°C. El apagado de estas cales es un proceso crítico ya que durante el mismo pueden hidratarse los compuestos silico aluminosos cálcicos perdiendo el producto sus propiedades.

En este tipo de cales el contenido de arcilla influye en la duración del fraguado y en la resistencia de rotura a compresión que puede alcanzar el mortero. En una cal aérea con 0% de arcilla, el fraguado se alcanza recién a los 6 meses, mientras

que una débilmente hidráulica (5-8% de arcilla), medianamente hidráulica (8-14% de arcilla), hidráulica (14-19% de arcilla) o eminentemente hidráulica (20-22% de arcilla) se alcanza a los 15-30 días, 10-15 días, 2-4 días y menos de 2 días respectivamente.

En la Figura 1 se representa esquemáticamente el proceso de obtención de cales aéreas cálcicas e hidráulicas.

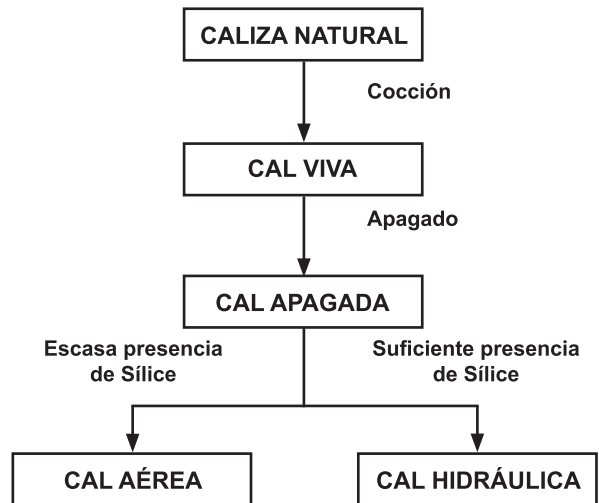


Figura 1: Esquema de elaboración de cales aéreas e hidráulicas a partir de piedra caliza.

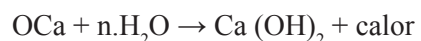
En el proceso de calcinación de la roca caliza ocurre la siguiente reacción química:



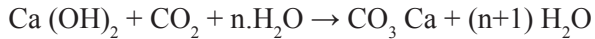
Si la roca que se calcina corresponde a una dolomita el proceso de calcinación es el siguiente



En el proceso de apagado con el cual se obtiene la cal viva, ocurre para una cal cálcica el siguiente proceso, que es similar al de una cal magnésica en el cual el hidróxido de calcio se reemplaza por hidróxido de magnesio.



En el endurecimiento de una cal área cálcica ocurre el siguiente proceso químico, para el cual es necesario la presencia de anhídrido carbónico aportado por el medio ambiente y agua de mezclado.



En el área de influencia de la ciudad de Buenos Aires los agregados empleados en una primera etapa han sido las arenas naturales sílice-feldespáticas del Río Uruguay y con posterioridad las síliceas del Río Paraná. En las zonas productoras de piedra partida granítica, en particular Olavarría, se ha utilizado en las mezclas de asiento arenas de trituración remanentes del proceso de obtención de los agregados gruesos.

En las construcciones ubicadas sobre el litoral del Río de la Plata, por ejemplo las edificaciones monumentales de la ciudad de La Plata, entre los años 1883-1910, como así también en las viviendas familiares, se han empleado arenas naturales con porcentajes variables de conchillas obtenidas de yacimientos existentes en sus proximidades originados en la última ingresión marina del Pleistoceno-holoceno. Estos yacimientos están constituidos por arenas y fragmentos de valvas de moluscos marinos en proporciones que varían si el lugar de extracción corresponde a la fase de cordones o a la de la llanura de marea. Los depósitos de conchillas están en parte cementados y la edad de los mismos sería del orden de 4000 A.P. [4]. En lo que respecta a las cales, las mismas eran en parte traídas desde la localidad de Victoria, Entre Ríos, zona productora de cales hasta mediados del siglo XX.

DETERMINACIÓN DE LAS PROPORCIONES DE LOS COMPONENTES EN MORTEROS ENDURECIDOS

Para determinar en morteros endurecidos las proporciones del ligante y de los agregados se pueden seguir los lineamientos generales, especificados en la Norma DIN 52170 [5]. Esta

norma especificada para evaluar hormigones de cemento Portland se basa fundamentalmente en que el cemento es soluble en ácido clorhídrico, situación que también puede generalizarse cuando el ligante es una cal aérea o hidráulica. Para su aplicación el agregado no debe contener elementos solubles en el citado ácido. La Norma ASTM C 1084-97 (Standart Test Method for Portland-Cement Content of Hardened Hydraulic-Cement Concrete) especifica la metodología para la determinación del contenido de cemento Portland en hormigón endurecido, siendo el criterio similar al indicado en la Norma DIN antes mencionada.

Algunos de los constituyentes de los morteros pueden interferir en el análisis del ligante. Las rocas, los minerales o las mezclas minerales presentes en los agregados pueden interferir en la determinación de las proporciones, dependiendo de la solubilidad ante el método de disolución empleado. Esta solubilidad también puede depender de la finura de la muestra a ensayar, de la relación agua-ligante y del grado de hidratación. Cuando se emplea para separar el agregado de la matriz cálcica el ácido clorhídrico diluido y frío se pueden originar errores cuando el agregado contiene mármol, piedra dolomítica, arenisca calcárea, ftanita (“chert”) calcárea, y rocas incrustadas con caliche o recubiertas con calcita o dolomita.

En aquellos casos en que se presenta alguna duda respecto al ligante empleado por desconocerse el momento histórico en el cual se ha ejecutado el mortero o si el mismo corresponde a intervenciones posteriores, debe cuantificarse la presencia de óxido de sílice y óxido de calcio, y verificar la proporción en que se encuentran en la mezcla. La muestra debe ser triturada hasta pasa tamiz N°80 ya que una mayor finura del material triturado originará una mayor lixiviación de los compuestos síliceos y de calcio de los agregados. El contenido de óxido de sílice se determinará de acuerdo a la Norma IRAM 1504 [6] y el contenido de Calcio por titulación con EDTA. Es conocido que si el mortero está ejecutado con cemento, la relación

óxido de calcio / óxido de sílice es del orden de 3, mientras que si se trata de una cal área, el porcentaje de sílice es mínimo, ya que la sílice determinada corresponde solamente a la que solubilizan los agregados frente al ataque con ácido. Si se trata de una cal hidráulica el porcentaje será algo mayor, dependiendo del índice de hidraulicidad de la misma.

En los agregados la sílice se encuentra generalmente, en estado de cuarzo, calcedonia o silicatos más o menos complejos, los cuales son muy difícilmente atacables por el ácido clorhídrico mientras que en las calces hidráulicas se encuentra casi totalmente como silicatos. Por lo cual, para las mezclas con agregados cuarzosos los componentes solubles en el ataque por ácido clorhídrico corresponden al ligante hidratado y el residuo insoluble a los agregados empleados [7]. El ligante hidratado se calcula con la expresión (1).

$$\text{Ligante hidratado(\%)} = 100 - \text{Residuo Insoluble(\%)} \quad (1)$$

Para determinar las proporciones del mortero se necesita conocer el contenido de ligante sin hidratar para lo cual debe considerarse la pérdida en peso entre 100°C y 1000°C (pérdida por calcinación) la cual es igual al agua adsorbida y de hidratación más el anhídrido carbónico fijado en los productos carbonatados. El porcentual de ligante se calcula mediante la expresión (2).

$$\text{Ligante(\%)} = 100 - \text{Residuo Insoluble(\%)} - \text{pérdida por calcinación (\%)} \quad (2)$$

En el caso que se detecte durante la observación al microscopio la presencia de agregados cálcicos o con componentes cálcicos (mármol triturado, arenas con valvas marinas, etc.) las expresiones antes indicadas pierden validez. En estos casos se debe cuantificar ópticamente el porcentaje de los citados componentes para realizar las correcciones necesarias.

Cuando se observa que el mortero presenta algún tipo de coloración, se deben profundizar los

estudios para determinar la presencia de colorantes mediante observaciones al microscopio y/o la realización de ensayos de infrarrojo.

ESTUDIOS PARA DETERMINAR LA COMPOSICIÓN DE LOS MORTEROS ENDURECIDOS CORRESPONDIENTES A LA ENVOLVENTE MURARIA DEL MUSEO

Se presentan a continuación una serie de estudios realizados según lo descrito anteriormente sobre morteros correspondientes a revoques gruesos y finos de la envolvente muraria ejecutada con ladrillos cerámicos asentados también en morteros. Complementariamente se evaluaron los morteros internos de las hornacinas ubicadas en el frente del edificio. En la Imagen 5 se indican los lugares de extracción de las muestras analizadas. Los lugares fueron seleccionados luego de un análisis visual de la envolvente, seleccionándose aquellos que no presentaban signos externos de alteración.

Para la extracción de las muestras se empleó una broca diamantada de 55 mm de diámetro accionada por una perforadora. El calado se realizó hasta alcanzar la mampostería, por lo cual las muestras se componen exclusivamente del revoque fino, de muy pequeño espesor, y del revoque grueso (Imagen 6).

En la Tabla 1 se detallan la identificación, los sectores y las alturas de extracción de las muestras desde el nivel de vereda.

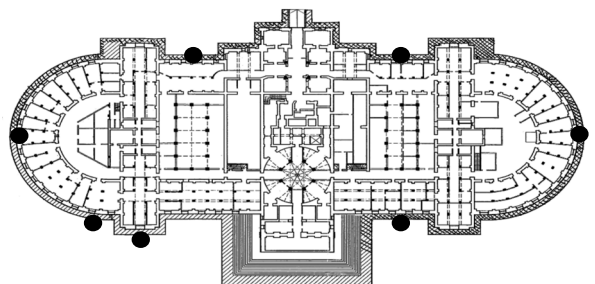


Imagen 5: Lugares de extracción de muestras.

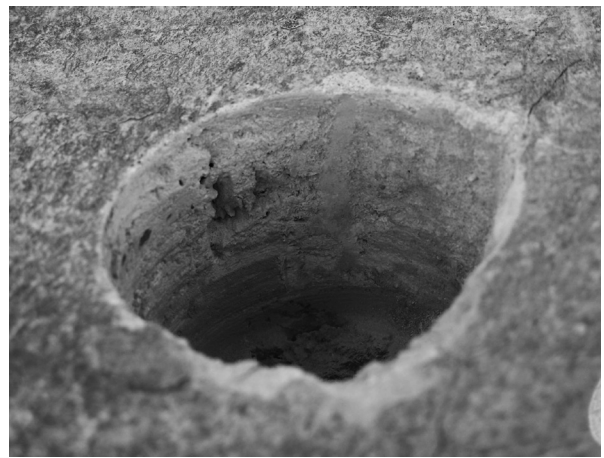


Imagen 6: Vista del proceso de extracción, muestras obtenidas y del pequeño orificio residual.

En las muestras extraídas de la envolvente, se aprecian visualmente dos morteros fuertemente adheridos entre sí, el revoque fino de un espesor no mayor a 3 mm y el revoque grueso de mayor espesor. Se observan diferencias respecto a los materiales empleados en los revoques gruesos, siendo en los finos en todos los casos similares. Las muestras se observaron bajo lupa binocular permitiendo agrupar aquellas que presentaban características similares en los materiales componentes, surgiendo que las muestras 1, 3 y 4 (grupo A) y las muestras 2 y 5 (grupo B) poseen características similares respectivamente. La muestra 6 posee una composición diferenciada del resto.

Tabla 1: Sectores y alturas de extracción de las muestras

Muestra N°	Sector de Extracción	Altura (cm)
1	Fachada Frontal Derecha	200
2	Fachada Lateral Derecha	50
3	Fachada Trasera derecha	170
4	Fachada Trasera Izquierda	140
5	Fachada Lateral Izquierda	240
6	Fachada Frontal Izquierda	200
7	Moldura Ventana Fachada Frontal Derecha	180
8	Hornacina de frente	---

Los testigos del grupo A presentan conchillas en la matriz del revoque grueso mientras que los del grupo B poseen conchillas y fragmentos de ladrillo (Imagen 7). En la muestra 6 no se observan los citados componentes. En la muestra de mortero de la moldura (muestra 7) se aprecia únicamente la presencia de clastos de ladrillos de mayor tamaño que los del grupo B (Imagen 8).

Para cuantificar en los morteros gruesos el contenido de conchilla y clastos de ladrillos, se disgregaron las diferentes muestras y se observaron bajo lupa binocular. En los morteros gruesos y finos se cuantificó el contenido de residuo insoluble y de los óxidos de Calcio y de Sílice.

Para realizar los estudios mineralógicos del residuo insoluble mediante observación bajo lupa binocular, las muestras de mortero fueron atacadas con ácido clorhídrico a fin de eliminar el material ligante. Las arenas de los revoques finos y gruesos de los grupos A, B y de la muestra 6, están compuestas por clastos angulosos y plagioclasas límpidas (oligoclasa-andesina). Además, se observa muy escasa calcedonia microcristalina fibrosa, piroxeno (augita), anfíboles (hornblenda-lamprobolita) y laminas de mica (biotita). Los minerales opacos son poco frecuentes y corresponden a magnetita,

parcialmente alterada en hematita. Se observan bioclastos correspondientes a valvas de moluscos marinos y litoclastos pertenecientes a pastas de rocas volcánicas. También, se verifica la presencia de vidrio volcánico incoloro y fresco, con canículas y burbujas gaseosas. Como contaminación en los residuos insolubles de los revoques gruesos se observan pequeños clastos de ladrillo. Las arenas deben calificarse como sílico feldespática.

La arena del mortero de las molduras (muestra 7), es relativamente equigranular, de mayor a menor proporción está compuesta por cuarzo de clastos redondeados a subredondeados con extinción homogénea y ricos en inclusiones fluidas y sólidas, se observa escaso cuarzo policristalino; feldespatos de clastos subredondeados, castaños claros, con microestructura fibrosa; minerales accesorios, clastos diminutos de circón. Como impureza en el revoque grueso se observa la existencia de clastos de ladrillo. La clasificación de la muestra corresponde a una arena silícea.

En la Tabla 2 se indica la relación, en peso, ligante-inertes totales, estimados a partir de los análisis efectuados, los contenidos de clastos de ladrillo, de valvas marinas (conchillas) y el tipo mineralógico de la arena empleada. El ligante de acuerdo a los



Imagen 7: Detalle de una muestra del grupo B. Se observan fragmentos de conchillas en la matriz del mortero.

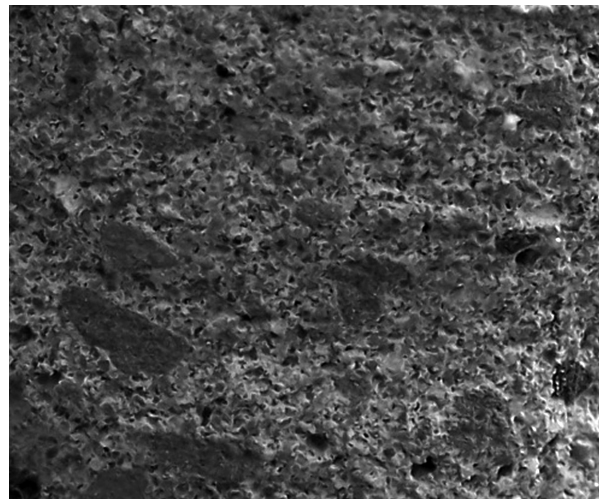


Imagen 8: Detalle de la muestra 7. Se observan la matriz del mortero con los clastos de ladrillo.

Tabla 2: Tipo de ligante y arena, clastos de ladrillos, conchillas, vidrio volcánico y proporción ligante:árido.

Identificación	Revoques gruesos				Revoques finos			
	A	B	6	7	A	B	6	7
Ligante	Cal cálcica				Cal cálcica			
Arena	ASF			AS	ASF			AS
Clastos de ladrillo	2±1	4±1	--	9±1	---	---	---	---
Vidrio volcánico	SI			NO	SI			NO
Conchilla	4±1	7±1	1,5 ± 1	---	4±1	7± 1	1,5±1	---
Proporción en peso ligante:árido	1:2	1:3	1:3	1:3	1:1	1:1	1:1	1:2

ASF: Arena sílico feldespática

AS: Arena sílicea

análisis químicos efectuados corresponde a una cal cálcica, situación confirmada también por el momento histórico en el cual fue ejecutado el edificio.

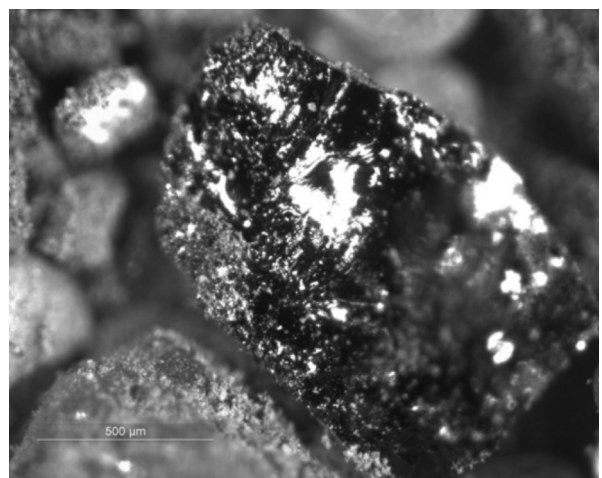
La muestra obtenida del fondo de la hornacina, presenta una tonalidad gris oscura, observándose que la arena es similar a las empleadas en los revoques (arena sílico feldespática) con la incorporación de un material granulado de color negro brillante, que por sus características se identifica como grafito. En la Tabla 3 se informa la composición del residuo insoluble mientras que en la Imagen 9 se observa la hornacina y una partícula de grafito.

CONSIDERACIONES FINALES

De acuerdo a los resultados de los ensayos y estudios realizados sobre los revoques finos y gruesos pertenecientes a los muros de las fachadas

Tabla 3: Composición del residuo insoluble.

Componente	%
Arena sílico feldespática	77,5
Grafito (partículas de carbón)	20,0
Fragmentos biogénicos (conchillas)	1,5
Limo-arcilla	1,0

**Imagen 9:** Vista de la hornacina y detalle de una partícula de grafito incorporado al agregado fino empleado.

exteriores y de la hornacina del Museo de Ciencias Naturales de la ciudad de La Plata, surgen las siguientes consideraciones:

a) La totalidad de los morteros están elaborados con una arena sílico feldespática con porcentajes variables de valvas marinas. El mortero de las molduras está elaborado con una arena natural silíceo (arena argentina de río).

b) El ligante empleado corresponde en todos los casos a una cal con la incorporación de porcentajes de un material puzolánico en los revoques gruesos. Esta combinación, que era habitual durante la época de construcción del edificio, da origen a la presencia de vidrio volcánico lo cual fue verificado en los morteros estudiados.

c) La presencia de porcentajes variables de conchillas en las arenas indica que las mismas han sido extraídas de los cordones litorales de la última ingresión marina. También, se observa en estos morteros la incorporación de ladrillos molidos. En

la muestra de la moldura se detectan fragmentos de ladrillos de mayor tamaño incorporados para dar carga al mortero.

d) Teniendo en cuenta la etapa histórica en la cual se construyó el edificio, puede plantearse que era habitual para la elaboración de los morteros de cal incorporar a las mezclas puzolanas naturales que por lo general correspondían a cenizas volcánicas y/o artificiales como polvo de ladrillo, componentes que le confieren al mortero una mayor resistencia y plasticidad.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Ing. Zicarelli, Silvia, al Téc. Parodi, Víctor y al Tec. Canosa, Maximiliano y al Lic. Pavlicevic, Roberto y al Lic. Ribot, Alejandro por la colaboración y participación en la realización de los ensayos químicos y petrográficos, respectivamente.

REFERENCIAS

- 1.- Álvarez Galindo, J.I., Pérez, A.M., García Casado, P.J. Historia de los morteros. Boletín informativo del IAPH, 13 (1995), pp. 52-59.
- 2.- Colinas, J.F., Wainsztien M. y Batic O.R., Cales aéreas e hidráulicas hidratadas en polvo para construcción. Análisis de los resultados de ensayos realizados en el LEMIT entre 1956 y 1964. Anales LEMIT. Serie II, N°103. 1966
- 3.- Amarilla, B. Edificios fundacionales de La Plata: El costo de sus insumos básicos. Partes 1 y 2. Publicación LINTA, 2000. ISBN 987-97021-8-2
- 4.- Fidalgo, F., Colado, U.R., Defrancesco, F.O. Sobre ingresiones marinas cuaternarias en los Partidos de Castelli, Chascomús y Magdalena (Provincia de Buenos Aires). Actas del 5to. Congreso Geológico Argentino.

5.- Norma DIN 52170 “Proporciones de mezclas y dosis de aglomerantes en morteros y hormigones endurecidos”.

6.- Norma IRAM 1504-1986. Cemento Portland. Análisis químico.

7.- A. Hummel *Prontuario del Hormigón*, Capítulo XI “Determinación de la composición del hormigón (análisis de la mezcla)”. Editor ETA S.A., España. 1966.

ADSORCIÓN DE CONTAMINANTES EN SEDIMENTOS DEL HOLOCENO DE LA REGIÓN DE LA PLATA

ADSORPTION OF CONTAMINANTS IN HOLOCENE SEDIMENTS OF LA PLATA REGION

J.C. Bidegain¹, S. Jurado²

1.- Investigador Independiente CIC-LEMIT. jcbidega@yahoo.com.ar

2.- CIC-LEMIT

75

RESUMEN

Técnicas geológicas, geoquímicas y geofísicas fueron aplicadas a los fines de determinar la presencia y concentración de metales pesados en sedimentos de los cursos de agua de la región de La Plata. Estos arroyos, que atraviesan el casco urbano, han sido entubados en su gran mayoría, empero en los sectores bajos y en la planicie costera corren a cielo abierto por canales. Con el crecimiento urbanístico y poblacional, los cursos de agua son también receptores de desechos urbanos, industriales y agropecuarios. Interpretamos que las arcillas de los sedimentos de la región retienen con mayor facilidad (adsorción) los contaminantes, que si estos materiales fueran de granulometría gruesa. A partir de este supuesto se realizó la investigación procurando establecer la relación existente entre los distintos parámetros utilizados, los metales pesados, la variación del contenido en materia orgánica y la concentración de óxidos de hierro. Esto último debido particularmente a que óxidos y oxyhidróxidos de hierro, en asociación con arcillas esmectitas, coadyuvan en el proceso de adsorción de contaminantes. El área de estudio se ubica en 34° 50' y 35° 2' Lat. S, 57° 45' y 58° 5' Long. W.

Palabras claves: La Plata, sedimentos, contaminantes, metales pesados.

ABSTRACT

Geological, geochemical and geophysical techniques were applied for the purposes of determining the presence and concentration of heavy metals in streams sediments of La Plata region. These streams, passing through the town, have been tunned in its vast majority, but in low areas as on the coastal plain they run in open channels. With the population and urban growth, water courses are also recipients of urban, industrial and agricultural wastes. We interpret that clay minerals of the sediments of the streams retain more easily (adsorption) pollutants than sediments of coarse grain size. From this assumption a research trying to establish the relationship between the parameters used, heavy metals and variation of the organic matter was performed. The concentration of total iron oxides was also taken into account considering that iron oxides and oxyhydroxides assist in the process of adsorption of contaminants in association with smectite clays. The area of study is located between 34° 50' - 35° 2' Lat. S and 57° 45' - 58° 5' Long. W.

Keywords: *La Plata, sediments, contaminants, heavy metals.*

INTRODUCCIÓN

A fines de la primera mitad del siglo XX el proceso de industrialización argentino generó la concentración de la población en torno de los centros urbanos, particularmente en la provincia de Buenos Aires, donde según la Comisión Nacional de Política Ambiental (CONAPA) [1], en el informe de 1993, el 70% de los habitantes se encuentra en la pampa húmeda y la mitad en el área metropolitana.

La región de La Plata, objeto de esta investigación, si bien no presenta los grados de impacto ambiental de otras partes del mundo, evidencia niveles de deterioro que es necesario evaluar para mejorar las condiciones ambientales y para prevenir catástrofes. En la ciudad de La Plata existen problemas estructurales relacionados con el diseño de la arquitectura fundacional. Este es un aspecto generador de fenómenos de impacto, en virtud de que el diseño urbanístico se impuso al paisaje sin tener en cuenta las geoformas del terreno. Los cursos de agua (arroyos) se adaptaron a dicho modelo con una lógica inversa a la sustentabilidad ambiental. Por tal razón se realizaron entubamientos de los arroyos que acompañan el trazado de la cuadrícula, reduciéndose la capacidad de escurrimiento superficial de los principales arroyos que corren

por el casco urbano y por los barrios periféricos. Actualmente, con el incremento notable del espacio construido se realizan inversiones de relieve por construcción de viviendas de distinto tipo, obras viales y emplazamiento de complejos barriales en la planicie de inundación de los arroyos que modifican el paisaje original y dificultan el drenaje de las aguas pluviales.

La conformación natural de la red hídrica regional; como es la orientación NO-SE del estuario del Plata; incide en una variedad de actividades y emprendimientos productivos a nivel local y es factor de riesgo al momento de planificación urbana. El efecto de la sudestada sobre el Río de La Plata, que a su vez impide el normal escurrimiento de las aguas de los arroyos -favorecida por dicha orientación del estuario- genera inundaciones ribereñas. Por ello, la región La Plata - Berisso - Ensenada, debería tomarse en forma integrada como un "cuerpo ambiental sensible" a los cambios climáticos estacionales, sobretudo a los cambios climáticos de mayor duración como es el efecto El Niño. En este contexto, los emplazamientos industriales en zonas bajas, el volcado de contaminantes a los arroyos y el emplazamiento del CEAMSE en la planicie costera son factores que contribuyen al deterioro

del ambiente en una zona de alta sensibilidad a los cambios mencionados.

En nuestra región fueron reconocidos dos ambientes geomorfológicos con relieve y génesis diferentes [2]: la “Planicie costera” y la “Zona interior”, (Figura 1). El límite entre ambas zonas coincide aproximadamente con el denominado “escalón costero” formado por los depósitos conchiles de la última ingresión marina y es por donde se realizó el trazado de la calle 122 y la ruta Provincial N° 11.

La Planicie costera comprende una faja de 5 a 8 km de ancho dispuesta de forma paralela a la línea de ribera. Está constituida por sedimentos continentales y marinos del Holoceno de naturaleza limo arcillosos, con alturas que se encuentran debajo de los 5 m s.n.m.

La Zona interior está formada por sedimentos continentales del Pleistoceno y se caracteriza por su relieve suave ondulado, con altura entre 5 y 30 m s.n.m.; las cotas más bajas corresponden a las cuencas de los arroyos en estudio. Los arroyos considerados para determinación de la concentración en metales pesados fueron el Rodríguez, Del Gato y El Pescado.

La relevancia de la determinación y cuantificación de los contaminantes sólidos como en este caso (Pb, Zn, Cu, Ni, etc.), está relacionada con la calidad del agua y los alimentos. Los metales pueden ser incorporados a la cadena trófica y luego ser muy perjudiciales para el ser humano.

En este contexto, cabe mencionar que la ciudad de La Plata se abastece en un 60% de agua subterránea, cubriendo el servicio de agua potable con pozos que captan del Acuífero Puelche [3], el 40% de agua potable restante lo aporta la planta potabilizadora, que toma el agua del Río de la Plata.

Las arenas Puelches que son portadoras de uno de los acuíferos mas importantes del mundo, están cubiertas por un manto de sedimentos de naturaleza fundamentalmente eólica (loess) en espesores que oscilan entre 30 y 40 metros, son los sedimentos limo areno- arcillosos (Pampeanos y Post Pampeanos), que se exponen en todas las canteras de los alrededores de la ciudad y se explotan con distintos fines. El acuífero Puelche está parcialmente confinado y existe una interconexión con las aguas del Pampeano y Post Pampeano. Varela et al. [4] consideran que las aguas del Post Pampeano, Pampeano y Puelche presentan una continuidad hidráulica, a pesar de diferencias verticales de permeabilidad. Por otra parte, los mismos autores consideran que existe una recarga de las Arenas Puelches de forma autóctona, indirecta, a través del acuífero Pampeano, mediante filtración vertical descendente. Estas características geológicas e hidrogeológicas son de fundamental importancia a los fines de prever problemáticas de riesgo ambiental por el mal manejo de suelos y subsuelo con el crecimiento urbano (derrumbes, sistema de distribución de agua, red cloacal, contaminantes de pozos ciegos, contaminantes industriales, agroquímicos).

El estuario del Plata, que aporta el 40% del agua de consumo de la región, también recibe la descarga de todos los arroyos interiores y el canal séptico de Berisso con un volumen que supera los 100.00

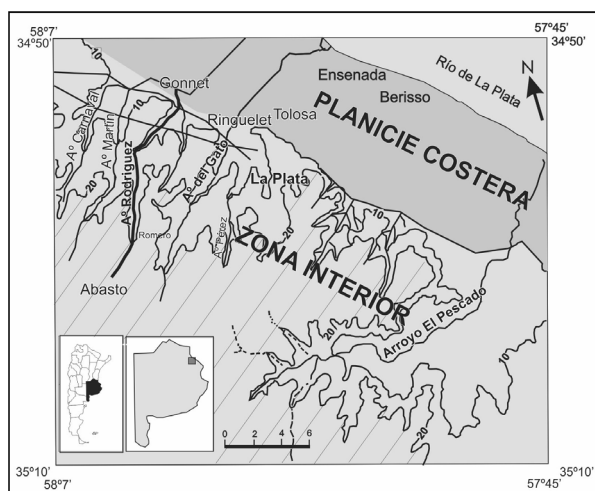


Figura 1: Ambientes geomorfológicos de la región.

m³/día. Por todo ello, es evidente que la potencial filtración de contaminantes a la zona de recarga de los acuíferos o el aporte de ellos a la zona de toma del río de La Plata constituyen factores de riesgo que es necesario controlar y monitorear.

El objetivo principal de la investigación es hacer un diagnóstico del estado de contaminación con metales pesados en arroyos y canales. Se cuantificaron los tenores de los metales y los resultados se analizaron estadísticamente. Los datos se compararon con los valores de referencia de Frink [5], que son promedios de contenidos en ambientes naturales (de 19 ppm para el Pb, 49 ppm para el Cu y 100 ppm para el Zn etc.).

Desafortunadamente, la Provincia de Buenos Aires no tiene reglamentados niveles guía de los metales en estudio, por tal motivo, los valores se compararon con la legislación nacional.

Los metales pesados, al ser incorporados al sedimento pueden tener diferentes destinos:

1. quedar retenidos en el sedimento (adsorción, complejación y precipitación)
2. ser disueltos en la solución del mismo
3. ser absorbidos por las plantas e incorporarse a la cadena trófica
4. movilizarse a las aguas superficiales o subterráneas.

Los factores del suelo que influyen en la acumulación y disponibilidad de los metales pesados son: el pH, la textura, la estructura, las arcillas, la materia orgánica, la capacidad de intercambio, las condiciones redox, la presencia de óxidos e hidróxidos de Fe y Mn, los carbonatos y la salinidad. Otros factores que coadyuvan son el área específica, las proporciones de los tipos de arcillas, óxidos e hidróxidos de aluminio y procesos hidráulicos relacionados [6]. Cabe señalar que las concentraciones de metales pesados que se determinan en los sedimentos son indicativas de grado pero no implican (mecánicamente) que por ello penetren en un organismo. En todos los casos intervienen una serie de factores tales

como biodisponibilidad, la bioacumulación y la bioconcentración.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitios de muestreo y técnicas de campo

Los sedimentos de los arroyos se muestrearon en cabecera y curso medio, hasta el límite con la Planicie costera (Camino Centenario) y en algunos de ellos también se obtuvieron testigos en la planicie costera. Los sitios de muestreo se escogieron teniendo en cuenta los usos del suelo de las distintas zonas que se numeraron a partir de cabeceras.

Para el muestreo se utilizaron tubos de PVC de 1,5 pulgadas de diámetro y de 1 metro de longitud con el fin de obtener material no disturbado de la columna de sedimentos. Los tubos de PVC se utilizaron con el objeto de eliminar alguna contribución metálica que pudiera aportarse por la herramienta de trabajo. Un tapón de plástico fue adicionado al tubo luego de hincarlo en el sedimento para hacer vacío, con el propósito de que el sedimento se conserve en el tubo y no sea barrido por el agua al retirar el mismo. El hincado se realizó con una masa y una estaca de madera. Con este método se obtuvieron buenos resultados en la mayoría de los sitios muestreados. Los tubos de PVC se cortaron longitudinalmente antes del hincado y se unieron por medio de cinta adhesiva; a los dos días de la extracción se cortaron en dos mitades iguales mediante una tanza. Este procedimiento se encontró apropiado debido a que a los 2 días el sedimento ha perdido una parte apreciable de agua.

Tratamiento de las muestras

Los testigos obtenidos se describieron megascópicamente, consignándose: color, textura, estructuras, presencia de rasgos antrópicos [7]. A partir de las diferencias observadas se realizaron divisiones en capas que se numeraron desde la más superficial a la más profunda como Capa 1,

Capa 2, etc. La composición granulométrica de las muestras se determinó mediante el método de Bouyoucos [8,9]. En el laboratorio también se efectuó la medición de susceptibilidad volumétrica con equipo MS2 de la empresa Bartington (Inglaterra) a los fines de obtener información de la distribución vertical de los óxidos de hierro.

Las muestras para análisis granulométricos y para determinación de metales pesados se tomaron a partir de la determinación macroscópica de las diferencias litológicas y de los valores de susceptibilidad magnética. Las muestras se secaron a 60°C durante un día para evitar la destrucción de arcillas por elevadas temperaturas, se molieron en mortero de cerámica y tamizaron mediante tamiz 45 IRAM 1501(0,354 mm de abertura). A los fines del tratamiento químico se pesaron 2 a 10 g de cada muestra.

Los análisis químicos consistieron en determinar presencia y concentración de metales pesados tales como plomo, cobre, cinc, cromo, níquel, hierro y manganeso; también se analizó el contenido en materia orgánica y el pH. La técnica analítica que se utilizó fue por espectrometría de absorción atómica, con previa digestión ácida total en HNO_3 - H_2O_2 [10] y luego el digerido se refluye con HNO_3 y HCl con un nivel de detección de 1 ppm. El método utilizado para determinar materia orgánica fue por volumetría [11], con un límite de detección de 0,1%.

Las muestras seleccionadas por su alto contenido en metales pesados se analizaron mediante técnicas complementarias tales como Difracción de Rayos X y EDAX.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Arroyo Rodríguez

El arroyo Rodríguez tiene una cuenca hidrográfica de 65 km², su longitud es de 20 km, su ancho varía de 1 a 6 metros y la profundidad fluctúa entre 0,4 y

2 metros [12]. Tiene sus nacientes en la localidad de Abasto (Partido de La Plata) a 35° de latitud S y 58° de longitud O; el curso atraviesa las localidades de Gorina y City Bell y luego es canalizado hacia el Río de la Plata junto con los arroyos Carnaval y Martín.

Este arroyo fue uno de los más intensamente analizados de la zona en virtud de que no existen estudios previos como para efectuar análisis comparativos. Por tal razón, se extrajeron 3 y 4 testigos de pvc por cada sitio. En la Figura 2 se indican los sitios de muestreo a lo largo del perfil del arroyo Rodríguez, las cotas de los mismos y los tenores máximos de los metales pesados de cada lugar.

Se constataron diferencias en el ancho del cauce y la profundidad de los sedimentos detríticos del fondo. Esto último condicionó el largo de los testigos obteniéndose testigos de distinta longitud. En la zona 1 correspondiente a las nacientes y en torno a los 20 m s.n.m., se observa que los tenores de Pb y Cr superan los valores de referencia (testigo R1). Teniendo en cuenta que el uso del suelo en las nacientes es agropecuario y que en la información oficial entregada por la Dirección de Planeamiento, Control y Preservación de los Recursos (ABSA) no se mencionan industrias que puedan elevar los tenores de los metales mencionados, se desconoce la fuente de aporte. Empero, a lo largo del arroyo Rodríguez, hay numerosas industrias (plástica, embotelladora, química, matadero y frigorífico), que originan productos que aportan metales y materia orgánica al sistema, por ello no se descartan las descargas clandestinas.

El uso del suelo en la zona 2 (R2) es agropecuario igual que en la zona 1. El relevamiento de establecimientos que pueden aportar desechos a los arroyos reveló la existencia de dos tipos de fuentes de aportes: el Frigorífico Gorina y el Establecimiento Penal de Bajo Costo. Los análisis químicos indicaron que el mayor contenido de materia orgánica es de 1,2%, las concentraciones

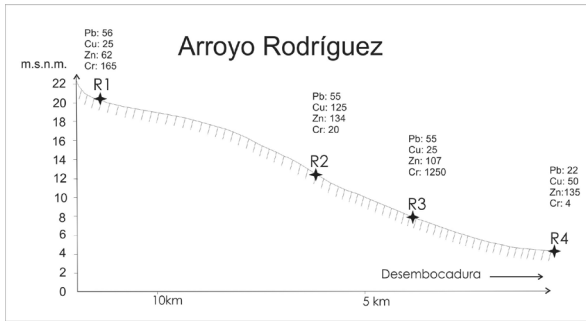


Figura 2: Perfil Arrollo Rodríguez con concentraciones.

de Mn, Pb, Cu y Zn superan los valores de referencia aunque el Cr esta por debajo del valor máximo (29 ppm). Cabe mencionar que los tenores de Mn y Cu son los mayores registrados a lo largo de todo el arroyo. El Mn y el Cu, como se indica más arriba, se encuentran en altas concentraciones hasta los niveles inferiores de los testigos extraídos, se desconocen los niveles de contaminación en sedimentos más profundos. Posiblemente las elevadas concentraciones de los metales mencionados se deban a industrias que no se encuentran en la información pública disponible.

En la zona 3 el uso del suelo es agrícola intensivo, las altas concentraciones en Pb, Zn y Cr exceden los valores de referencia, el cromo lo hace en acceso (R3). El Cr se presentó en altas concentraciones en muestras superficiales, al igual que el Pb y el notable incremento del mismo podría estar relacionado con la existencia de una fábrica de cojinetes, ya que no hay otra fuente registrada en la zona que aporte estos metales. El incremento del Zn puede también deberse al uso industrial aunque según Santa Olalla Mañas et al. [13], el uso agrícola intensivo del suelo genera incrementos en Zn. Este metal se utiliza en reactivos químicos y forma parte de los componentes de fertilizantes y plaguicidas.

En la zona 4, donde el uso del suelo es urbano y suburbano se extrajeron 4 testigos, en tres de ellos los tenores de metales no solo no superan los valores de Frink sino que son los más bajos de todo

el cauce del arroyo, empero, en uno de los testigos (indicado en la Imagen 2 como R4) se superan los valores de referencia en Pb, Cu y Zn.

Los análisis de Rx del material menor a 62μ evidencian la presencia de diferentes tipos de arcillas. Se determinó el predominio de illita hacia cabeceras (80%), aunque en los sectores hacia desembocadura se pudo constatar el incremento de arcillas esmectíticas (illita 25% y esmectita 48%). En algunos sitios en donde se constatan esos incrementos también se obtuvieron altos contenidos en metales pesados, por lo cual se interpreta que estos minerales de arcillas actúan como adsorbentes.

Arroyo Del Gato

En la Figura 3 se representa el perfil longitudinal esquemático del A° del Gato desde cabecera en Lisandro Olmos hasta el curso inferior, con una longitud de 25 km. La cuenca tiene una superficie de 89 km². Se extrajeron 6 testigos de sedimentos para los análisis propuestos a lo largo del todo el curso del arroyo. La zona 1, cabecera y sectores superiores del curso medio del arroyo, es de uso urbano y suburbano al igual que la zona 2, con mayor densidad de población. Del análisis de los resultados se observa que, a diferencia del arroyo Rodríguez, la concentración de los metales, aumenta hacia desembocadura, con marcado incremento en la Planicie costera.

En G1, zona próxima a cabeceras, la concentración de Pb supera el valor de referencia en la capa menos superficial, en G2, el Pb supera el valor de referencia en la capa superficial. Es posible estimar que dicho incremento podría estar generado por una empresa metalúrgica (Ferricor). En G3 y en G4 (Figura 3), el Pb y el Zn superan los valores de referencia en la naturaleza, aunque a distintos niveles del testigo obtenido. Estimamos que una posible fuente son las empresas metalúrgicas de la zona (ej. Cromoduro). Los contenidos en materia orgánica se incrementan desde cabecera hacia Planicie costera. Los valores máximos en cabecera

y sectores medios no superan el 2% en tanto en la planicie costera alcanzan valores de 7,72%. El incremento hacia desembocadura es similar al del arroyo Rodríguez aunque en el arroyo Del Gato la concentración urbana e industrial es mayor. A estos factores hay que adicionar el efecto contaminante del CEAMSE que fue emplazado en una zona muy sensible desde el punto de vista del equilibrio ambiental.

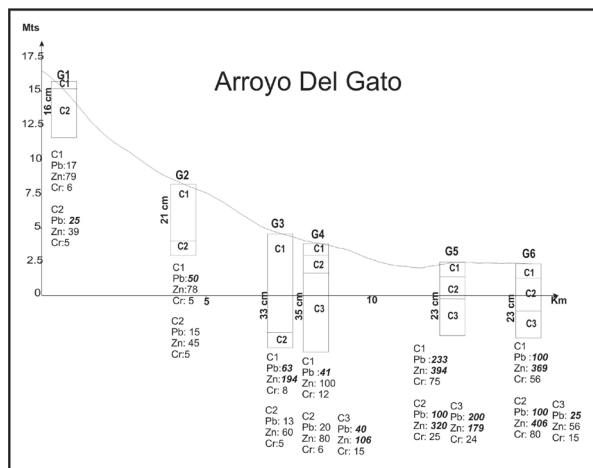


Figura 3: Perfil Arrollo del Gato.

El testigo G5 fue extraído del arroyo del Gato y camino a Punta Lara a escasos 100 m del canal de lixiviado del CEAMSE. El Pb y el Zn se incrementan notablemente y exceden el valor de referencia en condiciones naturales, en una de las capas analizadas se determinaron concentraciones de Pb que exceden 12 veces dicho valor (233 ppm). El testigo G6 fue extraído en la intersección del camino A. Brown y el arroyo del Gato (El Zanjón). Los tenores de Pb y Zn también son elevados, la concentración de Zn es la más elevada de todo el arroyo. Este comportamiento local podría estar relacionado con el aporte de la empresa SIDERAR, alguna otra empresa o volcados clandestinos ya que el aumento de Zn no estaría generado desde el CEAMSE. El fundamento de tal aseveración es que la materia orgánica en la zona del CEAMSE, que es elevada (> 7%), más el carácter adsorbente de las arcillas esmectíticas, actuarían como freno en la distribución, provocando una disminución a

medida que nos alejamos del centro de impacto, es decir hacia desembocadura. Por ello estimamos que los valores más elevados de Zn en G6 responden a otras fuentes de aporte.

Arroyo El Pescado

En la Figura 4 se indica el perfil longitudinal esquemático del Arroyo El Pescado desde cabecera hasta el curso inferior en la planicie costera. Las nacientes de este arroyo están en Arana la longitud total es de unos 40 km y la cuenca es la más extensa de todas las de la zona ocupando una superficie que supera los 400 km².

Se puede observar que las mayores concentraciones de Pb y Zn se encuentran en la zona del puente de Ignacio Correas con diferencias marcadas entre uno y otro lado del puente. En la Zona 1 próxima a cabecera, de uso agropecuario extensivo, se estudió un testigo (P1) que se dividió en dos capas sobre la base de diferencias en color y textura. En ambas capas, el Pb supera los valores de referencia, aunque las concentraciones de Zn son menores que en otras zonas. El contenido de materia orgánica es considerablemente más elevado que en el resto de los arroyos. Esto último estaría relacionado con descargas de camiones atmosféricos. El testigo P2 es de mayor longitud que el P1 y a partir de las diferencias de color y textura se diferenciaron 4 capas. Del análisis geoquímico surge que

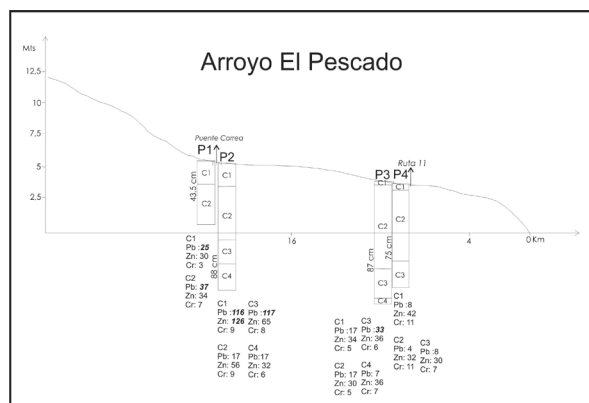


Figura 4: Perfil Arrollo El Pescado.

existen dos capas discontinuas de incremento de la contaminación (capas 1 y 3) en las que el contenido en Pb y Zn supera los valores de referencia de Flink. Las causas de este fenómeno son desconocidas aunque tentativamente se puede sugerir la existencia de dos períodos distintos de vuelco clandestino o distintos momentos de dragado del cauce del arroyo.

Paralelamente al análisis de los testigos de sedimentos de los arroyos se analizaron muestras de suelos aledaños que también arrojaron incrementos en Pb que superan los valores de referencia. Aguas abajo se analizaron dos testigos en las proximidades de la Ruta 11 (P3 y P4). En ambos testigos se comprueba que salvo en la capa profunda (C3) en donde el Pb se incrementa, no se superan los valores de referencia. Dicho incremento se podría corresponder con el mismo obtenido en la capa profunda de Ignacio Correas. La caída de las concentraciones (Figura 3) hacia desembocadura en este arroyo sería resultado de la acción complejante (quelatos) de la materia orgánica y el carácter adsorbente de las arcillas esmectíticas aguas arriba. Ambos factores podrían haber generado la caída significativa de los tenores de concentración en el tramo comprendido entre el puente Ignacio Correas y la R11. Además, a diferencia de lo que ocurre con los otros dos arroyos estudiados, en el A° El Pescado no hay un aumento poblacional tan significativo ni emplazamiento de industrias en las proximidades de la ruta 11 como para generar concentraciones elevadas de metales pesados, salvo por vertidos clandestinos.

DISCUSIÓN

El cambio de modelo o paradigma ambiental implica cambios en el discurso y en la forma de hacer, implica por lo tanto a todas las disciplinas y factores sociales que inciden en la problemática ambiental. La interdisciplina entre las llamadas ciencias “duras” y entre las ciencias naturales y sociales está comprometida, como sus actores, en la salvación del ambiente humano. Esto es así pues la problemática ambiental no es una

mera problemática de solución exclusivamente tecnológica, es una problemática social. El cambio es también de discurso, ya que en las palabras se refleja nuestra comprensión del mundo y nuestra subjetividad. En este contexto sugerimos hablar de bienes comunes, o bienes de toda la comunidad (agua, suelo etc.) ya que el concepto de Recursos Naturales solo ha posibilitado el acceso privilegiado al llamado recurso.

El cambio en el decir, debe necesariamente acompañar al cambio en la forma de hacer, no solo de los que son responsables de diseñar políticas ambientales sino de todos los actores sociales, fundamentalmente de los intelectuales y técnicos. La cuantificación de un grado de contaminación es un aspecto técnico fundamental, siempre que los datos no se alteren en función de ciertos intereses sectoriales. Cuando la determinación y la cuantificación se expresan en datos verdaderos, estamos en buen camino. No obstante la solución no se agota en ello y es necesario encarar políticas de remediación.

En este sentido es importante aunar esfuerzos para reducir los factores de riesgo ambiental que se manifiestan en nuestra región (metales pesados, vertidos cloacales, fertilizantes, contaminación aérea). Por ello, cabe destacar la investigación que apunta al desarrollo de la metanización de los residuos cloacales ($> 100.000 \text{ m}^3/\text{día}$), del canal séptico de Berisso [14]. Según dicho trabajo, una planta de metano de estas características cumple una doble función. Por un lado permitirá generar energía para varios miles de viviendas, por el otro, al mejorar la calidad del agua del estuario del Plata, mejorará la calidad del agua que bebemos. Además una planta de tales características también proveerá un sustrato sólido útil como abono. En ese contexto - teniendo en cuenta lo mencionado más arriba, respecto a la incorporación de metales a la cadena trófica - es necesario eliminar previamente el exceso de metales contaminantes que puedan incorporarse al sistema.

CONCLUSIONES

Del análisis de los datos surge que no sólo en muestras superficiales de los testigos, se hallan las mayores concentraciones de metales pesados, sino también en muestras profundas, posiblemente debido al efecto del dragado o al volcado en distintos momentos.

En las muestras analizadas, se observa que algunos sitios presentan altos tenores de metales que exceden los valores de referencia en la naturaleza de Frink, op cit.

Con el fin de evaluar el estado relativo de contaminación de los arroyos analizados se establecieron comparaciones con registros de concentración de metales pesados de sedimentos de otros cursos de agua de la provincia y del país. En una primera aproximación constatamos que en el Río Matanza la concentración de Pb resulta unas 16 veces superior a las obtenidas en la zona de La Plata, la de Cu 9 veces y la de Cr 2 veces. El Río Gualaguaychú, que fue tomado como ejemplo de sedimentos en zona de baja actividad industrial, presenta valores que se aproximan a los del arroyo Rodríguez. Se demuestra que la metodología empleada es apropiada a los fines de determinar la presencia y concentración de metales pesados en sedimentos. La misma permite estimar los factores que coadyuvan en el incremento de los metales como así también la posible procedencia.

REFERENCIAS

- 1.- CONAPA. (1993). El Estado de las Cosas. Elementos de Política Ambiental, Honorable Cámara de Diputados de la Provincia de Buenos Aires, pp.77-75.
- 2.- Fidalgo, F.y Martínez, O.R.. (1983). Algunas características geomorfológicas dentro del Partido de La Plata (Provincia de Buenos Aires) RAGA XXXVIII (2), pp.263-279.
- 3.- Auge, M. y Canteau, R. (2004). Aprovechamiento conjunto de aguas subterráneas y superficiales para el abastecimiento de la ciudad de La Plata, Argentina. 33º Congreso Internacional de Hidrogeología. Sacatecas, México. CD-R.

- 4.- Varela, L., Laurencena, P. Kruse, E. Deluchi, M. y Rojo, A. (2002). Reconocimiento de la relación aguas superficiales-aguas subterráneas en el arroyo del Gato, Provincia de Buenos Aires. *Groundwater and human development*: pp.547-552.
- 5.- Frink, C.R.(1996). A perspective on metals in soil. *Journal of Soil Contamination*, 5(4), pp.329-359.
- 6.- Soldi, Y., Juracic, M., Prohic, E. y Pravdic, V. (1994). Particulares and the environmental capacity for trace metals. A small river as a model for land-sea transfer system: The Rasa River estuary, *The Science of the Total Environment*, 155, pp.173-185.
- 7.- Schoeneberg, P. J.; Wysocki, E. C.; Benham, E. C. y Broderson, W. D. 1998. *Field Book for describing and sampling soils*. Traducción al español por el Instituto de suelos. Centro de recursos naturales. Instituto nacional de tecnología agropecuaria.
- 8.- Bouyoucos, G.J. (1936). Direction for making mechanical análisis of soils by hydrometer method. *Soil Sci.* 42, pp.225-229.
- 9.- Bouyoucos, G.J. (1962). Hydrometer method improved for making particle size análisis of soil. *Agron. J.* 54, pp.464-465.
- 10.- Environmental Protection Agency, EPA SW 846, (1986). Method 3050 Acid digestion of sediments, sludges and soil. Chapter 3: Metallic analytes, volume one, section A, Part 1 of Test methods for evaluating solid waste, Washington D.C.
- 11.- Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37, pp.29-38.
- 12.- Modenutti, B.E. (1986). Caracterización y variación espacial del zooplancton del arroyo Rodríguez (Provincia de Buenos Aires). *Anales del Instituto de Ciencias del mar y Limnología*.
- 13.- Santa Olalla Mañas, M., Balairón Ruiz, L. y de Santa Olalla, F.J.M.(2001). *Agricultura y desertificación*. Publicado por Mundi-Prensa Libros, 341 p.
- 14.- Camougrand, P. (2011). Potencial de metalización de los efluentes urbanos de La Plata. Artículo publicado por Maldonado N. en el diario *El Día de La Plata*, 27-11-2011.