

ISSN 2250-5989
ISSN-L 2250-5989

CIENCIA y de los TECNOLOGÍA MATERIALES

LABORATORIO DE ENTRENAMIENTO
MULTIDISCIPLINARIO PARA LA
INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA



Revista N° 11 - 2021

Ensayos físicos y análisis de fallas

Ensayos sobre metales y maderas
Ensayos sobre tubos y accesorios de PVC
Calificación de fusionistas en instalaciones de gas
Ensayos para la calificación de soldaduras y procedimientos de soldaduras en materiales metálicos

**Sala de Ensayos
Mecánicos****Ensayos a tensión
Prensa INSTRON****Hormigón de cemento Portland**

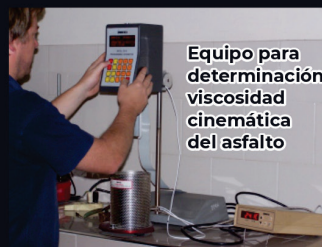
Estudios y análisis de materiales componentes del hormigón de cemento Portland: cementos, agregados adición y aditivos
Alterabilidad de agregados frente a reacciones deletéreas
Estudios integrales de hormigones de peso normal y especiales (alta performance, con fibra, autocompactantes, livianos, etc.)

**Sala de Hormigonado****Equipo extractor de
testigos con broca diamantada****Durabilidad y vida útil de las estructuras**

Corrosión de armaduras
Evaluación de estructuras con patologías
Ensayos destructivos y no destructivos

Pavimentos flexibles

Cementos asfálticos y emulsiones bituminosas
Agregados pétreos: ensayos físico-mecánicos
Suelo-cemento, suelo-cal
Lechada asfálticas
Clasificación de ligantes SUPERPAVE
Mezclas en frío y n caliente
Polímeros
Materiales de juntas

**Equipo para
determinación
viscosidad
cinemática
del asfalto****Estudios sobre
reacción álcali-agregado****Fundición y Metalurgia**

Fundición de precisión y especiales
Laboratorio metalográfico
Ensayos no destructivos en metales
Estatuaria

**Fundición de piezas
en diversos metales****Microscopio petrográfico
y lupa estereoscópica****Geología, Mineralogía y Petrografía**

Estudios mineralógicos y petrográficos
Cubicación de canteras de rocas y suelos

Otros materiales

Materiales para edificios (cerámicos, tejas, chapas, baldosas, bloques, etc.)
Placas y paneles para viviendas
Caños de hormigón simple y armado

**Estudios de materiales
de valor patrimonial****Control de calidad y certificación de materiales**

CIENCIA y de los TECNOLOGÍA MATERIALES

DIRECTOR

Dr. Ing. ZEGA, Claudio J.

COMITE EDITOR

Ing. DI MAIO, Ángel A.

Ing. GIACCIO, Graciela

Dr. Ing. GREGORUTTI, Ricardo

Dra. Ing. LOPEZ, Anahí

Ing. MARCOZZI, Rosana

Dra. Ing. TORRIJOS, María Celeste

Ing. TRAVERSA, Luis P.

Dr. Ing. VILLAGRAN ZACCARDI, Yury A.

Dr. Ing. ZERBINO, Raúl L.

ÍNDICE

- | | |
|--|-----------|
| 1.- Corrosión localizada del acero inoxidable austenítico en medio de cultivo celular y evaluación de la citotoxicidad de los iones liberados. | 9 |
| <i>J. Parisi, D. Castrigiovanni, J. E. Grau, R. W. Gregorutti, C. I. Elsner</i> | |
| 2.- Casa experimental de suelo cemento del LEMIT (1943): similitudes y diferencias con el sistema constructivo adoptado para las viviendas del Barrio Obrero de Berisso (1947). | 19 |
| <i>M. Novoa Farkas</i> | |
| 3.- Uso de celulosa microfibrilada en mezclas cementíceas. | 33 |
| <i>L. E. Carrizo, C. J. Zega</i> | |
| 4.- Hormigones de Retracción Compensada Reforzados con Fibras en Pavimentos y Pisos Industriales. | 41 |
| <i>Y. Loyo</i> | |

Título:

Ciencia y Tecnología de los Materiales.

Editor responsable:

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

Diseño y diagramación:

Prof. Sebastian Marquez

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

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



LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Durabilidad del Hormigón, Ligantes Hidráulicos y Adiciones Minerales

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

Hormigones de Cemento Portland

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

Patologías y Reparación de Construcciones

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

Tecnología Vial

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

Mineralogía, Petrografía y Sedimentología

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

Procesos de Solidificación, Fundición y Soldadura

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

ASESORAMIENTO Y SERVICIO TECNOLÓGICO

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

Rocas

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

Cemento Portland

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

Estructuras de Hormigón

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

Patrimonio Construido

- Estudios integrales
- Técnicas de reparación y conservación

Materiales de Construcción

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

Fundiciones

- Estudios metalográficos
- Fundición de piezas

Suelos

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

Materiales Bituminosos

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

Mezclas Bituminosas para Pavimentos

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

Ensayos Físico-Mecánicos

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

EDITORIAL

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

En este número de Ciencia y Tecnología de los Materiales se incluyen cuatro trabajos que abarcan temas relacionados con la degradación de un acero inoxidable austenítico en medios con cloruros y el nivel de toxicidad que ello genera, el empleo de un sistema constructivo de suelo-cemento aplicado en la construcción de un barrio de viviendas de Berisso, el uso de nuevos aditivos de base celulosa en la elaboración de mezclas cementíceas y la aplicación de hormigones de retracción compensada y reforzados con fibras. El primer trabajo analiza la corrosión localizada de un acero inoxidable austenítico en un medio de cultivo semejante a los fluidos corporales, en comparación con la alteración producida en un medio de cultivo de referencia. Complementariamente, se evalúa el grado de citotoxicidad de diferentes iones liberados por efecto de la corrosión. La concentración de cloruro prevaleció por sobre los componentes orgánicos del medio de cultivo en el proceso de corrosión del acero. El segundo de los trabajos aborda un estudio comparativo entre un sistema constructivo de suelo-cemento desarrollado en el LEMIT a comienzos de la década del '40 y el sistema de construcción empleado en el desarrollo habitacional del Barrio Obrero de la ciudad de Berisso, analizando las diferencias y similitudes entre los mismos. En el tercer trabajo se presenta un estudio preliminar sobre la inclusión de contenidos variables de un aditivo de celulosa micro-fibrilada en mezclas cementíceas, evaluándose los efectos producidos tanto en el estado fresco como en la resistencia de las mismas. El cuarto trabajo sintetiza los resultados obtenidos en diversos estudios y experiencias en el uso de hormigones de retracción compensada y de hormigones reforzados con fibras aplicados a la construcción de pavimentos y pisos industriales, así como también en aplicaciones de uso combinado de los mismos.

La Plata, diciembre de 2021

CORROSIÓN LOCALIZADA DEL ACERO INOXIDABLE AUSTENÍTICO EN MEDIO DE CULTIVO CELULAR Y EVALUACIÓN DE LA CITOTOXICIDAD DE LOS IONES LIBERADOS

LOCALIZED CORROSION OF AUSTENITIC STAINLESS STEEL IN CELL CULTURE MEDIUM AND EVALUATION OF THE CYTOTOXICITY OF THE RELEASED IONS

Julieta Parisi¹, Daniel Castrigiovanni¹, Jorge E. Grau², Ricardo W. Gregorutti², Cecilia I. Elsner³

¹ *IMBICE CICPBA-CONICET-CCT, La Plata, Argentina.*

² *LEMIT - CICPBA, La Plata, Argentina, metalurgia@lemit.gov.ar*

³ *CIDEPINT CICPBA-CONICET-CCT, UNLP, La Plata, Argentina; direccion@cidepint.ing.unlp.edu.ar*

RESUMEN

El acero inoxidable austenítico ASTM F745 ha sido sometido a corrosión localizada en medio de cultivo celular y solución acuosa de NaCl, cuyas concentraciones de cloruro fueron 4413,2 mg L⁻¹ y 5423,1 mg L⁻¹, respectivamente. Se ha observado que la susceptibilidad a la corrosión localizada fue menor en el medio de cultivo debido a su menor contenido de cloruros. El Fe fue el metal más liberado en ambos medios durante el proceso de corrosión. Las concentraciones fueron 0,570 mg L⁻¹ en la solución acuosa de NaCl y 0,480 mg L⁻¹ en el medio de cultivo. Las concentraciones de Cr y Mo fueron similares en ambos medios, habiendo sido 0,040 mg L⁻¹ y 0,010 mg L⁻¹, respectivamente, mientras que Ni solo se detectó en la solución acuosa de NaCl, 0,100 mg L⁻¹. Estas concentraciones de iones liberados no provocaron efectos citotóxicos en células similares a osteoblastos.

Palabras clave: *Corrosión localizada, Liberación de iones, Citotoxicidad, Acero inoxidable austenítico*

ABSTRACT

Austenitic stainless steel ASTM F745 has been submitted to localized corrosion in cell culture medium and NaCl aqueous solution, whose chloride concentrations were 4413,2 mg L⁻¹ and 5423,1 mg L⁻¹, respectively. It has been observed that the susceptibility to localized corrosion was lower in the culture medium due to its lower chloride content. Fe was the most released metal in both media during the corrosion process. The concentrations were 0,570 mg L⁻¹ in the NaCl aqueous solution and 0,480 mg L⁻¹ in the culture medium. The concentrations of Cr and Mo released were similar in both media, having been 0,040 mg L⁻¹ and 0,010 mg L⁻¹, respectively, while Ni was only detected in the NaCl

aqueous solution, 0,100 mg L⁻¹. These concentrations of ions released did not cause cytotoxic effects in osteoblast-like cells.

Keywords: *Localized corrosion, Ion release, Cytotoxicity, Austenitic stainless steel*

INTRODUCCIÓN

Uno de los aspectos más importantes con respecto al uso de biomateriales metálicos en el cuerpo humano es la resistencia a la corrosión, debido a que los fluidos biológicos contienen iones agresivos, como el Cl⁻, que pueden provocar corrosión localizada. Una preocupación adicional son los posibles efectos adversos que pueden causar los componentes de aleación presentes en los biomateriales metálicos. El acero inoxidable austenítico ASTM F745, tiene una composición de Cr y Ni que puede causar diferentes reacciones sistémico-tóxicas. El Cr, en el estado Cr⁺⁶ puede ser tóxico y cancerígeno en concentraciones suficientemente altas [1-5], mientras que el níquel, puede provocar efectos alérgicos, carcinogénicos y de cito y genotoxicidad [1,2,5,6-11]. Aunque la liberación de iones puede ocurrir espontáneamente, un eventual proceso de corrosión la incrementaría.

Las pruebas in vitro evalúan de forma rutinaria la resistencia a la corrosión de los biomateriales metálicos utilizando soluciones que simulan los fluidos corporales, que consisten principalmente en sales y medios inorgánicos con y sin adiciones de suero [12]. Sin embargo, los fluidos biológicos, además de las sales inorgánicas, contienen compuestos orgánicos, como proteínas, vitaminas, aminoácidos, hormonas y hemoglobina, razón por la cual algunos autores han mencionado que las pruebas in vitro pueden no representar de manera confiable los procesos que ocurren en el cuerpo y desarrollaron experimentos para evaluar la corrosión durante el cultivo de células [13-15].

El presente trabajo evalúa la corrosión localizada del acero inoxidable austenítico ASTM F745 (en adelante F745-SS), en un medio de cultivo celular que se asemeja a los fluidos corporales.

Los resultados se comparan con los obtenidos con una solución salina que contiene 0,9% de NaCl utilizada con frecuencia en pruebas in vitro. Se ha prestado especial atención a la concentración de cloruros en los medios utilizados, ya que es el anión más agresivo desde el punto de vista de la corrosión localizada en el acero inoxidable austenítico. Finalmente, se midió la concentración de Fe, Cr, Ni y Mo liberados por el efecto de la corrosión localizada, y posteriormente se evaluó el posible efecto citotóxico sobre la línea de células osteoblásticas UMR-106 (ATCC CRL-1661), mediante los ensayos de rojo neutro y MTT.

Materiales y métodos

Materiales

Se obtuvieron muestras de acero inoxidable austenítico F745-SS mediante un proceso de fundición a la cera perdida, técnicas utilizadas para fabricar implantes quirúrgicos [16]. La composición química fue la siguiente: 0,04% C, 18,09% Cr, 14,46% Ni, 2,02% Mo, 0,49% Si y 0,90% Mn. El acero inoxidable se sometió a un tratamiento térmico de recocido y solubilizado para disolver las fases de carburo no deseadas y la ferrita-δ que normalmente precipitan en los límites de los granos durante la solidificación.

Ensayo electroquímico

La susceptibilidad a la corrosión localizada se evaluó mediante pruebas de polarización cíclica. La celda de corrosión se ensambló con el material de prueba como electrodo de trabajo con 3 cm² de área, electrodo de calomel saturado (SCE) como referencia y un electrodo de Pt como auxiliar.

Se utilizaron dos electrolitos: 1) un medio de

cultivo completo compuesto por medio de Eagle modificado de Dubelco (DMEM) con alto contenido de glucosa, suplementado con suero de ternero fetal inactivado al 10% (en adelante, CCM) y 2) solución acuosa de NaCl al 0,9% en peso (en adelante, (NaCl-AqS)). Las pruebas se realizaron a pH = 7,4 y 37 ° C, utilizando Potenciostato / Galvanostato EG&G Modelo 273A controlado por el programa CorrWear®. Las muestras se mantuvieron durante 1 h a potencial de circuito abierto (Eoc), y posteriormente, se realizó un escaneo de potencial a 0,25 mVs⁻¹ en la dirección anódica desde un valor de potencial 0,200 V más catódico que Eoc, hasta alcanzar las condiciones de inversión ($E = 3 \text{ V} / \text{SCE}$ o $j = 10^{-4} \text{ A cm}^{-2}$). Después de las pruebas, las concentraciones liberadas de Fe, Cr, Ni y Mo se midieron mediante ICP-OES y la concentración de cloruro en el medio se midió mediante el método de Mohr.

Citotoxicidad

Los ensayos de citotoxicidad se realizaron empleando la línea celular osteoblástica de rata UMR-106 (ATCC, CRL-1661). Las células fueron expuestas al CCM que contenía los iones liberados en el ensayo de corrosión, evaluándose la viabilidad celular con los bioensayos de rojo neutro (RN) y ensayo de reducción del bromuro de 3(4,5 dimetil-2-tiazolil)-2,5-difeniltetrazolico (MTT). Los efectos sobre las células se han comparado con controles positivos y negativos. El control negativo [CTR (-)] estuvo representado por el CCM sin exposición al F745-SS, mientras que el control positivo [CTR (+)] fue el CCM con un agente citotóxico (fenol al 0,01%).

Resultados

Corrosión localizada

Las curvas de polarización cíclica del F745-SS en los dos medios se muestran en la Figura 1. El ensayo evalúa la susceptibilidad a la corrosión localizada y la capacidad para su desarrollo determinando el potencial de corrosión (E_{Corr}), el potencial de picado (E_{Pit}) y el potencial de repasivación (E_b). El

rango de pasividad del material está determinado por la diferencia ($E_{\text{Pit}} - E_{\text{Corr}}$) y su capacidad de repasivación por la diferencia ($E_{\text{Pit}} - E_b$). Cuanto mayor es ($E_{\text{Pit}} - E_{\text{Corr}}$), menor es la susceptibilidad a la corrosión localizada. Por otro lado, cuanto menor sea ($E_{\text{Pit}} - E_b$), mayor será la capacidad de repasivación.

Los resultados obtenidos han mostrado que el F745-SS ha tenido mayor rango de pasividad (0,835 V) en CCM con respecto a su comportamiento en NaCl-AqS (0,460 V). La capacidad de repasivación, en cambio, ha sido similar en ambos medios, aunque ligeramente superior en CCM.

Otra característica a considerar es el amplio lazo de histéresis que se ha observado en ambas curvas de polarización, propio de materiales que tienen una mayor tendencia a sufrir corrosión localizada y/o corrosión por rendija.

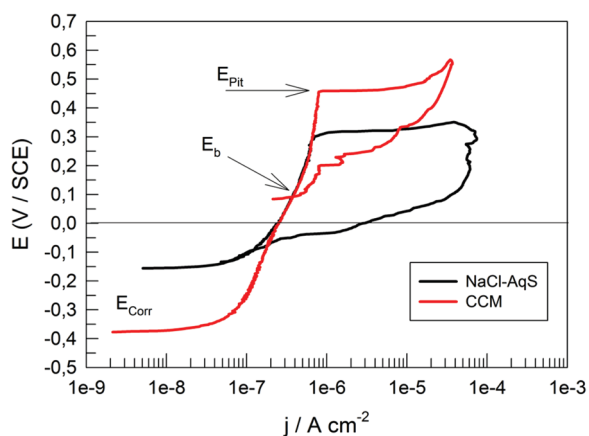


Figura 1: Curvas de polarización del F745-SS en CCM y en solución acuosa de NaCl.

En la Figura 2 se muestra el picado provocado por la corrosión localizada, donde se aprecia que el daño producido en NaCl-AqS parece ser mayor que en CCM.

También se ha observado indicios de picado por corrosión en la interfaz entre la matriz y las inclusiones no metálicas, como se muestra en la Figura 3.

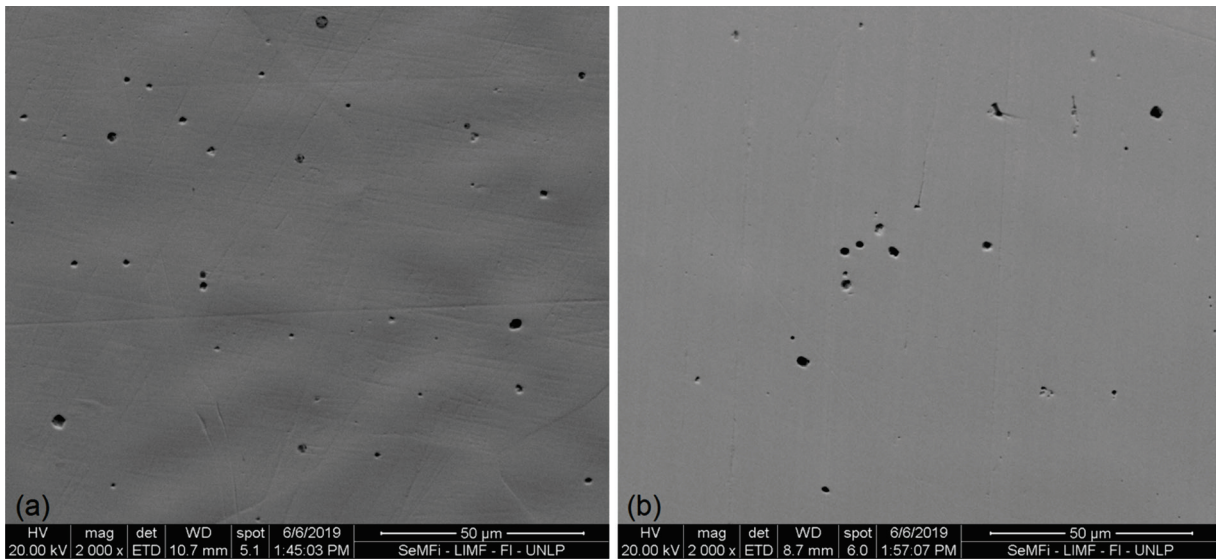


Figura 2: Daño por corrosión localizada causado en el ensayo de polarización cíclica; (a) en NaCl-AqS, (b) en CCM.

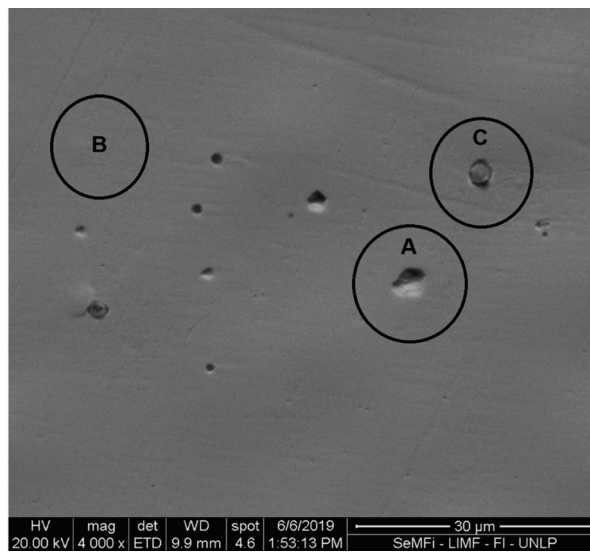


Figura 3: Imagen SEM de los daños por corrosión localizada y zonas de análisis EDS. A: zona de corrosión; B: matriz y C: corrosión iniciada en la interfaz matriz / inclusión.

Los análisis de EDS realizados en las regiones con picado indicaron la presencia de Cl y un mayor porcentaje de O con respecto a las áreas no afectadas por corrosión localizada, como se indica en la Tabla 1.

Tabla 1. Análisis EDS en la matriz y zona de corrosión. Concentraciones en% en peso.

Elementos [% en masa]	Matriz	Pit de corrosión
Fe	60,85	57,63
Cr	17,86	17,03
Ni	14,63	13,77
Mo	2,59	2,44
Si	0,39	1,32
O	0,48	3,61
Cl	-	0,10

Los iones liberados en el proceso de corrosión localizada han sido medidos por ICP-OES. Los valores reportados en la Tabla 2, indican que Fe fue el elemento más liberado en ambas experiencias, siendo mayor la cantidad registrada en NaCl-AqS. Las concentraciones de Cr y Mo fueron considerablemente inferiores a las de Fe y similares en ambos medios, mientras que Ni solo se detectó en NaCl-AqS, ya que en CCM su concentración estuvo por debajo del límite de detección (LD).

Tabla 2. Concentraciones de iones liberados en los ensayos de corrosión localizada.

	Fe	Cr	Ni	Mo
	[mg L ⁻¹]			
NaCl-AqS	0,570	0,040	0,100	0,010
CCM	0,480	0,040	< DL	0,010
LD ^[a]	0,018	0,003	0,011	0,002

^[a]Límite de detección

Ensayos de citotoxicidad

Los posibles efectos adversos de Fe, Cr, Ni y Mo en las células UMR-106 se han evaluado en los ensayos RN y MTT. Los resultados se muestran en las Figuras 4 y 5, donde el efecto de los iones liberados durante las pruebas de corrosión se compararon con CTR (-) y CTR (+).

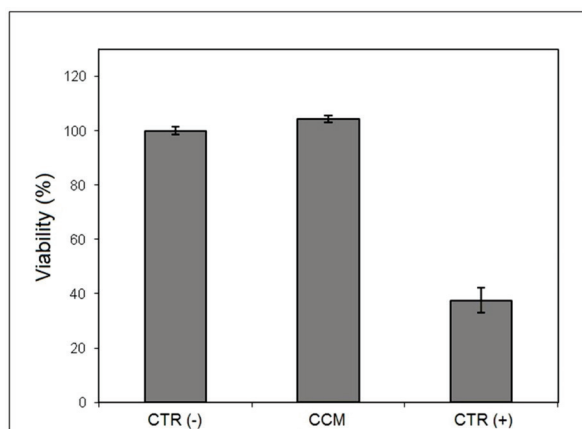


Figura 4: Ensayo de rojo neutro. CCM, medio obtenido del ensayo de corrosión localizada; CTR (-), medio sin exposición al material estudiado; CTR (+), medio con un agente tóxico (fenol al 0,01%).

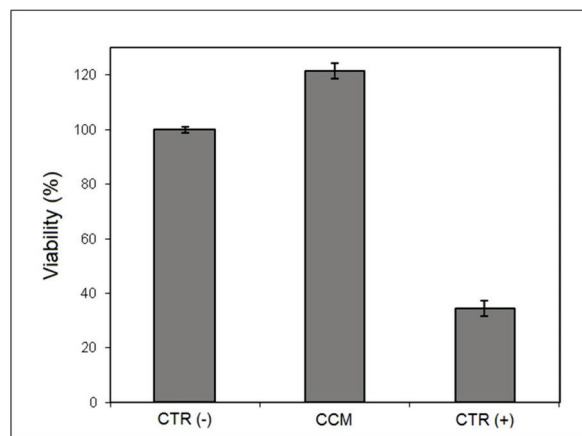


Figura 5: Ensayo MTT. CCM, medio obtenido del ensayo de corrosión localizada; CTR (-), medio sin exposición al material estudiado; CTR (+), medio con un agente tóxico (fenol al 0,01%).

El ensayo NR evalúa la viabilidad celular mediante la actividad lisosómica. Las células viables pueden absorber colorante NR (clorhidrato de 3-amino-7-dimetil-amino-2-metil-fenazina) en los endosomas y lisosomas, este es el fenómeno que evidencia la cantidad de células vivas presentes en el medio de cultivo, expuestas a un agente tóxico [17,18].

Las células expuestas al CCM han mostrado una alta viabilidad, comparable a la expuesta a CTR (-), mientras que las CTR (+) han mostrado el daño causado por el agente tóxico.

Por otro lado, el ensayo MTT evalúa la actividad metabólica mitocondrial de las células. Las células viables promueven la reducción del bromuro de tetrazolio 3-(4, 5-dimetiltiazolil-2)-2, 5-difeniltetrazolio (MTT) a formazán púrpura insoluble por la acción de la enzima succinato deshidrogenasa presente en las mitocondrias [17-19]. Las células con un metabolismo bajo reducen muy poco el MTT, mientras que las células que se dividen rápidamente exhiben una alta tasa de reducción.

Como en el caso del ensayo NR, los CCM que contienen los iones liberados por la prueba de corrosión localizada no han infligido ninguna alteración en la actividad mitocondrial y han presentado una alta viabilidad celular.

Análisis de los resultados

Las pruebas in vitro suelen utilizar soluciones inorgánicas para inducir los procesos de corrosión, emulando los fluidos corporales. Sin embargo, estos últimos se componen de soluciones complejas de constituyentes orgánicos e inorgánicos, así como de iones diversos. Entre ellos, el cloruro es el que más afecta la resistencia a la corrosión de los biomateriales metálicos, ya que desestabiliza la película pasiva, promoviendo formas locales de corrosión por picado y rendijas [20,21]. Según la norma ASTM F2129/17 [22], la concentración de cloruro varía en diferentes fluidos fisiológicos, siendo 4042 mg L⁻¹ en líquido intersticial, 3811 mg

L⁻¹ en sinovial y 3581 mg L⁻¹ en suero. Hanawa [23], en su trabajo sobre la liberación de iones de las aleaciones utilizadas en implantes ha reportado una concentración de cloruro de 117 mEq L⁻¹ en líquido intersticial y 113 mEq L⁻¹ en suero, tomando en consideración que estos valores implican un serio riesgo de corrosión. En el presente trabajo, las condiciones experimentales de las pruebas de corrosión en CCM se asemejaron a las del cuerpo humano, ya que su concentración de cloruro ha sido similar a las reportadas por Fotakis y Timbrell [18] y van Meerloo et al. [19]. El caso del NaCl-AqS es diferente en el sentido de que su concentración de cloruros supera considerablemente la de los fluidos corporales. Esa condición implica que los ensayos in vitro se realizan en condiciones más desfavorables que las del medio corporal.

De acuerdo con las curvas de polarización cíclica de la Figura 1, se podría argumentar que el cloruro tiene mayor incidencia en la corrosión localizada que las vitaminas, los aminoácidos y los componentes orgánicos.

En cuanto a la influencia de las sustancias orgánicas en la corrosión, Hanawa [23], basándose en otros trabajos [24,25], menciona que las proteínas y los aminoácidos aumentan la velocidad de disolución de la película pasiva de los aceros inoxidable, mientras que Eliaz [21] sostiene que el papel de las proteínas es ambiguo y depende de cuál se utilice en los experimentos. El origen de este comportamiento diferencial podría estar relacionado con el hecho de que algunos de estos compuestos contienen cloruro en su composición, como las proteínas L-Arginina. ClH, L-Cistina.2ClH, L-Histidina.ClH.2H₂O y L-Lisina.ClH que aparecen en el CCM utilizado en el presente trabajo.

El cloruro provoca la disolución de la película pasiva de Cr₂O₃ permitiendo el acceso de O a la zona dañada [26], como lo ha demostrado el análisis EDS en las zonas de corrosión, en las que se ha detectado la presencia de Cl y O. Así, la acumulación de O provocaría la oxidación de

los elementos constituyentes del acero inoxidable, lo cual se ha reflejado en la Tabla 1. En ambos medios se ha observado una mayor concentración de Fe liberado luego de las pruebas de corrosión localizada, posiblemente por ser el elemento mayoritario en la aleación con respecto al Cr, Ni y Mo.

En los aceros inoxidables tipo 316L, como es el caso del F745-SS, el Mo no solo mejora la resistencia a la corrosión por cloruros, sino que también favorece la restauración de la película pasiva [21,27]. Por ello, la capacidad de repasivación, dada por (EPit - Eb), ha sido similar en ambos medios, pues representa una característica intrínseca del material, particularmente del contenido de Mo. Por otro lado, la extensión de la región de pasividad depende de la resistencia a la corrosión localizada del material y de la agresividad del medio, que en este caso es función de la concentración de cloruro. Por otro lado, se ha evaluado el potencial efecto citotóxico de los iones Fe, Cr, Ni y Mo liberados por el F745-SS en el proceso de corrosión localizada, considerando que esto implica una situación crítica en el desempeño del material.

La línea de células osteoblásticas UMR-106 ha sido seleccionada para ensayos debido a sus características relacionadas con las células óseas. Las células fueron expuestas al CCM con la concentración de iones indicada en la Tabla 2.

El ensayo NR ha revelado que la cantidad de iones liberados durante la prueba de corrosión localizada no ha causado ningún efecto dañino sobre la función lisosomal, y se ha observado una alta viabilidad en las células expuestas a CCM. De manera similar, la actividad metabólica experimentada en el ensayo MTT ha sido lo suficientemente alta como para afirmar que no hay efectos adversos sobre las mitocondrias.

Estos ensayos de citotoxicidad no se han realizado a partir de medios de cultivo acondicionados según la norma ISO10993-5, sino con los medios obtenidos del ensayo de corrosión. Sin embargo, los

resultados han sido similares a los obtenidos en un trabajo anterior sobre el mismo acero inoxidable, que se ha realizado siguiendo las directrices de la citada norma [28]. En ambos casos, los resultados no han mostrado diferencias significativas con respecto al CTR (-). La evidencia de no toxicidad de F745-SS está de acuerdo con otros autores que han estudiado el efecto citotóxico del acero inoxidable austenítico AISI 316L / ASTM F138, utilizando diferentes líneas celulares, sin encontrar efectos adversos sobre la viabilidad celular [29-31].

CONCLUSIONES

La corrosión localizada sufrida por F745-SS ha dependido principalmente de la concentración de cloruro, más que de los componentes orgánicos del medio de cultivo. Estos resultados han revelado que las pruebas in vitro realizadas con la solución de NaCl al 0,9% son más agresivas desde el punto de vista de la corrosión.

El Fe ha sido el metal más liberado en el proceso de corrosión localizada, mientras que las concentraciones de Cr, Ni y Mo han sido similares en ambos medios. Por otro lado, el Ni sólo se ha detectado en la solución salina de NaCl.

Los resultados obtenidos de las pruebas RN y MTT han demostrado que la concentración de iones liberada por la corrosión localizada en el medio de cultivo no ha provocado efectos adversos sobre la viabilidad de las células osteoblásticas UMR-106.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CICPBA), bajo el Proyecto PIT-AP-BA 2016. Los autores desean agradecer a la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y la Universidad Nacional de La Plata, Argentina.

REFERENCIAS

- 1.- Sargeant A, Goswami T. Hip implants – Paper VI – Ion concentrations, Mater. and Design. 2007;28:155–171.
- 2.- Shettlemore MG, Bundy KJ.. Examination of in vivo influences on bioluminescent microbial assessment of corrosion product toxicity, Biomaterials. 2001;22:2215-2228.
- 3.- Achmad RT, Budiawan B, Auerkari EI. Effects of Chromium on Human Body, Annu. Res. Rev. Biol. 2017;13:1–8.
- 4.- Afolaranmi GA, Tettey J, Meek RMD, et al. Release of Chromium from Orthopaedic Arthroplasties, Open. Orthop. J. 2008;2:10-18.
- 5.- Hallab NJ, Jacobs JJ. Biologic effects of implant debris. Bull. NYU. Hosp. Jt. Dis. 2009;67:182–188.
- 6.- Tanaka R, Goi Y, Ishihara K, et al. Assessment of the release of nickel from biomaterials in vivo and in vitro: enhancement by lipopolysaccharide, Inflammation and Regeneration. 2011;31(3):302-306.
- 7.- Taira M, Toguchi MS, Hamada Y, et al. Studies on cytotoxic effect of nickel ions on three cultured fibroblast, J. Mater. Sci.: Mater. Med. 2001;12:373–376.
- 8.- Niinomi M. Recent metallic materials for biomedical applications. Metall. Mater. Trans. A, 2002;33A:477–485.
- 9.- Sumita M, Hanawa T, Teo SH. Development of nitrogencontaining nickel-free austenitic stainless steels for metallic biomaterials – review. Mater. Sci. Eng. C. 2004;C24:753–760.
- 10.- Lu X, Bao X, Huang Y, et al. Mechanisms of cytotoxicity of nickel ions based on gene expression profiles. Biomaterials. 2009;30:141–148.
- 11.- Yang K, Ren Y. Nickel-free austenitic stainless steels for medical applications. Sci. Technol. Adv. Mater. 2010;11:1–13.
- 12.- Hiromoto S. Corrosion of metallic biomaterials in cell culture environments, Electrochem. Soc. Interface. 2008;17:41–44.
- 13.- Nakayama Y, Yamamoto T, Kotoura Y, et al. Biomaterials. 1989;10:420. As quoted by Ref. 12.
- 14.- Hiromoto S, Noda K, Hanawa T. Development of electrolytic cell with cell-culture for metallic biomaterials. Corros. Sci. 2002;44:955-965.
- 15.- Bumgardner JD, Lucas LC. Corrosion and cell culture evaluations of nickel-chromium dental casting alloys. J. Appl. Biomater. 1994;5(3):203-213.

- 16.- Brunski JB. Classes of materials used in medicine. In: Ratner BD, Hoffman AS, Schoen FJ, et al., editors. Biomaterials science – An introduction to materials in medicine. San Diego (CA): Academic Press; 1996. p. 37–50.
- 17.- Weyermann J, Lochmann D, Zimmer A. A practical note on the use of cytotoxicity assays. *Inter. J. of Pharm.* 2005;288:369-376.
- 18.- Fotakis G, Timbrell JA. In vitro cytotoxicity assays: comparison of LDH, neutral red, MTT and protein assay in hepatoma cell lines following exposure to cadmium chloride. *Toxicol. Lett.* 2006;160(2):171-177.
- 19.- van Meerloo J, Kaspers GJ, Cloos J. Cell sensitivity assays: the MTT assay. *Methods Mol. Biol.* 2011;731:237-245.
- 20.- Wards R, Denaburg CR, Taylor DO. Corrosion failures. In: Boyer E., editor. Failure Analysis and prevention. ASM Handbook, Vol. 11. Ohio (OH): ASM International; 1975. p. 168-205.
- 21.- Eliaz N. Corrosion of Metallic Biomaterials: A Review, *Materials.* 2019;12(3);407.
- 22.- ASTM F2129–17: Standard Test Method for Conducting Cyclic Potentiodynamic Polarization Measurements to Determine the Corrosion Susceptibility of Small Implant Devices. West Conshohocken: ASTM International; 2017.
- 23.- Hanawa T. Metal ion release from metal implants, *Mater. Sci Engineer. C.* 2004;24:745–752.
24. Merritt K, Brown S.A. Effect of Proteins and pH on Fretting Corrosion and Metal Ion Release, *J. Biomed. Mater. Res.* 1988;22:111-120. As quoted by Reference 22.
- 25.- Williams RL, Brown SA, Merritt K. Electrochemical Studies on the Influence of Proteins on the Corrosion of Implant Alloys. *Biomaterials.* 1988;9:181-186. As quoted by Reference 22.
- 26.- Tihamiyu AA, Eduok U, Szpunar JA, et al. Corrosion behavior of metastable AISI 321 austenitic stainless steel: Investigating the effect of grain size and prior plastic deformation on its degradation pattern in saline media. *Scient. Rep.* 2019;9(1):1–18.
- 27.- Ha H-Y, Lee T, Bae J-H, et al. Molybdenum Effects on Pitting Corrosion Resistance of FeCrMnMoNC Austenitic Stainless Steels. *Metals.* 2018;8:653.
- 28.- Gregorutti RW, Grau JE, Castrogiovanni D, et al. Susceptibility to Localized Corrosion of ASTM F745 and UNS S32750 Stainless Steels Influence of pH and Cytotoxicity Evaluation. *Innovations in Corrosion and Materials Science (Discontinued).* 2020;10:47- 57.
- 29.- Beloti MM, Rollo JMDA, Itman Filho A, et al. In vitro biocompatibility of duplex stainless steel with and without 0.2% niobium. *J. Appl. Biomater. Biomech.* 2004;2:162-168.

30. Sumarta NPM, Danudiningrat CP, Rachmat EA, et al. Cytotoxicity difference of 316L stainless steel and titanium reconstruction plate. *Dent. J.* 2011;44(1):7-11.

31. Wang YB, Li H. F, Zheng YF, et al. Corrosion performances in simulated body fluids and citotoxicity evaluation of Fe-based bulk metallic glasses. *Mater. Sci. and Eng. C.* 2012;32:599-606.

CASA EXPERIMENTAL DE SUELO CEMENTO DEL LEMIT (1943): SIMILITUDES Y DIFERENCIAS CON EL SISTEMA CONSTRUCTIVO ADOPTADO PARA LAS VIVIENDAS DEL BARRIO OBRERO DE BERISSO (1947)

EXPERIMENTAL HOUSE OF CEMENT-SOIL OF LEMIT (1943): SIMILARITIES AND DIFFERENCES WITH THE CONSTRUCTIVE SYSTEM ADOPTED FOR THE HOUSES OF THE WORKING DISTRICT OF BERISSO (1947)

Marianela Novoa Farkas¹

¹ *Profesional LEMIT - CICPBA, La Plata, Argentina, patrimonio@lemit.gov.ar*

RESUMEN

La necesidad de dar solución al histórico déficit habitacional en la provincia de Buenos Aires entre las décadas del 30' y 40', inspiró a profesionales de diversas disciplinas a realizar investigaciones tendientes a dar respuesta a tal problemática. En ese marco se llevó a cabo en el LEMIT en 1943 la investigación de un novedoso sistema constructivo que dio por resultado la construcción de la “casa experimental”, elaborada en su totalidad con suelo cemento”. Esa experiencia y sus resultados servirían de antecedente para la construcción de las viviendas del Barrio Obrero de Berisso (1947), primer barrio del plan de construcción masiva de viviendas obreras en la provincia de Buenos Aires, que tendría lugar a nivel nacional entre 1946 y 1954. Asimismo el LEMIT participó en la elaboración de diversos ensayos para definir los morteros y materiales más convenientes en la construcción de esas viviendas, como así también en los pavimentos del mismo.

Palabras clave: *Casa de suelo cemento, LEMIT, Vivienda económica, Barrio obrero de Berisso.*

ABSTRACT

The need to solve the historical housing deficit in the province of Buenos Aires between the 1930s and 1940s, inspired professionals from various disciplines to carry out research aimed at responding to such problems. Within this framework, the LEMIT carried out in 1943 the investigation of a new construction system that resulted in the construction of the “experimental house”, made entirely with cement-soil”. This experience and its results would serve as a precedent for the construction of the houses in the Barrio Obrero de Berisso (1947), the first neighborhood in the plan for the massive construction of workers'

houses in the province of Buenos Aires, which would take place nationwide between 1946 and 1954. Likewise, the LEMIT participated in the preparation of various tests to define the most suitable mortars and materials in the construction of the houses, as well as in the pavements of the same.

Keywords: *Cement-soil house, LEMIT, Economic housing, Berisso working-class neighborhood.*

INTRODUCCIÓN

La reducción del costo en la construcción de viviendas obreras, vinculado al aprovechamiento de materiales locales y la estandarización del proceso constructivo, fue objeto de estudio del Laboratorio LEMIT¹ al comenzar la década del 40¹, llevándose a cabo en 1943 la construcción de la primer casa experimental realizada en su totalidad con “suelo cemento”. Esa temática surgía en busca de dar solución al profundo déficit de viviendas para los sectores de población de menores recursos, siendo abordada en simultáneo desde diferentes ámbitos técnicos, políticos y económicos. Hacia 1939, el debate quedaba plasmado en las conclusiones del Primer Congreso Panamericano de la vivienda Popular celebrado en Buenos Aires, donde se exponía:

“La estandarización de tipos y elementos de viviendas, como asimismo propiciar la industrialización de la vivienda”,

La “realización de investigaciones regionales experimentales de carácter oficial destinadas a facilitar su economía”.

“La utilización de las materias primas regionales que produzcan por razones de economía, buena vecindad” [1].

Esos lineamientos junto a otros, formaron parte de uno de los pilares de la política de vivienda del período comprendido entre los años 1946-1954, siendo en la provincia de Buenos Aires, el Barrio Obrero de Berisso la primer obra y

campo de experimentación del novedoso sistema constructivo, cuyo método podría estar inspirado en el legado que aportó la casa de “suelo cemento” construida en el LEMIT. Entre los instrumentos de esa política se encontraban: “La normalización de los elementos constructivos, la estandarización de los materiales, así como la modulación de los proyectos destinados a la construcción de viviendas por parte de la industria de la construcción siendo promovidas por el Estado mediante:

- El otorgamiento de prioridades en la disponibilidad de materiales y en la asignación de créditos”,
- “El establecimiento de premios especiales y ventajas económicas a los proyectos y planes que signifiquen un adelanto sobre los procesos de construcción actuales” [2].

Laboratorio LEMIT, campo experimental de “la casa de suelo cemento”:

La casa experimental de suelo cemento, fue construida en los terrenos del LEMIT en 1943, y su proyecto estuvo a cargo del Ingeniero Víctor Carri, por entonces Jefe de Sección de Caminos del Laboratorio. Los estudios y diversos ensayos con suelo cemento comenzaron a desarrollarse con anterioridad, consolidándose con la materialización de la casa. El proyecto, según lo expresaba el por entonces director del LEMIT Ing. Adolfo P. Grisi, “abriga la esperanza de que los resultados obtenidos puedan ser aprovechados directamente

¹ Por entonces dependiente del Ministerio de Obras Públicas de la provincia de Buenos Aires. Actualmente Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica con la misma sigla, de la Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires.

por los técnicos que se dedican a este tipo de construcción económica”, deseo cuyo resultado, llegaría a inspirar y reflejarse prontamente en las viviendas del Barrio Obrero de Berisso.

La casa experimental, fue construida en su totalidad con suelo cemento, utilizándose materias primas de la zona. Se llevó a cabo en los terrenos adyacentes al Laboratorio, con el fin de estudiar el comportamiento de los materiales, perfeccionar su método constructivo, y procurar diversas soluciones para los “puntos singulares” involucrados en la construcción de la misma.

La utilización de los suelos del tipo A-4 según la por entonces clasificación del Public Roads, procedente del camino de La Plata a Magdalena, permitiría el uso de ese tipo de suelos predominantes en nuestra provincia, contribuyendo, según lo expresaba el ingeniero Víctor Carri, a reducir el costo de construcción. Asimismo, observaba que “la clave reside en las soluciones adoptadas para los elementos básicos: paredes, pisos y techo”, y que para su construcción no se requiere personal especializado. En otras palabras, expresaba “el camino razonable y efectivo para reducir el costo

es considerar cada elemento, e introducir si es posible, alguna economía en cada uno de ellos, (...) redundando en la economía total [3].

Las fundaciones se construyeron en mampuestos de tierra cocida asentados con suelo cemento en estado plástico y las últimas cuatro hiladas subsiguientes, hasta la capa aisladora, con morteros de cal, cemento y arena. Su resultado fue satisfactorio, al no producirse fisuras provenientes del asentamiento. Asimismo, se recomendaba construir las capas de barro del mínimo espesor posible.

Diseño de la vivienda: se proyectó con un total de 70,5 M², siendo sus caras de 9,70 metros de frente por 8,00 m. de fondo. La misma consistió en un prototipo compuesto por dos dormitorios, comedor, baño y cocina, y sobre el frente una galería de acceso. La cubierta se proyectó simétrica a dos aguas (Figura 1).

Para la preparación de la mezcla de suelo, cemento y agua, se utilizó una máquina de mortero N°2, procediendo a echar el suelo seco en la máquina donde era triturado, intercalando entre cada carga

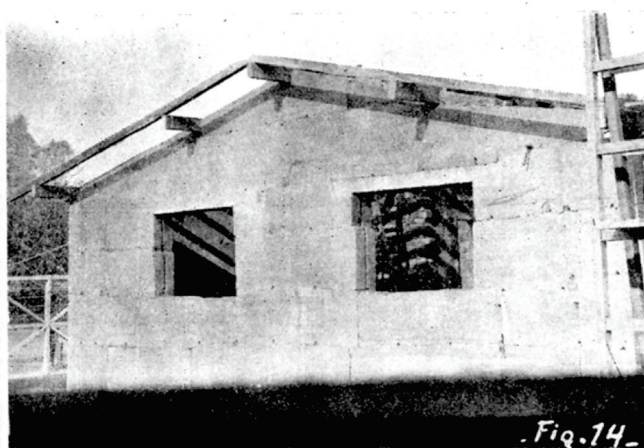
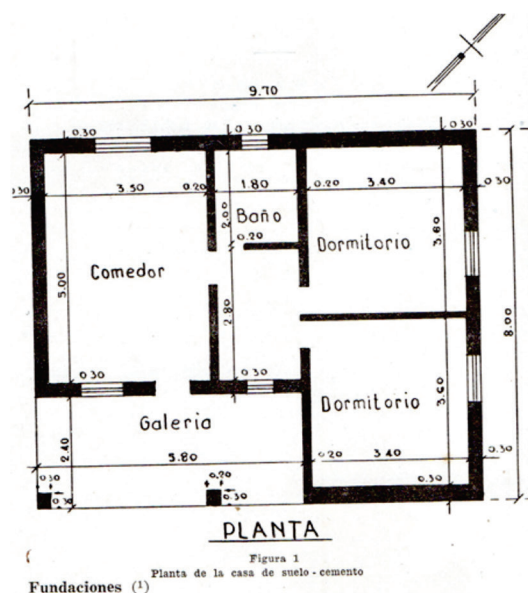


Figura 1: Plano de planta y vista lateral de la vivienda en proceso de edificación [3].

de suelo partes del cemento a incorporar. Una vez lograda la mezcla en seco, se adicionaba el agua necesaria para obtener el gado de humedad óptima. Luego de una serie de ensayos, se observó que en los muros construidos mediante ese procedimiento se produjeron algunas fisuras. Por ese motivo y luego de realizar diversas hipótesis y pruebas directas, se llegó a la conclusión de que “la causa podría ser el mezclado a máquina”. Eso quedó comprobado luego de llevar a cabo la construcción de un muro por mitades con mezcla las de los dos tipos, resultando la aparición de fisuras en la mitad construida con la mezcla a máquina.

Continuando el preparado de la mezcla de modo manual, se pasó el suelo por una zaranda para separar los terrones y desmenuzarlos.

Finalmente, las proporciones de la mezcla utilizada fueron las siguientes: Cemento portland: 6% del peso seco del suelo, cal hidratada: 2% del peso seco del suelo y humedad: 17% del peso de la mezcla [3].

Moldes: para su construcción se tuvieron en cuenta una serie de ensayos anteriores, construyéndose para la presente casa experimental un molde compuesto por dos tablas principales de 2,5 cm de espesor, apoyadas sobre tirantillos horizontales de 3,1 cm x 5 cm, que apoyan sobre otros verticales de 10 cm x 5 cm, dejando un espesor para los muros de 30 cm. Esas mismas atravesadas de lado a lado por bulones mediante escotaduras dispuestas en sentido superior e inferior en correspondencia a los tirantillos verticales. La disposición de los moldes resultó clave en el proceso constructivo, habiéndose elaborado un plano de ubicación de cada uno de esos (Figura 2), teniendo en cuenta las siguientes recomendaciones:

- “En cada hilada se debe construir primero el muro de alineación que no penetra y luego el que penetra,
- En todos los casos se construirán primero las secciones extremas y luego las internas”

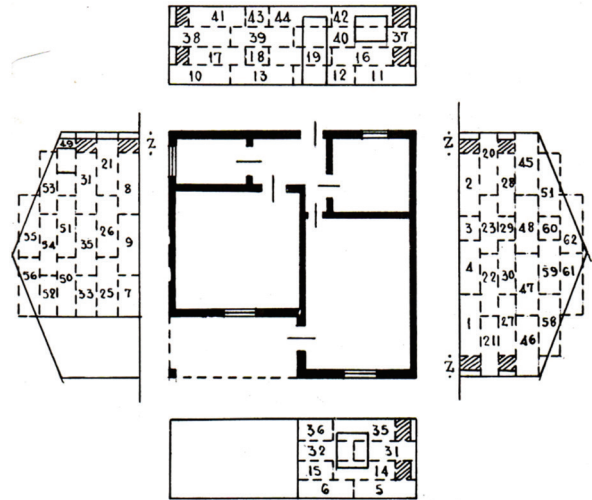


Figura 2: Ubicación de moldes [3].

Construcción de esquinas: como primera experiencia se adoptó un molde especial para resolver los encuentros en esquinas, pero no siendo satisfactorio el resultado, se optó por ejecutar la construcción de los muros de modo alternado. Es decir, “haciendo llegar hasta el filo exterior los blocks de los muros. El molde, se colocó “haciendo coincidir la cara interior de la tapa con el paramento exterior de la sección normal inferior” [3].

En la ejecución de los vanos para las aberturas se experimentaron diversos procedimientos constructivos, resultando el método más satisfactorio, la construcción mediante la colocación de los moldes de modo independiente de las aberturas, “como si se tratara de construir un muro relleno”, proyectándose para tal fin un molde especial. Es decir, un molde se coloca en el lugar de las aberturas, quedando luego dentro del molde principal (Figura 3). Como conclusión se recomendó a fin de disminuir ese tipo de moldes, “proyectar la carpintería lo más uniforme posible en lo que respecta a su ancho”, adoptando dos dimensiones, una para las ventanas dobles y otra para las puertas y ventanas de cocina y baño. Esas recomendaciones podrían haberse tenido en cuenta para las viviendas del barrio obrero, dada la similitud en el procedimiento constructivo.

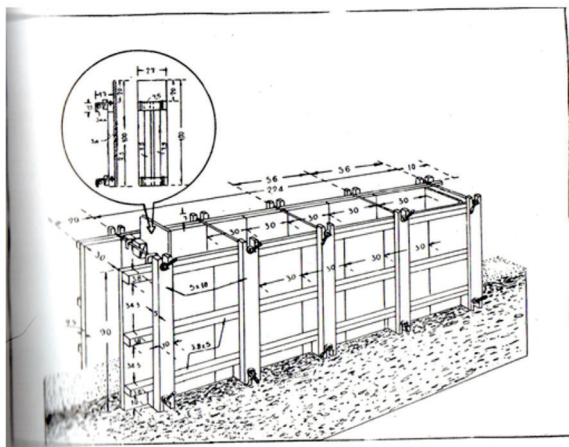


Figura 3: Molde recto.

Sobre los vanos de las aberturas, sobrepasando su altura libre se colocaron dinteles de hormigón fabricados en el suelo, encastrándolos luego en los muros por medio de cortes en los mismos. Una vez colocados los dinteles se prosiguió a la construcción de los muros sobre ellos hasta llegar a la altura prefijada para el montaje de la estructura del techo. La solución adoptada, según el autor, tuvo el inconveniente de resultar con un peso excesivo, advirtiendo que “otra solución sería la de colocar dinteles formados por dos tirantes de madera separados por tacos del mismo material” [3].

Los tabiques interiores de la vivienda se construyeron con ladrillos apisonados. Para la ejecución de esos, se diseñó un molde de tipo “múltiple, consistente en cuatro tirantes fijos sobre una base de hormigón simple”, con divisiones intermedias mediante separadores encastrados en los tirantes [3].

Se utilizó un mortero de suelo y cemento de 4 en 1, en estado plástico. Asimismo, se realizaron ensayos con ladrillos de adobe con suelo cemento, los cuales no alcanzaron a un resultado aceptable.

Los pisos de la vivienda se construyeron de dos maneras diferentes a fin de observar los comportamientos. Con excepción de uno de los

locales, en el resto se realizó un contrapiso de suelo cemento y una capa de desgaste con arena de río, granza cuarcítica y cemento. Para el contrapiso se empleó el mismo suelo usado en los muros, con 10% de cemento portland del peso del suelo seco. El espesor compactado fue de 10cm; pudiendo reducirse el mismo a 8cm.

La mezcla de suelo cemento- agua se realizó en la misma forma que para los muros. Primeramente, antes de colocar el material se realizó la nivelación de la superficie y se compactó con pisones planos. Se colocaron estacas para marcar el espesor del mismo, de manera que al concluir queden 3cm. debajo del nivel final del piso. El material se desparramó y se compactó con pisones planos y ojivales, realizando entre tres obreros dispuestos en fila círculos concéntricos comenzando por la periferia. La superficie se terminó con una textura rugosa para una mejor unión con la capa de desgaste.

La capa de desgaste se realizó pasados diez días de terminado el contrapiso.

En la segunda experiencia, para el piso de uno de los locales de la vivienda, se construyó con “hormigón pobre de cascote con polvo de ladrillo y cal hidratada en la proporción de 10:1 en volumen, en la misma forma que se realiza para los pisos de mosaico”. La capa de desgaste se realizó con arena oriental gruesa y granza cuártica con polvo de cemento portland [3].

Para la construcción de la cubierta, al igual que en el resto de los componentes se empleó “el suelo cemento”. Las primeras pruebas se efectuaron sobre un techo de ensayo de 1.80 m x 30 cm, formado por tirantes de 7.5 cm x 15 cm colocados paralelos a la pendiente del techo, que apoyaban sobre otros tirantes perpendiculares. Sobre los primeros tirantes se colocó un entablonado de pino Paraná de 1.3 cm x 30 cm. y sobre ese, en un espesor de 5 cm., suelo cemento en estado plástico. La mezcla utilizada tenía 10% de cemento del peso del suelo seco, y se preparó en la misma forma

que la empleada en los ladrillos de adobe. Los resultados de ese ensayo no fueron satisfactorios, ya que al perder humedad se produjeron grietas, por tanto, se procedió a un nuevo ensayo mediante la fabricación de losetas de 30 cm x 40 cm, con el mismo procedimiento que el empleado en los ladrillos de adobe.

Con ese tipo de losetas se construyó el techo de la casa, el que consistió en “estructura resistente de tirantería de madera, entablonado y losetas de suelo cemento de 30 cm x 40 cm x 5 cm.; pintura primaria y un filtro ruberoid de 15 libras. Para su colocación se procedió en el mismo modo que para los techos de tejas: las losetas se colocaron sobre el entablonado en pila de a dos cada 60cm (Figura 4) [3].

Viviendas del Barrio Obrero de Berisso (1947)

La construcción del Barrio Obrero de Berisso, se inició el 16 de mayo de 1947 y constituyó la primer obra del Plan Inicial de Obras Públicas por acción directa del Estado de la provincia de Buenos Aires. Fue considerado por políticos profesionales y técnicos como “campo de experimentación” o “prueba piloto” de la materialización de renovados “sistemas constructivos”, como así también por su organización urbana y tipologías arquitectónicas siguiendo renovados paradigmas de ordenamiento territorial [4].

El proyecto incluyó la construcción de 600 viviendas individuales de variadas tipologías



Figura 4: Vivienda en construcción, donde se observa el montaje de las losetas de la cubierta.



Figura 5: Fotografía aérea del Barrio Obrero de Berisso.

arquitectónicas, proyectadas y organizadas en torno a un pulmón verde con equipamiento de carácter social (Figura 5). El diseño del sistema constructivo de las viviendas fue creado ‘ad hoc’, y la experiencia serviría de ejemplo, sobre el que, en las memorias de las obras públicas se exponía: “necesitamos extremar las conclusiones, a los efectos de aplicarlas a todos los demás barrios [5].

Diseño de las viviendas:

Se proyectaron 6 prototipos diferentes de viviendas individuales, más dos apareados en espejo resueltos entre 40 m² y 64 m² de superficie cubierta, en uno, dos y hasta tres dormitorios, más estar, comedor, cocina y baño. En todos los casos, el baño y la cocina, conformaron un núcleo húmedo compacto y definido (Figura 6)

Determinada la ubicación del barrio, el Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEMIT), realizó los estudios de suelo para elaborar los

proyectos de las fundaciones de los edificios e incluso para la construcción de las calles. Trabajó asimismo en el proceso de localización de yacimientos de conchilla existentes en la zona de Los Talas y ensayó en ‘probetas’ diferentes mezclas de morteros (conchilla, arenas diversas y cemento Pórtland) para definir el hormigón “más conveniente” para la conformación de los muros de las viviendas [4]. Los resultados alcanzados sugirieron para las viviendas “fundación sobre plateas” dada la escasa resistencia del suelo y para los muros, un “hormigón económico sin agregado grueso, compuesto por el porcentaje normal de cemento más arena de río y conchilla” que se estimaba reduciría hasta un 50% el valor por metro cuadrado de vivienda [5].

En un ensayo realizado en el LEMIT en el año 2007 [6] en base a morteros y ladrillos extraídos de una vivienda en estado de demolición, se observó:

Los morteros obtenidos “corresponden según

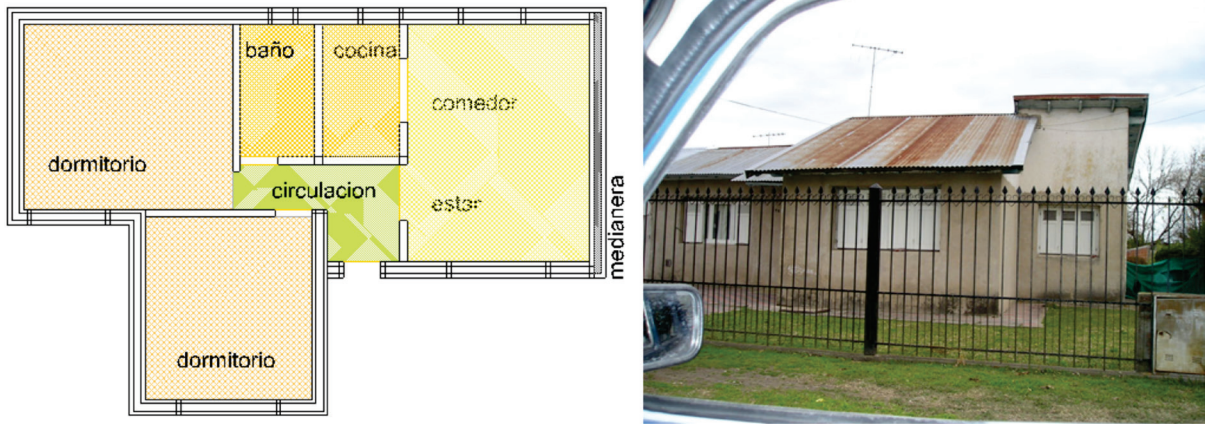


Figura 6: Tipología de vivienda de 60m², dos dormitorios, baño, cocina comedor y estar.

el análisis visual a una mezcla de conchillas, agregados finos y material cementiceo” (Tabla 1)

De la granulometría surge que “el mortero está compuesto por un porcentaje del orden del 17,4% de pasta cementicea y 82,6% de inertes, de los cuales el 40.6% es de arena y el 42% de conchilla. La arena es silicea, de granulometría fina (Tablas 2 y 3).

Ladrillos: “Sobre las muestras de ladrillos cerámicos comunes se determinaron su características dimensiones y resistencia a flexión y compresión ($f'f$ y $f'c$). Además, se determinó la absorción de agua (Abs) y densidad saturada y superficie seca (Dsss)” (Tabla 4) [6].

El análisis de resultados, indican que “el mortero empleado corresponde a morteros cálcicos, ejecutados con cal, arena y un porcentaje elevado

Tabla 1: Resultados de las muestras de morteros [6]

Morteros	Abs, (%)	Dsss	Análisis químicos		
			pH	OCa (%)	OSi (%)
1	29,5	1,77	10,3	34	1
2	12,1	1,76	9,5	8	1
3	20,1	1,92	9,1	25	1

Tabla 2: Granulometría de arena

Tamiz	N° 50	N° 100
% que pasa	100	58

Tabla 3: Granulometría de conchilla.

Tamiz	N° 4	N° 8	N° 16	N° 30	N° 50
% que pasa	82	46	20	8	2

Tabla 4: Resultados de las muestras.

Muestras	Dimensiones (cm)			$f'f$ (MPa)	$F'c$ (MPa)	Abs. (%)	D _{sss}
	a	b	e				
1	14,0	11,0	5,4	0,50	5,7	27,7	1,72
2	14,0	11,5	5,0	0,69	3,3	22,7	1,77

de conchillas, donde algunas de las valvas se encuentran fracturadas y otras enteras. Los valores de absorción son elevados y las densidades normales para el tipo de material que se trata. Asimismo, puede observarse que todo el material se ha carbonatado ya que el pH corresponde al carbonato de calcio. La arena empleada, por su granulometría puede corresponder a la arena fina de la costa del Río de la Plata, en las proximidades de Punta Lara, mientras que la conchilla corresponde a alguna de las canteras en exploración existentes en Berisso". Por último, "los ladrillos no presentan características distintivas, exceptuando su alta absorción y elevada dispersión de valores en las

dos muestras ensayadas en lo que respecta a sus características" [6].

Sistema constructivo implementado en las viviendas:

Sustituyendo la "clásica mampostería de ladrillos" los muros de elevación de las viviendas, se resolvieron mediante cuatro encofrados de madera que formaron tabiques de 8cm de espesor, donde se colaba el hormigón económico, separados por una cámara de aire de 14cm, que garantizaría un eficiente aislamiento tanto térmico como acústico [4] (Figura 7).



Figura 7: Muro exterior de una vivienda (derrumbada en gran parte), donde se observan las dos placas murarias de hormigón (fotografía enero 2007, vivienda ubicada sobre calle 165, Mz. 54a, parcela 16).

De ese muro se tomaron las muestras para los ensayos en el Laboratorio

En ese procedimiento podemos observar una de las diferencias con el adoptado en la casa experimental del LEMIT, dado que en esa los tabiques se construyeron macizos con suelo cemento de 30 cm. de espesor. Asimismo, en el armado de los encofrados y en su procedimiento constructivo se destaca una cierta similitud, como puede observarse en las fotografías tomadas en obra durante la construcción del barrio (Figuras 8 y 9), en el montaje de los paneles de madera y su posterior desencofrado, destacando que la altura de los mismos llegaba hasta el límite superior de los vanos de ventanas y puertas, o altura de dintel.

Una primera aproximación al proceso de construcción nos indica que desencofrados los ‘tabiques’, se arriostraban las vigas de encadenado que funcionaban a la vez como dinteles de los vanos de puertas y ventanas, y por sobre los muros de elevación se completaban un muro de carga en mampostería de ladrillos hasta la altura de soporte de la estructura del techo (Figura 10).

La estructura del techo se realizó con tirantería de madera, mientras que el techo, originariamente con tejas de cerámica (Figura 11).



Figuras 8 y 9: (1) montaje de encofrados de madera, (2) desmontaje de encofrados de madera donde se observa la envolvente de la vivienda realizada con tabiques murarios de hormigón y a poca distancia “las vías decauville”, para el traslado de materiales e insumos con “zorras” [7].

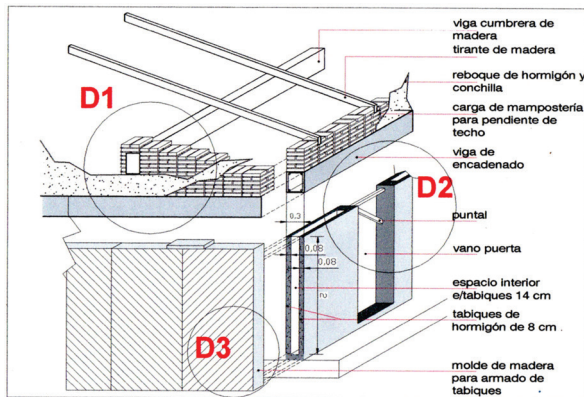


Figura 10: Desglose de los principales elementos que conforman el sistema constructivo de la vivienda. Elaboración propia.



Figura 11: Techo original de tejas (fotografía enero 2007, vivienda ubicada sobre calle 172, Mz. 40a, parcela 11)

Diferencias y Similitudes entre la “vivienda experimental de suelo cemento” y la “vivienda del Barrio Obrero”

Se sintetizan en el siguiente cuadro de modo comparativo los principales elementos constructivos:

Elementos constructivos	Vivienda de suelo cemento LEMIT	Vivienda Barrio Obrero de Berisso
Fundaciones	Zapata en mampuestos de tierra cocida asentados con suelo cemento.	Platea
Mortero	Cemento portland: 6% del peso seco del suelo Cal hidratada 2% del peso seco de suelo Humedad 17% del peso de la mezcla	Pasta cementicia: 17,4% Inertes: 82% → 40% arena → 42 % conchilla
Caja muraria	Paneles de suelo cemento autoportantes de 30 cm de espesor	Paneles de hormigón pobre autoportantes de dos tabiques de 8 cm cada uno, con cámara de aire de 14 cm.
Estructura	Paneles autoportantes	Paneles autoportantes
Moldes	En madera	En madera
Cubierta	Techo a dos aguas, apoyado sobre tirantería de madera, con losetas de suelo cemento	Techo de pendientes asimétricas, apoyado sobre tirantería de madera sobre carga de mampostería. Cubierta con en tejas de cerámica.
Tipología de vivienda	Superficie cubierta 70 m ² . Porch de acceso semicubierto. Dos dormitorios, estar comedor, cocina y baño	Superficie cubierta 60 m ² . Hall de acceso, dos dormitorios, estar comedor, cocina y baño

CONCLUSIONES

Si bien la casa experimental edificada en el LEMIT fue demolida, se encuentra en detalle todo su legado y experiencia constructiva, mientras que aun pueden encontrarse viviendas del barrio obrero en pie, que, aunque pocas en su estado original, puede reconocerse el barrio de las 600 viviendas que confieren al territorio local un importante legado histórico, cultural y patrimonial.

En el caso del proceso de construcción de las viviendas del Barrio Obrero, tuvieron que sortearse numerosos inconvenientes y fue prontamente descalificado por parte de la presa local, tras la aparición de diversas patologías. A un año de su construcción, se advertían “grietas y fisuras” en los muros de elevación atribuidos al proceso de “asentamiento y fragüe del hormigón” que, según una memoria del Ministerio de Obras Públicas, se solucionaron “satisfactoriamente dada

la urgencia bajo el cual se empleó su estudio”, “cuando se procedió a un cuidadoso dosaje de la mezcla usada, en base a recomendaciones hechas por el LEMIT” [8]. Otras dificultades y al punto de desencadenar la demolición de alrededor de 35 viviendas [9] derivaron de procesos de asentamientos diferenciales del terreno, otras de las “negligencias” en la construcción que algunos autores descargaron sobre la empresa constructora, como el caso del “cambio del techo de teja por chapa de fibrocemento” [10].

Se destaca de la presente investigación que las obras analizadas no solo aportan un valioso patrimonio a nivel histórico en la provincia de Buenos Aires, sino, además, sus experiencias podrían ser tomadas en cuenta para posibles soluciones técnico constructivas renovadas en base a la implementación de nuevos materiales y tecnologías.

REFERENCIAS

- 1.- Primer Congreso Panamericano, “Informe final de la Comisión Asesora para la vivienda popular” (1944), en Revista de Arquitectura S.c. de A. Y C. E de A., mayo de 1944 – Buenos Aires, pp. 203-208.
- 2.- 2° Plan Quinquenal de la Provincia de Buenos Aires (1952), VIII G. 8 pp. 65
- 3.- Víctor Carri (1945) “La Casa Experimental de suelo – cemento del Laboratorio”. Serie II, Número 7, LEMIT. Laboratorio de Ensayo de Materiales e Investigaciones Tecnológicas. Dirección de Vialidad. Ministerio de Obras Públicas. Provincia de Buenos Aires.
- 4.- Novoa Farkas, Marianela; Vitalone Cristina E. (2007) “Barrio Obrero de Berisso, el presente campo de experimentación de un sistema constructivo innovador”, en actas de Encuentro Internacional Patrimonio Cultural, contexto y conservación. La Habana. CENCREM.
- 5.- Diarios de Sesiones, Cámara de Senadores, Provincia de Buenos Aires (1948), “Sesión del 1 de agosto”, 91° Período 1947-1948, Tomo I. La Plata: Taller de Impresiones Oficiales.
- 6.- LEMIT (2007), “Barrio Obrero de Berisso, estudio de materiales”. Toma de muestras y realización de estudio 29/08/2007
- 7.- Ministerio de Obras Públicas de la Provincia de Buenos Aires (1948): “Plan General de Trabajos Públicos” – Artículo 13, Ley 5142. Buenos Aires: Editorial Guillermo Kraft Limitada, Sociedad Anónima de Impresiones Generales.

- 8.- Mensaje y Memoria del Ministerio de Obras Públicas de la Provincia de Buenos Aires (1949). La Plata, División de Informaciones e Impresiones MOP.
- 9.- Diario El Día (1956), “Efectuó otra visita al barrio obrero de Berisso el ministro de Obras Públicas. Van a ser demolidas algunas casas”, 10 de agosto.
- 10.- Sanucci, Lia E. M. (1983), “Berisso, un reflejo de la evolución Argentina”, La Plata: Municipalidad de Berisso.

LABORATORIO DE ENTRENAMIENTO MULTIDISCIPLINARIO PARA LA INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA

TECNOLOGÍA DEL HORMIGÓN

Estudio de materiales y componentes del hormigón armado

Estudio de hormigones convencionales y especiales

Durabilidad de agregados y de hormigones en distintos ambientes

Métodos no destructivos

Elaboración de especificaciones técnicas para obras civiles

Evaluación de estructuras construidas afectadas por patologías

Corrosión de armaduras



Investigación y desarrollos tecnológicos

Capacitación RRHH

Servicios Tecnológicos a terceros

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

Tel: (0221) 4831141/44

www.lemmit.gov.ar

USO DE CELULOSA MICROFIBRILADA EN MEZCLAS CEMENTÍCEAS

USE OF MICROFIBRILLATED CELLULOSE IN CEMENTITIOUS COMPOSITES

Leandro E. Carrizo¹

¹ Profesional LEMIT - CICPBA, La Plata, Argentina, hormigones@lemit.gov.ar

RESUMEN

La implementación de nanomateriales generados a partir de celulosa resulta de interés en el campo de los materiales cementíceos, tanto por sus propiedades físicas como por ser un material abundante y renovable. Las microfibras de celulosa producidas mediante refinamiento mecánico poseen una alta relación de esbeltez, una resistencia mecánica considerable y una importante capacidad de retener agua. En este trabajo se evalúa la influencia de celulosa microfibrilada (CMF) en las propiedades de mezclas cementíceas. Se elaboraron pastas de cemento con contenidos variables de CMF (0,1; 0,2 y 0,3 % en peso del cemento) a fin de determinar su influencia sobre la demanda de agua y el tiempo de fraguado. Además, se elaboraron morteros con los mismos contenidos de CMF, evaluándose en este caso extendido y contenido de aire en estado fresco, y resistencia a compresión y a flexión en estado endurecido. El uso de CMF redujo la fluidez e incrementó el tiempo de fraguado. Las resistencias a compresión y flexión resultaron afectadas con el uso de la CMF, aunque si se conserva la relación agua-cemento original, la adición de celulosa microfibrilada podría mejorar las propiedades resistentes de las mezclas cementíceas

Palabras clave: *Nanomateriales; Nanocelulosa; fluidez; Resistencia.*

ABSTRACT

The implementation of nanomaterials generated from cellulose is of interest in the cementitious composites field, because of its physical properties as well as to be an abundant and renewable material. Cellulose microfibrils produced by mechanical refinement have a high slenderness ratio, a substantial mechanical strength and an important ability to retain water. In this work, the influence of a microfibrillated cellulose (MFC) in the properties of cementitious composites is evaluated. Cement pastes with different MFC content (0.1%, 0.2%, and 0.3% by cement weight) were made in order to determine its influence on

water demand and setting time. Moreover, mortars with the same MFC content were made and extended ratio and air content in the fresh state, and compressive and flexural strengths in hardened state were assessed. Using MFC reduced the fluidity and increased the setting time. The compressive and flexural strengths were affected by the use of MFC, although maintaining the original water/cement ratio, the addition of MFC would improve strength properties of cementitious composites.

Keywords: *Nanomaterials; Nanocellulose; Fluidity; Strength.*

INTRODUCCIÓN

La celulosa es el polímero más abundante en la tierra, producido mediante fotosíntesis a una tasa de más de mil toneladas por año [1]. A partir de este polímero puede generarse un nanomaterial llamado nanocelulosa. Las formas más comunes de nanocelulosa son las nanofibras de celulosa, microfibras de celulosa y los nanocristales de celulosa. Los términos nanofibras y microfibras suelen utilizarse de manera intercambiable en la literatura [1,2], y si bien ambas se producen por refinamiento mecánico, las primeras incluyen un pretratamiento adicional a la celulosa para facilitar la fibrilación y obtener dimensiones menores. Para las microfibras las dimensiones pueden variar entre 10-100nm de ancho y 0,5-10 μm de largo, mientras que las nanofibras tienen entre 4-20 nm de ancho y 0,5-2 μm de largo. Ambas contienen regiones amorfas y regiones cristalinas (grado de cristalinidad de 51-69%). Los nanocristales se producen mediante tratamiento de hidrólisis ácida, sus dimensiones rondan los 3-5 nm de ancho por 50-500 nm de largo, y son altamente cristalinos (54-88%) [3,4].

Los materiales de nanocelulosa pueden ser sintetizados a partir de diversas materias primas: polímeros naturales, polímeros sintéticos, nanomateriales basados en carbono, nanomateriales semiconductores y nanomateriales compuestos. Algunas de las aplicaciones de la nanocelulosa incluyen generación y almacenamiento de energía, tratamiento de aguas y medioambiente, cuidado de la salud e ingeniería biomédica [5]. Las regiones cristalinas y su alta relación de esbeltez le confieren al material su resistencia, mientras que los abundantes grupos OH- en la cadena y su gran

área superficial le otorgan una gran capacidad de retener agua.

Cuando este tipo de productos es empleado en mezclas de base cementícea, los resultados hallados resultan con cierta variabilidad. De este modo, pueden encontrarse autores que informan aumentos en la resistencia a flexión que van desde el 20% hasta más del 100% [6-8], mientras que otros concluyen que la resistencia no se ve afectada por el uso de la CMF [9].

En este trabajo se evalúa de qué manera las principales propiedades de pastas de cemento y morteros resultan afectadas por la incorporación de una CMF, empleándola en cantidades que van desde 0,1 a 0,3% en peso del cemento. El material utilizado en este trabajo es presentado por su fabricante como celulosa microfibrilada (CMF). El producto está identificado como una suspensión acuosa al 2%, y se presenta en forma de gel, el cual fue incorporado a las mezclas sin ningún tratamiento previo.

EXPERIENCIAS

Materiales y metodología

Para la elaboración de las mezclas cementíceas se seleccionaron un cemento CPN40 de uso comercial y una arena silíceo natural de río, cuyas propiedades se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1: Propiedades de la arena silícea natural.

Módulo de finura	1,92
Densidad (g/cm ³)	2,64
Absorción (%)	0,13
Pasa tamiz 75µm (%)	0,2

Además, se empleó un aditivo comercial compuesto por una suspensión acuosa (con aspecto de gel, como puede apreciarse en la Figura 1, de microfibras de celulosa al 2%, que a los fines de este trabajo denominaremos celulosa microfibrilada (CMF). En la Figura 2 se muestran imágenes de microscopio del producto, donde puede verse que la longitud de las fibras varía en un rango de 50 a 200 µm, un ancho de 5 a 20 µm y una morfología variada.

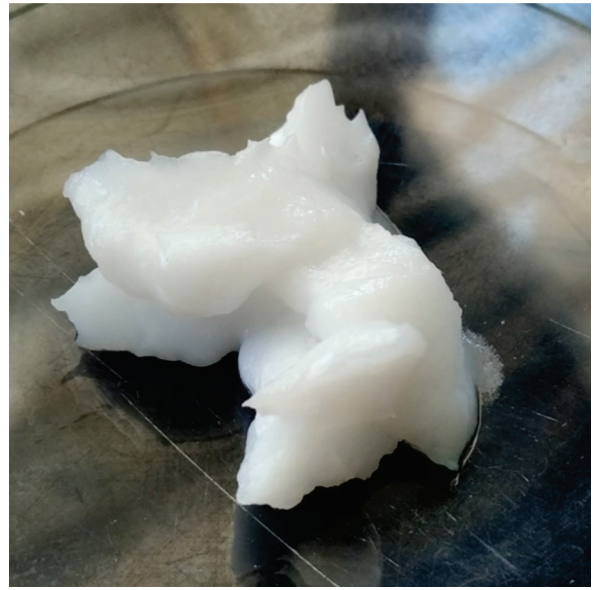


Figura 1: Suspensión acuosa de celulosa microfibrilada.

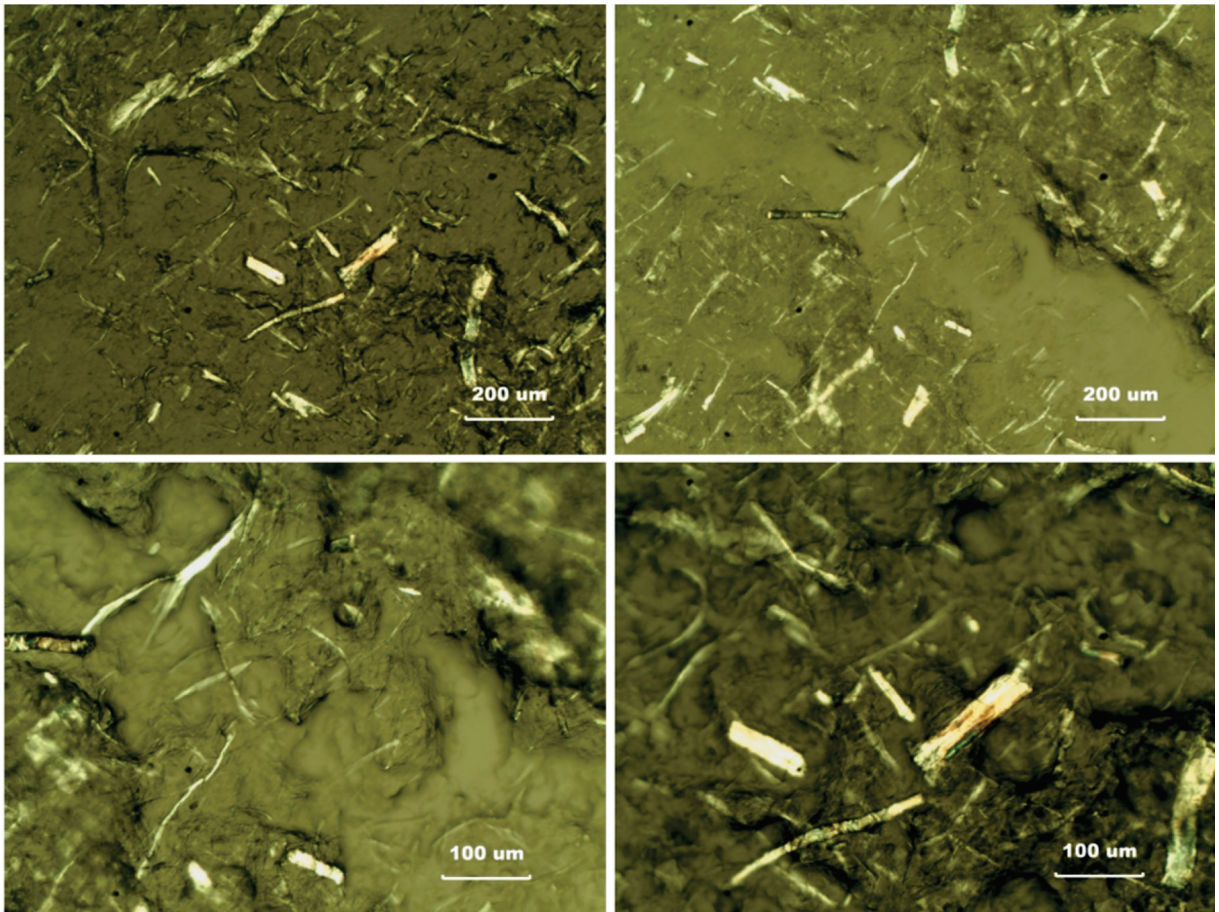


Figura 2: Imágenes de microscopio de celulosa microfibrilada.

En primer término se elaboraron pastas de consistencia normal para distintos contenidos (0,1; 0,2 y 0,3% en peso del cemento) del aditivo (P01, P02 y P03) y se determinó la demanda de agua (IRAM 1612) y el tiempo de fraguado (IRAM 1619). La demanda de agua es la cantidad de agua necesaria para elaborar una pasta de consistencia normal, la cual está definida como aquella que, sometida a la penetración de una sonda en el aparato de Vicat, arrojan un valor de 6 ± 1 mm respecto a la placa base. El ensayo de tiempo de fraguado consiste en la determinación de los tiempos de fraguado inicial y final a partir de la distancia que penetra la sonda en la mezcla. El tiempo de fraguado inicial es el tiempo transcurrido entre el momento en que el cemento toma contacto con el agua y el momento en que la aguja de Vicat queda retenida a 5 mm del fondo del molde. Se considera que el fraguado finalizó cuando la aguja no produce impresión apreciable en la superficie de la probeta. Los resultados son comparados con una pasta patrón (PP) elaborada sin el uso del aditivo.

Posteriormente se elaboraron morteros a partir de utilizar el aditivo en estudio en los mismos tres porcentajes utilizados para las pastas: 0,1% (M01), 0,2% (M02) y 0,3% (M03) en peso del cemento. Además, se elaboró un mortero patrón (MP) sin aditivo. Las proporciones de los materiales se mantuvieron constantes en todos los casos, conservando una relación cemento:arena de 1:3 en peso y una relación agua/cemento de 0,50. Para la preparación de los morteros, el aditivo se dispersó en el agua de mezclado antes de agregar el resto de los materiales.

A cada uno de los morteros en estado fresco se les determinó el extendido y el contenido de aire naturalmente incorporado. El extendido estuvo dado por el incremento en el diámetro (2 mediciones ortogonales) de una muestra de mortero al ser moldeada en un molde troncocónico y luego sometida a 10 golpes en la mesa de caída

libre. El contenido de aire fue medido por el método de presión empleando un aerímetro para pastas y morteros.

Con cada mortero en estudio se moldearon 6 prismas de 4 cm x 4 cm x 16 cm, los cuales fueron desmoldados a las 24 horas y mantenidos en solución saturada con cal ($T: 23 \pm 2^\circ\text{C}$) hasta la edad de ensayo. Se realizaron ensayos a las edades de 7 y 28 días después del moldeo, empleando 3 prismas a cada edad. Los prismas fueron ensayados a flexión simple y las mitades resultantes de dicho ensayo fueron utilizadas para evaluar la resistencia a compresión de acuerdo a la norma IRAM 1622. Cada valor informado de resistencia a la flexión es el promedio de 3 determinaciones, mientras que los valores informados de resistencia a compresión son el promedio de 6 determinaciones. Estos ensayos se realizaron en una prensa Instrom con una capacidad máxima de carga de 15 toneladas.

RESULTADOS

En la Tabla 2 se presentan los resultados de la demanda de agua de las pastas de consistencia normal. Se observa una disminución en la demanda de agua con relación a la de la pasta de referencia (PP) conforme aumenta el contenido de CMF empleado, siendo aproximadamente del 3, 6 y 13% para las mezclas P01, P02 y P03, respectivamente. Este comportamiento debe ser atribuido a la forma en que se comercializa la CMF utilizada, es decir, constituyendo un gel de base acuosa.

Tabla 2: Demanda de agua para pastas de consistencia normal.

Pasta	Demanda de agua (%)
PP	25,4
P01	24,6
P02	24,0
P03	22,0

Los resultados del ensayo de tiempo de fraguado, expresados como la profundidad de penetración de la sonda de Vicat en función del tiempo, se presentan en la Figura 3, y los tiempos de inicio y fin de fraguado obtenidos a partir de los mismos se muestra en la Tabla 3.

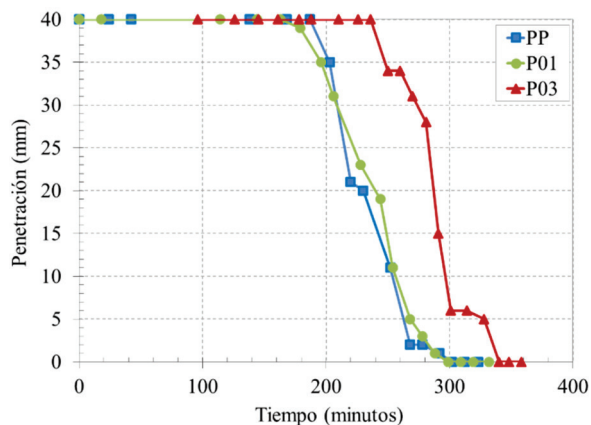


Figura 3: Profundidad de penetración con aguja de Vicat vs tiempo.

Tabla 3: Tiempos de fraguado.

Pastas	Fraguado inicial	Fraguado final
	(minutos)	
PP	203	323
P01	196	332
P03	244	358

El tiempo de fraguado inicial disminuyó un 4% y el tiempo de fraguado final aumentó alrededor del 3% para la P01, los cuales pueden ser considerados del mismo orden de magnitud para ambas pastas. En el caso de la P03 el tiempo de fraguado inicial aumentó un 26%, mientras que el tiempo de fraguado final se incrementó alrededor del 14% respecto a la pasta patrón. Si bien la demanda de agua de las pastas disminuyó con el incremento de CMF utilizada, el agua aportada por el gel de suspensión hizo que el contenido total de agua se incrementara en el mismo sentido. Por lo tanto, las diferencias en los tiempos de fraguado de la P03 deben ser vinculadas al incremento en la relación a/c con respecto a la PP. Al incrementarse

la relación a/c de las mezclas se generan mayores espacios entre los productos de hidratación del cemento que se van formando, requiriendo mayor tiempo para que se produzca la vinculación entre los mismos [10], modificándose los tiempos de fraguado.

En la Figura 4 se presentan los contenidos de aire determinados a cada uno de los morteros en evaluación. Los morteros M01 y M02 no presentaron cambios respecto al mortero patrón (MP), conteniendo alrededor del 5%, mientras que el mortero M03 presentó un 1% menos de aire incorporado, lo cual equivale a una disminución del orden del 20%.

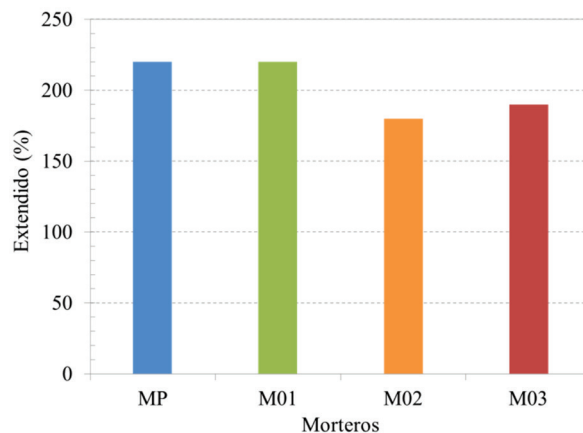


Figura 4: Contenido de aire en morteros.

La Figura 5 muestra los resultados del ensayo de extendido para cada mortero. Se observa que la fluidez del mortero M01 no presentó cambios significativos con respecto al mortero patrón (MP), mientras que los morteros M02 y M03 presentaron una disminución de dicha propiedad del orden del 20 y 15% respectivamente. Dicha disminución del extendido está directamente asociada al mayor contenido de CMF, siendo que las proporciones de los demás materiales permanecieron constantes. El empleo adicional de aditivos reductores del agua de mezclado (plastificantes o superfluidificantes) permitiría salvar el inconveniente de la pérdida de trabajabilidad de las mezclas.

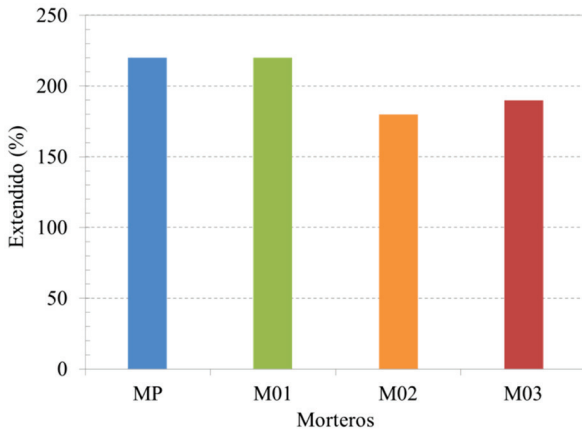


Figura 5: Extendido en morteros.

Los resultados de resistencia a la compresión se presentan en la Figura 6. A la edad de 7 días la resistencia disminuyó conforme aumentó el contenido de CMF, siendo dicha disminución del 37% para el M03. A la edad de 28 días, la resistencia del M01 resultó igual a la del MP, con un incremento relativo del 27% con respecto a la edad de 7 días, siendo del 12% en el caso del MP. Al aumentar el contenido de CMF se produjo una disminución de la resistencia, siendo del 14% para el M02 y del 26% para el M03. Esta disminución de resistencia puede explicarse en el aumento de la relación agua-cemento resultante de añadir la CMF en suspensión acuosa. Las variaciones relativas de resistencia respecto a las de 7 días resultaron mayores en todos los morteros con CMF, de alrededor del 28%.

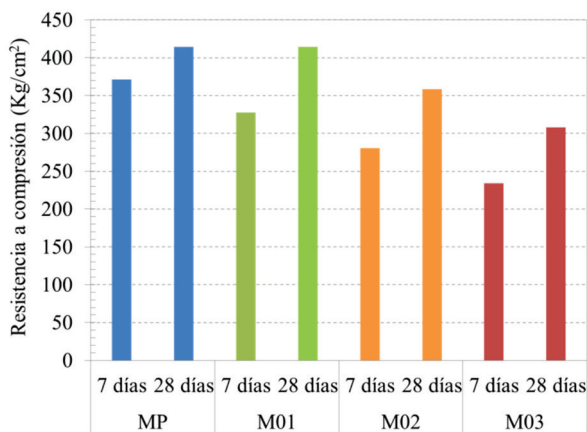


Figura 6: Resistencia a compresión.

En la Figura 7 se presentan los resultados de resistencia a la flexión. A la edad de 7 días el comportamiento en flexión es similar al observado en la resistencia a compresión. La resistencia a flexión disminuyó conforme aumentó el contenido de CMF utilizada, resultando 7, 15 y 18% menores a la del MP para los M01, M02 y M03 respectivamente. A la edad de 28 días, todos los morteros mostraron una evolución de la resistencia, de similar magnitud para los MP (27%) y M01 (28%), seguida del M02 (23%), y alcanzando el M03 un incremento relativo del 14%. Con relación al mortero patrón, las resistencias de los morteros M01, M02 y M03 estuvieron siempre por debajo de la misma en 6, 18 y 26% respectivamente. Nuevamente, esta disminución en la resistencia tendría su origen en el aumento de la relación agua-cemento generado por el agua que contiene el gel en el cual se encuentran suspendidas las microfibras.

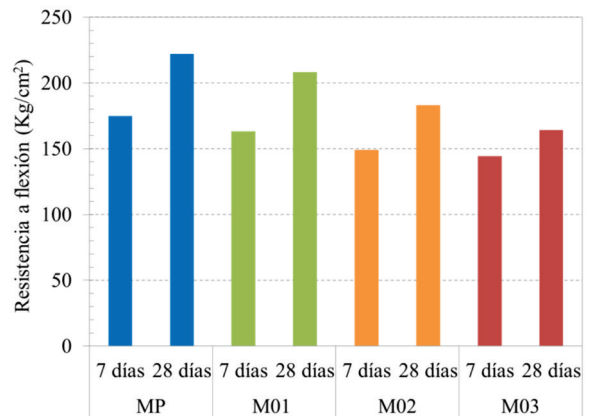


Figura 7: Resistencia a flexión.

CONCLUSIONES

A partir de los estudios realizados sobre pastas y morteros elaborados con 0,1; 0,2 y 0,3%, en peso del cemento, de un aditivo a base de celulosa microfibrilada (CMF) al 2%, en los cuales se evaluaron propiedades en estado fresco y resistencia en estado endurecido, surge que:

La demanda de agua de las pastas de consistencia normal disminuyó al incrementarse el contenido de CMF utilizada, mientras que el tiempo de fraguado aumentó en el mismo sentido.

La fluidez de los morteros disminuyó para contenidos de CMF iguales o superiores al 0,2%, en tanto que el contenido de aire en estado fresco no resultó afectado de manera significativa por el uso del aditivo.

Las resistencias a compresión y a flexión se vieron afectadas negativamente con el incremento en el uso del aditivo, tanto a 7 como a 28 días, principalmente para contenidos de CMF iguales o superiores al 0,2%. Este efecto negativo puede atribuirse a un aumento de la relación agua-cemento de las mezclas, debido al aporte de agua por parte del producto que es comercializado como una suspensión de base acuosa, presentando un aspecto de gel.

Los resultados obtenidos sugieren que el uso de CMF puede mejorar las propiedades resistentes de las mezclas cementíceas si se corrige la relación agua-cemento a partir de considerar el agua que incorpora la suspensión acuosa de CMF. En este sentido, estudios adicionales son necesarios para verificar esta hipótesis y poder realizar una valoración más adecuada sobre el efecto del aditivo de CMF en las propiedades de las mezclas cementíceas, como así también en la interacción con otros tipos de aditivos habitualmente empleado en la elaboración de mezclas de base cementícea.

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Gustavo Veloso, Profesional Asistente LEMIT-CIC, por la realización de los ensayos de resistencia, y a la Dra. Gabriela Coelho dos Santos por la obtención de las imágenes de microscopía.

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Rol, F., Belgacem, M.N., Gandini, A., Bras, J., Recent advances in Surface-modified cellulose nanofibrils. *Progress in polymer science* 88, 2019, pp. 241-264
- 2.- FU, T., Moon, R. J., Zavattieri, P., Younblood, J., Weiss, W. J., Cellulose nanomaterials as additives for cementitious materials. *Cellulose-Reinforced nanofibre composites: production, properties and application*, 2017, pp. 455-483
- 3.- Brinchi, L., Cortana, F., Fortunati, E., Kenny, J.M., Production of nanocrystalline cellulose from lignocellulosic biomass: Technology and applications. *Carbohydrate Polymers* 94, 2013, pp. 154-169
- 4.- Moon, R.J., Martini, A., Nairn, J., Simonsen, J., Younblood, J., Cellulose nanomaterials review: structure, properties and nanocomposites. *Chemical Society Reviews* 40, 2011, pp. 3941-3994
- 5.- Kenry, Chwee Teck Lim, Nanofiber technology: current status and emerging developments. *Progress in polymer science* 70, 2017, pp. 1-17
- 6.- Ardanuy, M., Claramunt, J., Arevalo, R., Pares, F., Aracri, E., Vidal, T., Nanofibrillated cellulose (NFC) as potential reinforcement for high performance cement mortar composites. *BioResources* 7, 2012, pp. 3883-94.

7.- Onuaguluchi, O., Panesar, D.K., Sain, M., Properties of nanofibre reinforced cement composites. *Construction and Building Materials* 63, 2014, pp. 119–24.

8.- Mejdoub, R., Hammi, H., Suñol, J.J., Khitouni, M., M'nif, A., Boufi, S., Nanofibrillated cellulose as nanoreinforcement in portland cement: thermal, mechanical and microstructural properties. *Journal of Composite Materials* 51, 2016, pp. 2491-2503

9.- Nilsson, J., Sargenius, P., Effect of microfibrillar cellulose on concrete equivalent mortar fresh and hardened properties. Swedish Cement and Concrete Research Institute, Department of Civil and Architectural Engineering, 2011.

10.- Mehta, P.K., Monteiro, P.J.M., *Concrete. Microstructure, Properties, and Materials*. Third Edition, McGraw-Hill, 2006, 660p.

HORMIGONES DE RETRACCIÓN COMPENSADA REFORZADOS CON FIBRAS EN PAVIMENTOS Y PISOS INDUSTRIALES

FIBER REINFORCED SHRINKAGE COMPENSATING CONCRETE IN INDUSTRIAL PAVEMENTS AND FLOORS

Yessika Loyo¹

¹ Becaria doctoral, FONCyT, LEMIT - CICPBA, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, Argentina, estudiosespeciales@lemit.gov.ar

RESUMEN

El presente artículo recopila experiencias sobre los Hormigones de Retracción Compensada Reforzados con Fibras (HRCRF) en pavimentos y pisos industriales. Entre los tipos de hormigones empleados, se profundizó en los Hormigones de Retracción Compensada (HRC) y los Hormigones Reforzados con Fibras (HRF), ambos hormigones por separado aportan soluciones a problemas comunes de estas aplicaciones, como: el espaciamiento de juntas, fisuración y permeabilidad, entre otros, que finalmente afectan la vida en servicio y durabilidad de los mismos. Posteriormente, se exponen los resultados más importantes de los estudios en cuanto al uso de HRC y HRF por separado, así como también, investigaciones y aplicaciones de su uso combinado. En base a los hallazgos y a la literatura revisada, como parte final de este artículo, se plantea la necesidad de realizar un estudio experimental, con el fin de comprender el rol que ejerce la adición de fibras en el comportamiento del HRC y de esta manera, contribuir con el avance en el uso de HRCRF en pavimentos y pisos industriales.

Palabras clave: Pisos industriales, Hormigones de Retracción compensada (HRC), Hormigones Reforzados con Fibras (HRF), Hormigones de Retracción Compensada Reforzados con Fibra (HRCRF), Aditivo Expansivo.

ABSTRACT

This article compiles experiences on Fiber Reinforced Shrinkage Compensating Concrete (FRSCC) in industrial pavements and floors. Among the types of concrete used, more emphasis were made in Shrinkage Compensating Concrete (SCC) and Fiber Reinforced Concrete (FRC), both concretes separately provide solutions to common problems in these applications, such as: joint spacing, cracking and permeability, among others, which affect their life service and durability. Finally, the most important

results of the studies regarding the use of SSC and FRC separately, as well as investigations and applications of their combined use, are presented. Based on the findings and literature reviewed, as a final part of this article, the need to carry out an experimental study is proposed, in order to understand the role of fiber addition in the behavior of SCC, contributing to the progress in the use of FRSCC in industrial pavements and floors.

Keywords: *Industrial floors, Shrinkage Compensating Concrete (SCC), Fiber Reinforced Concrete (FRC), Fiber Reinforced Shrinkage Compensating Concrete (FRSCC), Expansive Additive.*

INTRODUCCIÓN

El hormigón es un material de construcción que se forma con la mezcla de cemento portland, agregados (finos y gruesos) y agua, que con el tiempo y bajo ciertas condiciones de temperatura y humedad, adquiere resistencia (debido a la hidratación de los compuestos químicos del cemento) que le confiere amplios usos como material de construcción. Aunque el hormigón no es tan resistente, ni tan tenaz como el acero, su amplio uso proviene de tres aspectos principales: su excelente resistencia para soportar la acción del agua sin presentar un deterioro importante, su facilidad de ser moldeado a una gran cantidad de tamaños y formas, y el hecho de ser un material económico y de rápida disponibilidad en obras. Todas estas características le permiten inclusive unirse a otros materiales como el acero, para formar estructuras en los que ambos materiales actúan en conjunto en diversas aplicaciones estructurales [1].

Entre las diversas necesidades de la construcción, una de las aplicaciones del hormigón es en pavimentos y pisos industriales, los cuales se encuentran, generalmente, apoyados sobre el terreno y son capaces de soportar cargas y/o desgastes de gran magnitud, características a ser consideradas en el diseño de los mismos[2]. En la Figura 1 se puede observar la estructura típica de un piso industrial de hormigón.

Aún cuando el hormigón tiene amplias características que le confieren un extenso uso, existen varios aspectos a tomar en cuenta para garantizar su vida útil en servicio y por ende,

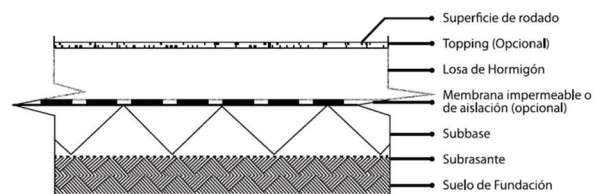


Figura 1: Esquema de estructura de un piso industrial. Adaptado de Manual de diseño de pisos Industriales [2].

su durabilidad. En aplicaciones de pisos y pavimentos, consideraciones de contracción por secado y fisuración, son aspectos importantes a controlar.

La contracción por secado es un cambio de volumen que ocurre en el hormigón cuando está expuesto al medio ambiente y su superficie pierde agua por evaporación. De esta forma, se generan gradientes hídricos entre el interior y exterior del elemento de hormigón, que a su vez generan contracciones, que inducen tensiones de tracción en la superficie. Como es sabido la resistencia a la tracción del hormigón es en torno a un 10% de la resistencia a la compresión, por tanto, si las tensiones generadas superan a la resistencia de tracción del hormigón se producen fisuras. La velocidad de evaporación dependerá de la humedad relativa, la temperatura, la relación agua/cemento, tamaño, forma y textura de los agregados. Las dimensiones y la forma de los elementos estructurales también inciden en la pérdida de agua afectando la velocidad de contracción, y los elementos estructurales adyacentes causan también restricciones que incrementan las tensiones de tracción generadas por efecto de la contracción por secado [3,4].

Una forma de minimizar los efectos de la contracción por secado en este tipo de estructuras es mediante la disposición de juntas, cuyo objetivo principal es controlar la fisuración generada por la contracción por secado, y también por efectos combinados de alabeo y cargas en tránsito. Con el empleo de juntas también se pretende mantener las transferencias de cargas deseables y la división del pavimento en tramos adecuados, lo cual beneficia su construcción. Debido a que las juntas constituyen puntos críticos en un pavimento donde puede ingresar agua y agentes agresivos, una menor cantidad de juntas reducirá los costos de mantenimiento y reparación y aumentará la vida en servicio, favoreciendo un mejor aprovechamiento de los recursos naturales. A su vez, aumentar el espaciado entre juntas supone una gran ventaja, ya que son lugares donde es necesario una gran planitud del piso y alta resistencia al desgaste, por donde circulan vehículos con ruedas muy duras [3,5]. Una de la forma de disminuir en el espaciado de juntas, es a través del empleo de hormigones especiales, como el hormigón de retracción compensada, hormigones reforzados con fibras, también se han empleado losas postesadas. Sin embargo, estas últimas generan altos costos de construcción y mano de obra calificada. En la Figura 2, se observa un esquema de disposición de juntas y la reducción de su espaciamiento [2].

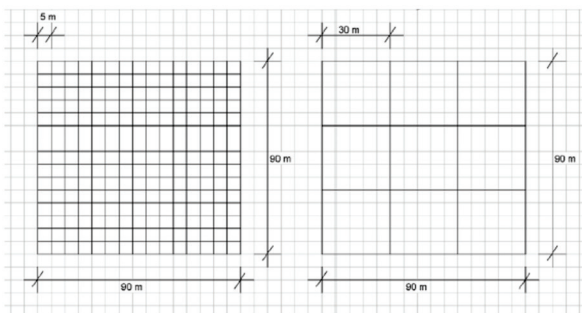


Figura 2: Esquema de juntas en un piso industrial
(a) espaciamiento de 5x5 m
(b) espaciamiento de 30x30 m. Adaptado de [2].

Dado que el uso de un hormigón especial es una herramienta para lograr las mejoras en pavimentos y pisos, la dosificación del hormigón es un aspecto a tener en cuenta, aparte del diseño estructural, para lograr los beneficios deseados[2].

Hormigón de retracción compensada - HRC

El uso de HRC es conocido desde los años 1960, las principales aplicaciones han sido en elementos estructurales como losas, pavimentos y vigas pretensadas. En casos de pavimentos, el uso de estos hormigones permitió reducir el número de juntas, lo cual es considerada una gran ventaja, desde el punto de vista de acabado, costos de construcción y mantenimiento, y también han permitido controlar la frecuente fisuración del hormigón durante el secado [1].

De acuerdo a la definición del Comité ACI 223 [6], un hormigón de retracción compensada es un hormigón elaborado con un cemento expansivo o un aditivo expansivo, que estando adecuadamente restringido, se expandirá en una cantidad igual o ligeramente superior que la retracción por secado esperada. La restricción inducirá esfuerzos de compresión en el hormigón durante la expansión, y la subsecuente contracción por secado reducirá estos esfuerzos. Idealmente una compresión residual permanecerá en el hormigón eliminando el riesgo de agrietamiento por contracción (retracción)[1,3,7]. En la Figura 3, se observa el efecto expansivo en un HRC y su comparativa con un hormigón elaborado con cemento portland normal.

Como se mencionó en el párrafo anterior, los hormigones de retracción compensada pueden ser elaborados con un cemento expansivo o un aditivo expansivo. Entre los cementos expansivos se encuentran los cementos tipo K, M y S, todos ellos se basan en la formación de Etringita, en el inicio del período de endurecimiento, es decir, después del fraguado. La formación de etringita durante la hidratación del cemento, dependerá de la cantidad de C_3A (aluminato tricálcico) y de Yeso (sulfato

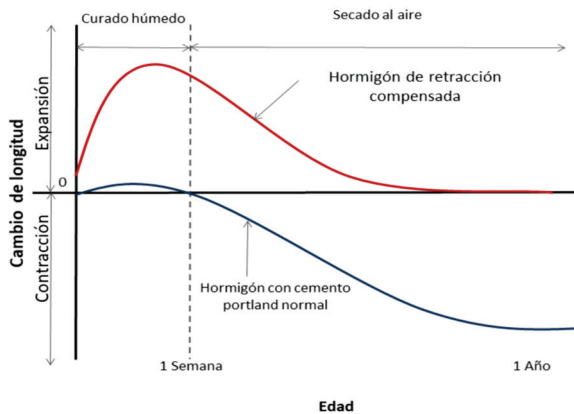


Figura 3: Efecto de expansión del HRC comparado con un hormigón con cemento portland normal y un hormigón de retracción compensada. Adaptado de [1].

de calcio hidratado) presentes [3,6]. La diferencia entre los tres tipos de cementos expansivos, radica en sus componentes. El tipo K, contiene cemento portland, trisulfoaluminato tetracálcico, sulfato de calcio y óxido de calcio no combinado (cal). El Tipo M, contiene cemento portland, cemento de aluminado de calcio y sulfato de calcio. El Tipo S, contiene cemento portland, con alto contenido de aluminato tricálcico y sulfato de calcio. De estos tres, el cemento expansivo Tipo K, es el más disponible comercialmente en Estados Unidos [1,3,4,6].

Inicialmente los cementos expansivos eran los únicos componentes usados para elaborar el HRC. En los años 1970, la Asociación del Cemento Portland (PCA), por sus siglas en inglés, condujo una extensa investigación sobre el uso de cementos expansivos para elaborar los hormigones de retracción compensada. Más tarde, Russell et al [8] analizaron el uso de aditivos expansivos, en lugar del cemento expansivo, estos aditivos expanden al hormigón y se basan en la transformación de óxido de calcio (CaO) en cristales de hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$, durante la hidratación del cemento, esto permitió más tarde incluir en la siguiente actualización del ACI 223 el uso de aditivos expansivos para elaborar un HRC [6,8].

Moffat et al. [9] evidenciaron que una de las ventajas de emplear un aditivo expansivo basado en óxido de calcio, además de lograr el efecto expansivo requerido, es eliminar la posibilidad de la formación retardada de etringita (FRE), que puede ocurrir con el uso de cementos expansivos cuando la formación de etringita no ocurre comúnmente a edades tempranas.

Dos de las principales causas que contribuyen a la FRE son: el empleo de menores proporciones de agua y las altas temperaturas. Una reducción de agua implica que no toda la etringita se podrá formar en el tiempo requerido, Si el agua llega a estar en contacto con el hormigón después del endurecimiento, se formará etringita expansiva en la interfaz pasta de cemento-agregado favoreciendo el despegue de la matriz y con ello el deterioro prematuro del hormigón. Por otro lado, es sabido que a más temperatura, mayor es la expansión de la etringita, sin embargo, un calor excesivo tiende a "deshidratar" la etringita antes de que se complete su formación en la mezcla.

A pesar de la ventaja de usar un aditivo expansivo con base en óxido de calcio, es importante controlar las variables durante la elaboración del hormigón y su posterior colocación, ya que los componentes expansivos, se forman una vez que entran en contacto con el agua, y podrían registrar una pérdida de asentamiento elevada [9].

En la Especificación ACI 223, se establecen los criterios a tomar en cuenta en la elaboración de hormigones de retracción compensada, entre los cuales se mencionan: el curado, la temperatura, el contenido de agua, la composición y tamaño del agregado, la humedad, proporciones y composición de la mezcla [6].

El curado es un aspecto esencial en los HRC, ya de él depende la capacidad de minimizar la fisuración, debido a que un buen curado garantiza la hidratación necesaria del cemento para que se produzca la expansión. En el caso de agregados, la composición es importante, ya que si estos

tienen yeso u otros sulfatos, pueden incrementar la expansión o causar una expansión retardada, lo que ocasiona el daño posterior del hormigón. Agregados con alto contenido de cloruros tienden a disminuir la expansión y aumentar la contracción por secado. En cuanto al agua, debe ser de la misma calidad que la empleada para elaborar un hormigón de cemento portland normal, bajos contenidos de agua, agregados de alto módulo de elasticidad y mayor tamaño máximo junto con un curado prolongado reducen la contracción por secado [6].

Independientemente del uso de cementos expansivos o aditivo expansivo, la expansión potencial producida es controlada mediante la restricción, que puede ser interna (la armadura) o externa (losas, elementos empotrados, columnas, entre otros), de esta forma se restringe la expansión global producida. En un extenso estudio realizado en losas con armadura convencional, con y sin restricciones externas, Russell et al. [8], concluyeron que la cantidad de refuerzo o el grado de restricción influye en la magnitud de la expansión. Losas ligeramente reforzadas presentaron una mayor expansión que aquellas que tenían un mayor grado de refuerzo. De esta forma, el grado de compensación de la contracción dependerá principalmente del grado de restricción y en menor medida del tipo del sistema expansivo utilizado, razón por la cual se deben tener en cuenta los tipos de restricciones tanto internas como externas para lograr con éxito el uso de HRC.

Sus investigaciones fueron incluidas posteriormente en la especificación ACI 223, donde se puede relacionar la expansión mínima requerida para compensar la subsecuente contracción del hormigón, a partir de un valor de expansión de un elemento de hormigón, y con un porcentaje definido de refuerzo el cual es determinado tomando en consideración las exigencias estructurales.

Ejemplos prácticos del uso de Hormigón de Retracción Compensada en pavimentos y pisos industriales

Existen algunas aplicaciones, donde se han empleado hormigones de retracción compensada en pisos industriales, en la que se han tomado las consideraciones de diseño y aspectos técnicos que han permitido minimizar la cantidad de juntas, alta planicidad, evitar la aparición de fisuras y alabeo de las losas. A continuación se describen dos ejemplos con resultados importantes:

En Argentina, se construyó un Centro de Distribución de Supermercados COTO [10,11], ubicado en el partido Esteban Echeverría, en la Provincia de Buenos Aires. En esta oportunidad se construyó un piso industrial con losas de hasta 1200 m² de superficie. La metodología adoptada fue el uso de hormigones de retracción compensada mediante un aditivo expansivo en base a óxido de calcio y sulfoaluminato de calcio, con una expansión controlada, y adecuadamente restringida por una armadura estructural con el fin de compensar las retracciones que experimenta el material posteriormente. Para la mezcla se empleó un Cemento Portland Normal CP40 y un aditivo convencional plastificante (reductor de agua), a base de lignosulfonato. En sus resultados encontraron que con un 10% de aditivo expansivo, lograron los resultados deseados, sin embargo, al aumentar la dosis no observaron mayores variaciones en la expansión, debido a las adiciones contenidas en el cemento. Tampoco se evidenció un incremento en la resistencia final del hormigón para todas las dosis de aditivo evaluadas. En la obra se observó buena terminación superficial, cumplimiento de requisitos de planicidad, resistencia y una ligera expansión residual, no se evidenciaron fisuras visibles luego de 18 meses de la ejecución, ni alabeos apreciables. En base a la experiencia adquirida, concluyeron en la necesidad de contar con el apoyo idóneo para el desarrollo del hormigón (diseño de mezclas, medición

cuidadosa de las expansiones restringidas, calidad del hormigón producido, etc.), y de disponer de la tecnología y equipamiento adecuado así como del personal competente para la ejecución de los mismos.

En Colombia [11], se realizó un estudio similar tomando como base la tecnología empleada en Argentina. En este estudio se empleó un hormigón con módulo de rotura de 4,2 MPa y un aditivo de retracción compensada a base de óxido de calcio. Sus resultados mostraron que a mayor proporción de aditivo expansivo, la expansión aumenta considerablemente. Con la dosis de aditivo expansivo empleado en este estudio, se encontró un aumento en la resistencia de la mezcla de hormigón entre un 15% y un 20% aproximadamente, el cual puede corresponder al efecto de las reacciones químicas en el proceso de hidratación del cemento. Con este estudio se logró diseñar de forma exitosa una mezcla de HRC para un piso industrial, cumpliendo con los parámetros de diseño establecidos.

Hormigón Reforzado con Fibras - HRF

El hormigón reforzado con fibras, constituye un hormigón de alta performance donde la incorporación de fibras cortas dispersas en la matriz, confiere un compuesto con propiedades destacables, con capacidad de controlar la formación y propagación de fisuras lo que le brinda una importante resistencia residual, dando lugar a un material con mayor tenacidad, lo que a su vez mejora su vida en servicio [5, 12].

El uso de hormigones con fibras en la industria de la construcción se remonta a los años 1970. Una de las principales aplicaciones es en la construcción de pisos industriales, donde se ha determinado que la adición de fibras ha permitido aumentar el espaciamiento de juntas, la disminución de espesores de las losas, la construcción sobre sustratos de menor calidad y la posibilidad de reemplazar las barras de acero convencionales, generando, no solo una reducción de costos,

sino también una simplificación en las tareas de mantenimiento, reparación y aumento de su vida útil en servicio [12].

Para aumentar el espaciamiento de juntas, es necesario aumentar el refuerzo de la armadura convencional, con el consiguiente, aumento en los tiempos de ejecución y costos. Es por ello que el empleo de hormigones reforzados con fibras en aplicaciones de pavimentos y pisos trae numerosas ventajas.

Las fibras son elementos de corta longitud, sección delgada y de formas diversas, pueden ser de acero, polímeros, carbono, vidrio, de metales amorfos o materiales de origen natural. Existen las llamadas macrofibras, debido a que confieren capacidad estructural, su capacidad de postfisuración crece en función del tipo y contenido de fibras. Al tener función estructural, pueden reemplazar de forma total o parcial ciertas armaduras convencionales. Por otro lado, las microfibras de polipropileno son mucho más cortas y de diámetros menores a 0,30 mm, no poseen función estructural, pero pueden ser beneficiosas para el control de la fisuración en estado plástico, para brindar cohesión al hormigón fresco y atenuar efectos de la exposición a altas temperaturas [4].

También es posible emplear macrofibras sintéticas para reducir la contracción y el alabeo de losas, pudiendo reemplazar total o parcialmente el uso de los refuerzos convencionales [13,14]. Las fibras suelen reducir la segregación y la exudación del hormigón fresco dando una mayor homogeneidad en todo el espesor de la losa, disminuyendo el alabeo. La presencia de fibras puede absorber o redistribuir las tensiones internas causadas por los cambios dimensionales en estado plástico y endurecido, y a su vez permiten aumentar el espaciamiento de juntas, otorgando al hormigón capacidad residual postfisuración y con ello un aumento de la tenacidad. Se conoce también, que la adición de pequeñas dosis de fibras mejora la resistencia a la fatiga [5]. También, las experiencias en obras señalan que el contenido de macrofibras

permite ampliar los espaciamientos entre juntas en relación con el hormigón simple o reforzado con barra de acero, de 6 m a 10 m (pisos interiores) y de 5 m a 8 m (pavimentos exteriores). La adición de fibras permite disminuir efectos de alabeo y aparición de fisuras, y su uso mejora la calidad y los costos de ejecución con respecto al uso de barras de acero.

Hormigones de Retracción Compensada Reforzados con Fibras (HRCRF)

Dado que el uso de HRC y HRF por separado tienen beneficios particulares que se buscan para aplicaciones específicas de pisos y pavimentos industriales, como son el mayor espaciamiento de juntas, control de fisuración y alabeo, reducción de costos en reparación y mantenimiento, facilidad en la colocación entre otros, el empleo en conjunto de ambos tipos de hormigón es de amplio interés [15].

El efecto combinado de aditivos expansivos y las fibras ha ganado mucha atención en la aplicación de HRCRF, sin embargo, dicho efecto no está suficientemente estudiado ya que cualquier modificación en la mezcla tiene una influencia en los parámetros que afectan el comportamiento del hormigón.

Algunas investigaciones [13,14] han evaluado el uso combinado de fibras con un aditivo expansivo donde se ha concluido que el uso del aditivo no afecta la capacidad residual de HRF. Las dosis de macrofibras sintéticas no tienen mayor incidencia en los valores de retracción libre medidos en ensayos normalizados, la incorporación del aditivo expansivo modifica los valores de retracción y también provoca cambios en las pérdidas de peso durante el secado, lo que se atribuye a que el reactivo consume agua. Los ensayos comparativos de retracción restringida indican que las fibras no restringen la expansión como lo hace la barra de acero.

Cordialesi et al [16], han estudiado la influencia del

aditivo expansivo en la resistencia a compresión, la resistencia a flexión y la microestructura. En esa investigación en particular se empleó un aditivo expansivo en base a CaO y fibras de acero recubiertas de latón, de allí se evidenció una mejora en la retracción y en la flexión del hormigón debido a que se mejoró la adhesión en la interfaz fibra-matriz.

Cao et al [17] han estudiado el uso combinado de fibras de acero y polipropileno en un hormigón autocompactante de retracción compensada (usando un aditivo expansivo a base de óxido de calcio/sulfoaluminato). Mostraron que el uso de fibras beneficia la resistencia a flexión y la resistencia a tracción por compresión diametral, en este caso el empleo de fibras híbridas disminuyó la trabajabilidad. La acción combinada del aditivo expansivo y las fibras, no afectó la resistencia a la compresión a los 28 días pero la redujo a los 7 días. En cuanto a la retracción por secado observaron que al incrementar el contenido de fibras de acero la expansión de las mezclas disminuyó, mientras que la incorporación de fibras de polipropileno no tuvo ningún efecto.

Otros estudios [18] han concluido que el uso combinado de un aditivo expansivo de retracción compensada y fibras de acero reduce significativamente la retracción libre del Hormigón de Ultra Alta Performance.

Otros estudios [19,20] han investigado el uso de aditivos híbridos basados en CaO y etringita, y concluyeron que la sobresaturación de los cristales híbridos formados proporcionan una presión de cristalización efectiva, que mejora el rendimiento respecto a la relación de expansión restringida y la velocidad de expansión en comparación con el uso de aditivos convencionales (únicamente a base de CaO o etringita).

Zuanfeng et al [21] han investigado hormigones de retracción compensada reforzados con fibras, analizando la influencia de distintos tipos y dosis de fibras, distintos contenidos de aditivo expansor

(en base a sulfoaluminato de calcio e hidróxido de calcio) y condiciones de curado en la expansión restringida, la resistencia a compresión, la resistencia a la fisuración y la permeabilidad. En este estudio se emplearon fibras de polipropileno, fibras de alcohol polivinílico y fibras de celulosa. Se emplearon dosis de fibras entre 0,05% - 0,1% en volumen, ya que se corresponde con las dosis comúnmente adoptadas en muchas aplicaciones de losas y pavimentos. Con la adición del aditivo expansor la expansión restringida aumentó considerablemente en los primeros 3 días de curado, y se observó que de 7 a 14 días este incremento es insignificante. En este estudio, se obtuvo que la adición del aditivo expansivo, tiene una influencia negativa en la resistencia a compresión del hormigón normal. Sin embargo, dicho impacto es dependiente de la relación agua/ligante y del contenido de aditivo expansivo. Un contenido moderado de fibra de polipropileno (0,1% por volumen) beneficia la resistencia a la fisuración. Ensayos realizados en losas a pequeña escala, demostraron que los parámetros estructurales, las proporciones y mezclas de fibras en el HRCRF y el proceso de construcción influyen en la durabilidad de estructuras de hormigón.

Paul et al [22], evaluaron las propiedades de las fibras en hormigones de retracción compensada, ya que consideraron que el hormigón podría tener mejores propiedades mecánicas, si en lugar de ser restringido con acero en las formas convencionales, se restringiera de forma uniforme en todas las direcciones a través de la incorporación de fibras cortas de acero. Ellos concluyeron que el uso de una distribución aleatoria de fibras de acero usadas como refuerzo en el hormigón, puede frenar la expansión del HRC sin afectar negativamente las principales propiedades mecánicas tales como resistencia a compresión y módulo de elasticidad.

CONCLUSIONES

Las diferentes investigaciones expuestas en este artículo, permiten concluir los numerosos beneficios que tienen el uso en conjunto de

HRC y HRF en aplicaciones de pavimentos y pisos industriales. Sin embargo, existen muchos parámetros a controlar, tales como: contenido y tipo de fibras, curado, expansión del hormigón, restricciones, entre otros.

Es necesario conocer la influencia específica de cada uno de los parámetros en el comportamiento y en las propiedades mecánicas del hormigón, que a su vez se traduce en una mejora en la puesta en servicio y su durabilidad.

El grado de compensación de la contracción dependerá principalmente del grado de restricción y en menor medida del tipo del sistema expansivo utilizado, razón por la cual se deben tener en cuenta los tipos de restricciones tanto internas como externas para lograr con éxito el uso de HRC. Se encontró que cuando se emplearon fibras de acero, se obtuvieron buenos resultados en la restricción de la expansión, sin embargo, con el uso de macrofibras sintéticas no se obtuvieron resultados similares en la restricción. Razón por la cual el tipo y contenido de fibras, así como el efecto de las fibras híbridas en la restricción de la expansión del hormigón sería un aspecto a evaluar en investigaciones futuras.

Adicionalmente, se sabe que el aditivo expansivo no tiene una mayor influencia en la capacidad residual de las fibras. También el aditivo expansivo, provoca cambios en las pérdidas de peso durante el secado, debido al consumo de agua, esto es un aspecto de importancia a considerar en el diseño de la mezcla.

Cuando la expansión es generada por la formación de etringita es necesario controlar ciertos parámetros como: curado, relación a/c adecuados, temperatura, para que la expansión acontezca en las edades tempranas y no ocurra la FRE, que causa el deterioro prematuro del hormigón.

A partir del estudio de la bibliografía surge la necesidad de comprender el rol que ejercen las fibras en los HRCRF, determinar los factores que

influyen en la contracción compensada en estos hormigones y cuantificar sus efectos no sólo a escala de laboratorio sino también comparando con hormigones con armadura convencional.

REFERENCIAS

- 1.- Metha y Monteiro. (1998). Concreto, estructura, propiedades y materiales. Primera Edición.
- 2.- Tozzini, R. (2020). Pisos industriales reforzados con fibras. Seminario online de la industria del hormigón elaborado.
https://hormigonelaborado.com/wp-content/uploads/2020/06/Pisos-Industriales-POLICEMENTO_compressed.pdf
- 3.- Kosmatka, S., Karkhoff, B., Panarese, W. y Tanesi, J. (2004). Diseño y control de mezclas de concreto. Portland Cement Association. Boletín de Ingeniería EB 201. Primera Edición. pp. 459.
- 4.- Giovambattista, A., Zerbino, R., Giaccio, G., Fava, C., Milanese, C., Traversa, L., Falcone, D., Di Maio, A., Zega, C., Irassar, E. y Iloro, F. (2019). Bases de un código modelo para la tecnología de las obras de hormigón. Anales LEMIT. Serie IV, Año 6, Nro. 13. Laboratorio de entrenamiento multidisciplinario para la Investigación Tecnológica - LEMIT.
- 5.- Zerbino R. (2020) Hormigón Reforzado con Fibras, Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón, Serie Hormigones Especiales, pp. 344.
- 6.- ACI Committee 223, Standard Practice for the Use of Shrinkage Compensating Concrete (Práctica Normalizada para el Uso del Concreto con Contracción Compensada), ACI 223, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1998, pp. 28.
- 7.- Balzamo, H., Bascoy, D., Bonavetti, V., Cabrera, O., Carrasco, F., Clariá, M., Di Maio, A., Eperjesi, L., Checmarew, R., Fornasier, G., Irassar, F., López, R., Maldonado, G., Oshiro, A., Rahhal, V., Sota, D., Traversa, L., Zega, C., Zerbino, R. (2016). Ese Material llamado Hormigón. Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón. 2da. Edición. pp. 366.
- 8.- Russell, A., Stadler, R., Gelhardt, H. (2002). Shrinkage-compensating concrete made with an expansive component. Concrete International, 107-111.
- 9.- Moffat, S. (2005). Shrinkage-compensating concrete: An investigative study. Structures 2005, 1-11.
- 10.- Luco, L., Pombo, F. y Torrent, R. (2006) Hormigón con retracción compensada para un gran piso industrial. Cemento, Año 6, N° 26.
- 11.- Gracia, O., Quesada, G., Gómez, A., Santacruz, A. y Arias, L. (2013). Estudio de la tecnología de concretos de contracción compensada aplicada a la construcción de pisos industriales. Obras y Proyectos 13, 46-56

12.- Zerbino R. (2020) Hormigón Reforzado con Fibras y sus proyecciones dentro de la industria de la construcción Revista de Ingeniería, Año LXVII Nro. 153. Centro de Ingenieros Provincia de Buenos Aires, 14-19.

13.- Altamirano, M., Pombo, R., Giaccio, G. y Zerbino, R. (2017). Hormigones Reforzados con macrofibras sintéticas para la ejecución de pisos y pavimentos industriales. Revista Hormigón, Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón, 57, 15-27.

14.- Zerbino, R., Giaccio, G. Pombo, R. (2016). Estudio Experimental de la respuesta mecánica de Hormigones Reforzados con macrofibras sintéticas para uso en pisos industriales. VII Congreso Internacional 21^a Jornada Técnica de la AATH, Salta, Argentina.

15.- Banthia, N., Yan, C., y Mindess, S. (1996). Restrained shrinkage cracking in fiber reinforced concrete: a novel test technique. Cement and concrete research, 26, 9-14.

16.- Cordinalesi, V., Nardinocchi, A., y Donnini, J. (2015). The influence of expansive agent on the performance of fibre reinforced cement-based composites. Construction and Building Materials, 91, 171-179. <https://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.05.002>

17.- Cao, Q., Cheng, L., Cao, M., y Gao, Q. (2017). Workability, strength and shrinkage of fiber reinforced expansive self-consolidating concrete. Construction and Building Materials, 131, 179-185. <https://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.1.0760950-0618>

18.- WeiSun, H., XinLuo, H. (2001). The effect of hybrid fibers and expansive agent on the shrinkage and permeability of high-performance concrete. Cement and Concrete Research, 31, 595-601.

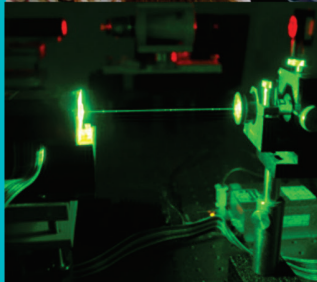
19.- Zhao Shunzeng Li Liu. A. (2005). Research on the Capability of HCSA High Performance Concrete Expansive Agent Expansive Agents & Expansive Concrete 3 2005, 002.

20.- Li, S., H. Qian, and J. Li. (2014). Influence of HCSA expansive agent on early age shrinkage of self-compacting concrete. China Concr. Cem. Prod. 223 (11). 21–24.

21.- Zuanfeng, P., Yazhi, Z., Defeng, Z., Ning, C., Yichao, Y. y Xiaoning, C. (2020). Effect of expansive agents on the workability, crack resistance and durability of shrinkage-compensating concrete with low contents of fibers. Construction and Building Materials, 259, 119768. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.1197680950-0618>

22.- Paul, B., Polivka, M. y Metha, P. (1981). Properties of fiber reinforced shrinkage-compensating concrete. ACI Jour

COMISIÓN DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS



MINISTERIO DE PRODUCCIÓN,
CIENCIA E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA



GOBIERNO DE LA PROVINCIA DE
BUENOS AIRES

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

www.cic.gba.gov.ar



LEMIT

LABORATORIO DE ENTRENAMIENTO
MULTIDISCIPLINARIO PARA LA
INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA



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

Tel.: (0221) 4831141/44

direccion@lemit.gov.ar

www.lemit.gov.ar