

Giicma

REVISTA N° 1

Julio 2015 - Diciembre 2015
ISSN 2591-6602

ISSN 2591-6602

**Giicma - CIENCIA, INVESTIGACIÓN,
TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN**



Rector: Ing. Héctor C. BROTTTO

Secretario de Ciencia y Tecnología y Posgrado: Dr. Walter E. LEGNANI

Secretario Académico : Ing. Rudy O. GREThER

Decano: Ing. José Jorge PENCO

Secretaria de Ciencia, Tecnología y Posgrado: Ing. Nidia G. AZZARETTI

Secretario Académico: Ing. Fabián Andrés AVID

Director del GIICMA: Prof. Jorge D. SOTA

Julio 2015 - Diciembre 2015

REVISTA

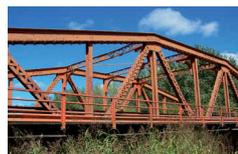
N° 1

**GIICMA**

Sumario

Patologías de puentes de hierro construidos a entre fines del siglo XIX y principios del siglo XX.

L.P. Traversa, F. H. Iloro, S. Marquez, J.D. Sota - LEMIT



7

1° CONGRESO ALCONPAT 2013. Patología, control de calidad y rehabilitación en la construcción- 9 a 11 de Mayo de 2013 - Argentina

La razón agua cemento y las adiciones en la carbonatación acelerada de morteros.

F. H. Iloro, N. Ortega, J. D. Sota - LEMIT GIICMA



19

XII Congreso Latinoamericano de Patología de la Construcción y XIV Congreso de Control de Calidad en la Construcción CONPAT-Colombia.

DIRECCIÓN DE LA REVISTA: Salta 277 Concordia Entre Ríos/República Argentina

Director: Prof. Jorge D. Sota

Secretaria General: Becaria Andrea S. Pereyra

Secretaria Académica: Ing. Luis P. Traversa

Comité Académico: Ing. Fabián A. Avid, Ing. Nidia Azzaretti, Ing. Luis Benedetto, Arq. Mari A Bruno, Dr. Adrián Silva Buzzo, Ing. Mario Chury, Ing. Alejandro C. García, Ing. Gustavo Larenze, Cont. Marcela L. Lugones, Agrim. Patricio Machado, Ing. Luis Miranda, Ing. Oscar D. Rico, Ing. Carlos O. Vercesi

Los artículos son publicados con la sola responsabilidad de los autores. La Dirección no se solidariza con las opiniones vertidas en los mismos. Los artículos pueden reproducirse total o parcialmente citando la fuente. Registro Nacional de la Propiedad Intelectual N° 249.362

El **GRUPO GIICMA** fue reconocido el 26 de Agosto de 2010 como Grupo UTN; mediante Resolución N° 794 del Consejo Superior de la Universidad Tecnológica Nacional. Habiendo cumplido los seis años de existencia.

Desde sus orígenes como Grupo de Investigación de la FR Concordia, las actividades estuvieron focalizadas en aspectos vinculados con la durabilidad del hormigón, contando para su desarrollo con la infraestructura del Laboratorio de Tecnología del Hormigón de la mencionada Institución.

En este contexto, las líneas de investigación donde inicialmente se ha desarrollado la mayor capacitación es la caracterización de los agregados pétreos regionales para la elaboración de hormigones. Los materiales comprenden, tanto los agregados aluvionales constituidos por gravas y arenas de las cuencas de los ríos Paraná, Uruguay y Gualeguay, como los triturados basálticos de las provincias mesopotámicas.

El equipamiento actualizado y la precisión interlaboratorio lograda han permitido a este Laboratorio posicionarse como centro regional de consulta para la realización de los ensayos de reactividad álcali-agregado mediante el método acelerado de la barra de mortero, Norma IRAM N° 1674. El equipamiento adquirido y el continuo entrenamiento del personal y becarios del laboratorio permitieron incorporar las metodologías de ensayo correspondientes a la variante Australiana RTA363 del ensayo acelerado de la barra de mortero y el ensayo del prisma de hormigón correspondiente al procedimiento RILEM TC 191-ARP-03, incorporado como anexo de la Norma IRAM 1700-.

A los fines de verificar el desempeño del laboratorio de Tecnología del Hormigón de la Facultad Regional Concordia, se efectuaron estudios interlaboratorio conjuntamente con el LEMIT, ICPA y el INTI, con el objetivo principal de asegurar la calidad de los resultados obtenidos. Como objetivo secundario de esta metodología se logró ajustar los protocolos de operación, manejo, registro y análisis de muestras con un interés futuro en la acreditación del ensayo acelerado de la barra de mortero Norma IRAM 1674, estando en este momento con el ejercicio de la documentación.

Por otra parte, se han ampliado los estudios de hormigones reciclados elaborados con canto rodado y basalto, para evaluar su aprovechamiento y establecer relaciones con la corrosión de armaduras y la durabilidad frente a la RAS contando en este momento con metodología y resultados como para usar estos hormigones reciclados como agregados en pavimentos.

En los últimos años, se iniciaron trabajos en líneas de investigación para el desarrollo de equipamientos de madurez en el hormigón para determinar su resistencia y medida de la presión de las expansiones dentro del hormigón, estando en este momento abocados a la redacción de un libro sobre este tema solicitado por una Editorial española. El objetivo principal de los proyectos desarrollados y en curso, abarcan determinar su reactividad potencial álcali-sílice, medir la madurez del hormigón, medir la presión interna de expansión de los hormigones por reacciones químicas o físicas en su masa.

Otra línea de investigación que ha tenido un notable desarrollo e impacto en el medio, es la vinculada con los sensores remotos mediante el procesamiento e interpretación de imágenes Landsat y Radar. Esta tecnología está siendo utilizada para determinar la evolución de la línea de costa en el Embalse de Salto Grande como consecuencia de los procesos de erosión. También se

está aplicando en la elaboración de mapas topoclimáticos para la evaluación de sitios con riesgo de heladas, mediante la utilización de sensores térmicos de los satélites Landsat y Modis.

Se han ampliado los estudios en el último año en las áreas de Hidrología, Geología Aplicada y Suelos, contando con la infraestructura del Laboratorio de Geotecnia de la Facultad.

En el caso particular de suelos, se han sumado estudios de suelos viales modificados para su caracterización.

En el área de estructuras, se realizaron algunas experiencias trabajando en temas específicos como el punzonado de placas con la transferencia académica del tema, y el uso de fibras sintéticas en el desarrollo de piezas premoldeadas.

Durante el año se consolidó en el grupo el área de Química Analítica, con el laboratorio de análisis de agua para uso en hormigones y determinación de cal útil vial en la corrección de suelos viales.

Las actividades principales del año consistieron en la presencia de GIICMA con trabajos originales en Congresos Nacionales e Internacionales.

Prof. Jorge Daniel SOTA
DIRECTOR

RUS



Org.
"El Galpón"
**RIO URUGUAY
SEGUROS®**

PATOLOGIAS DE PUENTES DE HIERRO CONSTRUIDOS A ENTRE FINES DEL SIGLO XIX Y PRINCIPIOS DEL SIGLO XX

L.P. Traversa, F. H. Iloro, S. Marquez
LEMIT - Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica. 52 y 121 1900 La Plata.
dirección@lemit.gov.ar

J.D. Sota
GIIICMA -UTN Universidad Tecnológica Nacional -Facultad Regional Concordia, Concordia, E.R., ARGENTINA -jdsota@gmail.com

Resumen

La cinética del deterioro sufrida por una estructura metálica expuesta a la atmósfera es un proceso complejo que depende no sólo de la naturaleza del metal y del medio sino que también por variables de diseño y por la adecuada implementación de métodos de protección. A fines del siglo XIX se comenzó a emplear el hierro en la ejecución de puentes carreteros y fundamentalmente en puentes ferroviarios, teniendo un gran desarrollo la tecnología para su construcción, empleándose como método de unión de los diferentes elementos estructurales bulones del mismo material. Todavía muchos de ellos se siguen utilizando con sobrecargas mayores a las previstas en el proyecto, situación que se da principalmente en los puentes viales, aunque la mayoría ha quedado en rutas no pavimentadas. En este trabajo se presenta un relevamiento de puentes metálicos construidos en la Provincia de Buenos Aires, Argentina. Los puentes más antiguos corresponden a diseños del Ing. Luis M. Huergo, construidos en Inglaterra y trasladados para su armado en la Argentina. Además se presentan puentes viales correspondientes a la Ruta Nacional N° 1 y algunos puentes aislados ubicados sobre el Río Samborombón y el Río Salado, como así también sobre canales. En todos los casos se analiza el material empleado y las patologías que presentan luego de más de 100 años de servicio emplazados en un ambiente con características de clima templado y niveles de precipitaciones del orden de 1200 mm/año.

Palabras clave: hormigón, reacción álcali-sílice, reciclado, durabilidad.

Abstract

The kinetics of corrosive deterioration suffered by a metal structure exposed to the atmosphere is a complex process which depends not only on the nature of metal and environment but also on the design and protection methods employed. In the late nineteenth century the use of iron in the execution of highway bridges began, and basically in railway bridges, promoting a great technological development, and introducing the use of bolts of the same material to bind the different structural elements. Many of these bridges are still used with overloads higher than expected according to the project, a situation that occurs mainly in highway bridges, although most of them are on unpaved roads. This paper presents a survey of metallic bridges built in the late nineteenth and early twentieth century in the Province of Buenos Aires, Argentina. The oldest bridges correspond to designs of Eng. Luis M. Huergo, built in England and shipped for assembly in Argentina. Besides, road bridges on National Road N° 1 are presented, and some isolated bridges on Río Samborombón and on Río Salado flood relief channels. In all cases the employed material is analyzed, as well as the pathologies exhibited after more than 100 years located in a temperate environment with a mean rainfall of around 1200 mm/year.

Keywords: concrete, alkali-silica reaction, recycled, durability.

INTRODUCCIÓN

El hierro primario se obtiene a partir del mineral que se encuentra en la corteza terrestre, compuesto mayoritariamente por óxido de hierro con óxido de silicio ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2$), por reducción en estado sólido, como consecuencia de este proceso el mineral se convierte en una esponja metálica con contenido variable de inclusiones. En un principio, el hierro primario era calentado a la mayor temperatura posible (700 - 800°C) en estas condiciones la masa metálica era sometida a golpes de martillo; esto provocaba la deformación del metal, plástico a esa temperatura y la fragmentación y en cierta medida la salida de las inclusiones, otorgándole mayor continuidad metálica a la pieza elaborada, observándose una estructura ferrítica con inclusiones diseminadas. Este proceso llegó a nuestros días con el nombre de prepudelado, también conocido como forja catalana. En Cataluña, se desarrolla esta tecnología basa en el uso del carbón y el hierro en capas sucesivas y donde el aire fluye por una tobera principal y una suplementaria. Por este mecanismo se logra calentar la mesa de hierro pero sin llegar a la fusión. La pasta de metal al rojo vivo es trabajada por un martillo-pilón movido por energía hidráulica. El trabajador llamado forjador, extrae la masa del horno y una vez situada sobre el yunque con golpes sucesivos transforma metal en lingotes o en barras. La técnica catalana de fabricación del hierro es considerada “alta tecnología” en la época.

Durante el siglo XVIII, con el avance de la tecnología, se alcanzan mayores temperaturas, lográndose la fusión del hierro, no obstante, el sobrecalentamiento no era suficiente para lograr la decantación y escorificación de los óxidos; para ayudar a la separación la masa era sometida a agitación o batido con espátulas de madera húmeda, obteniéndose un material con menor contenido de inclusiones que en el proceso precedente. En el transcurso del proceso la sílice se recombina formando silicatos, que al tener mayor ductilidad, acompañan la deformación del metal durante el posterior trabajado en caliente, apareciendo en forma de bandas intergranulares. El hierro obtenido de esta manera se conoce con el nombre de hierro pudelado.

Durante la segunda mitad del siglo XIX, desarrollos

logrados en Inglaterra y Alemania (Bessmer-Thomas y Siemens-Martin) permitieron realizar el proceso de afino del hierro en estado líquido con sobrecalentamiento suficiente, como para facilitar la decantación de los óxidos, obteniéndose aceros con menor contenido inclusionario y corresponde a los aceros modernos, utilizados durante buena parte del siglo XX.

En la segunda mitad del siglo XX, los procesos de aceración secundaria y metalurgia de cuchara, permitieron la obtención de aceros con muy bajo contenido inclusionario.

CORROSIÓN DE ESTRUCTURAS METÁLICAS

La corrosión sufrida por una estructura metálica expuesta a la atmósfera es un proceso complejo que depende de la naturaleza del metal y del medio y también se ve afectada por el diseño y por la implementación de métodos de protección. El proceso es básicamente de naturaleza electroquímica, es decir, con transferencia de carga eléctrica e involucra no sólo la disolución del metal sino una o más reacciones complementarias de reducción, como por ejemplo la del agua, oxígeno u otras especies presentes.

Cada estructura responderá en forma particular según el clima específico que se forme a su alrededor, es decir, su Microclima. Entre los parámetros que lo definen pueden mencionarse:

- la formación de rocío, o en general, el tiempo de humectación de la superficie;
- el calentamiento de los objetos por la radiación global, especialmente infrarroja
- la contaminación con iones de naturaleza ácida (NO, Cl, SO) en la película acuosa depositada sobre la superficie metálica.

Los principales contaminantes atmosféricos que afectan el proceso de corrosión son NaCl y SO_2 . El NaCl se encuentra en los ambiente marinos y el SO_2 en atmósferas impurificadas por humos industriales y en contacto con el agua de lluvia que da lugar a las llamadas lluvias ácidas. Ambas sustancias estimulan la corrosión de la superficie metálica humedecida ya que aumentan la actividad de la película acuosa.

Por todo lo expuesto resulta evidente que el comportamiento del acero frente a la corrosión depende de la ubicación geográfica de la exposición, de su temperatura y humedad relativa y del contenido de contaminantes.

En la Tabla 1, se reproduce información sobre el comportamiento diferenciado de aceros expuestos durante el mismo tiempo a distintas atmósferas. Las pérdidas en peso informadas para cada una de las atmósferas, son relativas a la obtenida en la definida como rural desértica. Los valores consignados para la atmósfera marina corresponden a muestras estacionadas a diferentes distancias de la costa mientras que en la industrial, se refieren a atmósferas en las cuales las industrias instaladas originan distintos tipos y grados de contaminación.

RELEVAMIENTO DE PUENTES METALICOS

La Provincia de Buenos Aires es una extensa planicie con muy poca pendiente hacia el océano Atlántico, recorrida por pocos ríos y numerosos arroyos, muchos contaminados con cloruros y/o sulfato, ya que circulan sobre antiguas ingresiones marinas. Los principales ríos de la provincia de Buenos Aires, por su caudal, son el río Salado y el Samborombón, que tienen una extensa cuenca y, luego de recorrer cientos de kilómetros, desembocan en el río de La Plata. También, existen una serie de canales construidos a principios del siglo XX los cuales fueron ejecutados a fin de

aliviar al río Salado y original un desagüe más rápido en épocas de lluvias.

En la Tabla 2, se informan el pH y los contenidos de sulfato y cloruros del agua de los cauces en las proximidades de los puentes. Debe mencionarse que es importante la influencia de la marea en el caudal de estos ríos, fundamentalmente en las zonas próximas a las desembocaduras. También, debe considerarse las características del período en el cual se realizan los muestreos ya que varía mucho el contenido de sales si la muestra fue extraída en un período seco o húmedo. En el río Salado se han determinado para períodos húmedos 300 mg/l de cloruro, mientras que en el mismo lugar, en un período seco, ese contenido se eleva a más de 7000 mg/l.

Un tema crítico que se planteó fue el cruce del Riachuelo (deformación del antiguo nombre Río Chuelo). Existe información sobre la destrucción, en 1806, del puente de madera existente en el lugar para evitar el paso de las tropas enemigas durante las Invasiones Inglesas. Con posterioridad, se construyeron otros puentes en el lugar hasta que en 1861, Prilidiano Pueyrredón (1823-1870), ingeniero recibido en la Ecole Polytechnique de Francia, diseñó y construyó un puente metálico giratorio, el cual colapsa el día de la inauguración. Se inicia en forma inmediata la construcción de un nuevo puente, también diseño del Ing. Pueyrredón, quien aporta parte de su fortuna personal para concretar este objetivo, el cual se

País	Localidad	Atmósfera	Pérdida relativa
Egipto	Khartoum	Rural (Desértica)	1
Suecia	Abisco	Rural (Ártica)	3
Nigeria	Aro	Rural (Tropical)	8
Irán	Basrah	Rural (Semidesértica)	9
USA	State College, Pa	Rural	25
Alemania	Berlín	Urbana	32
USA	Kure Beach, N. C.	Marina	38
Inglaterra	Calshot	Marina	41
Sudáfrica	Congellia	Marina	50
Escocia	Motherwell	Industrial	55
Inglaterra	Sheffield	Industrial	78
Inglaterra	Frodingham	Industrial	100

Tabla 1: Pérdidas en peso de aceros expuestos en distintas atmósferas.

inaugura en el año 1871. El Ing. Pueyrredón es un artista de reconocido prestigio, autor entre otros cuadros, del célebre retrato de Manuelita Rosas, siendo recordado por su actividad artística y no como el prolifero diseñador y urbanista.

El desarrollo de la Provincia de Buenos Aires cobra impulso a fines del siglo XIX con la incorporación de Argentina al mercado mundial como país exportador de carnes y cereales. La fundación de pueblos y de colonias de inmigrantes modificó rápidamente el paisaje de un territorio vacío, hasta allí llamado “el desierto”.

El transporte de la producción agrícola ganadera hasta los puertos hizo necesario, entonces, la implementación de un sistema mixto, conformado por una red ferroviaria y una caminera. Dadas las características geomorfológicas del territorio, fue necesario construir puentes empleándose una gran variedad de materiales portantes.

El presente trabajo incluye un relevamiento de puentes metálicos construidos en la Provincia de Buenos Aires, desde fines del Siglo XIX hasta principios del XX. Se hace referencia al primer Plan de Construcción de Puentes que realiza la Provincia bajo la gobernación de E. Castro, y sobre los puentes metálicos construidos en la Ruta Nacional N° 1 que une Avellaneda con la Ciudad de La Plata. También, se presentan algunos puentes construidos fundamentalmente sobre el río Sanborombón. Es conocido que la influencia de Inglaterra fue fundamental en esta primera etapa del desarrollo argentino y que con posterioridad a la Primera Guerra Mundial, en apenas dos décadas, la Argentina vive un proceso de remodelación y pasaría del hierro, la máquina del vapor y los ferrocarriles británicos al hormigón armado, la electricidad y los subterráneos alemanes.

El mayor aporte germánico será el desarrollo de la tecnología del hormigón armado en mano de las grandes empresas alemanas con sede en la Argentina que hicieron que las estructuras metálicas desaparecieran por completo en la década de 1930.

Puentes Huergo: Luego de un relevamiento de las necesidades de puentes, se determinó la construcción de los primeros 120 puentes de hierro con luces variables entre 10 y 270 metros que conforman el Plan del Gobernador E. Castro. Con la intervención del Ing. Luis A. Huergo, primer ingeniero egresado de la Universidad de Buenos Aires, se adoptó un sistema flexible, con patente de “Kennard Brothers” de Gales, Inglaterra, que proveyó los componentes de hierro forjado para el armado, según los diversos requerimientos.

El puente más importante fue el ubicado sobre el río Salado, en el paraje “La Postretera”, Partido de Chascomús, de 170 metros de luz, desarmado a principios del siglo XXI por necesidades vinculadas con la rectificación del cauce del río. Además, el puente presentaba algunos problemas vinculados fundamentalmente con la corrosión de los pilares que se enterraban directamente en el lecho del río, como así también en las cruces de San Andrés.

En la fotografía 3 se observan algunos refuerzos realizados en los pilares en hormigón armado. Debe recordarse que el río Salado presenta un alto porcentaje de cloruros (Ver tabla 2).

Existen otros puentes de menor envergadura, todavía en uso, como el ubicado sobre el arroyo de los Huesos, en el límite entre los Partidos de Azul y Rauch, en la antigua Ruta Provincial 226 y el puente “Las Tropas” sobre el río Luján.

Muestra	Cauce	pH	SO ₄ (mg/l)	Cl (mg/l)
Río Salado	medio	7.0	600	3553
Río Samborombón	desembocadura	6.7	693	3668
	medio	8.3	1981	2029
Canal 9	desembocadura	7.6	111	88

Tabla 2: Características químicas del agua de los cauces.

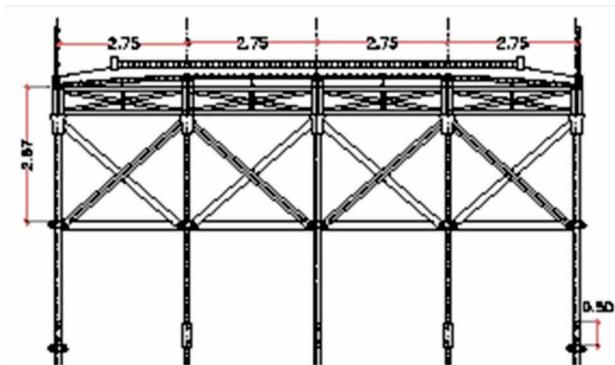


Figura 1. Esquema modular de los puentes Huergo.



Figura 4. Vista del Puente sobre el Arroyo Los Huesos, Partido de Azul.



Figura 2. Pieza metálica ubicada en el extremo de los parantes que sirve para hincar.



Figura 3. Pieza metálica ubicada en el extremo de los parantes que sirve para hincar.

El desarme del Puente La Postrera permitió que se desarrollaran estudios sobre el material componente de dicho puente, realizándose un análisis microestructural y de microdureza. A continuación se informan los resultados obtenidos.

Análisis microestructural: En los análisis metalográficos se ha observado que el acero con el que fue fabricado el perfil T presenta una estructura totalmente ferrítica, por lo que se desprende que se trata de un acero de muy bajo carbono. El acero presenta además, una gran cantidad de inclusiones no metálicas, la mayoría de las cuales se encuentran distribuidas a lo largo de los límites de grano ferrítico, tal como se ilustra en la figura 5.

Al mismo tiempo se han observado inclusiones de gran tamaño, algunas de ellas alcanzando longitudes mayores de $700 \mu\text{m}$, que se estiman corresponden a la familia de los silicatos (Figura 6).

Análisis de microdureza: El valor de microdureza Vickers del acero, promedio de diez mediciones, fue de $190,5 \text{ Hv}$, y corresponde a un acero de baja aleación deformado en frío. En el caso de las inclusiones los valores de microdureza registraron una gran dispersión, habiéndose obtenido valores de $188,1$, $385,9$, $459,8$ y $739,2$ Vickers. Esto podría ser atribuido a inclusiones de silicatos con compuestos oxidados en su interior.

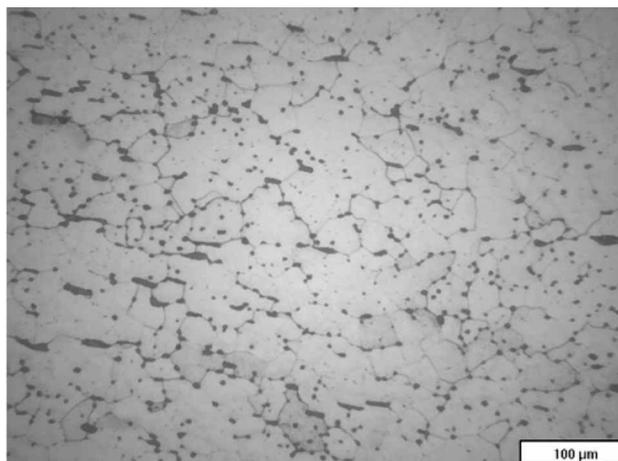


Figura 5. Micrografía del acero del perfil T.

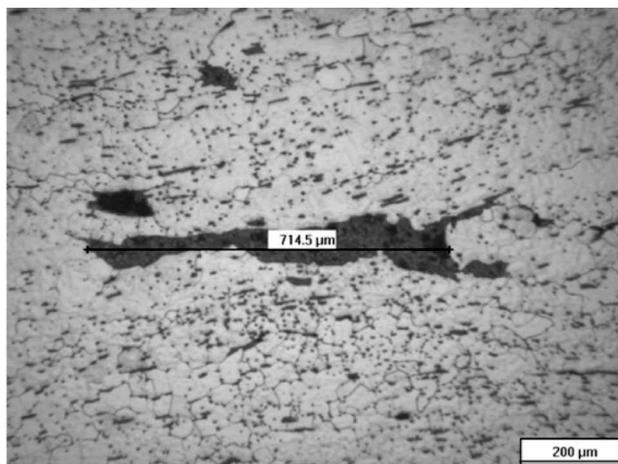


Figura 6. Inclusiones tipo silicatos.

De los análisis metalográficos se desprende que el material con el que fue confeccionado el perfil T es un acero de muy bajo carbono. Por la distribución de inclusiones en los límites de grano ferrítico y por la presencia de inclusiones tipo silicato de gran tamaño, se podría concluir que el proceso de fabricación de este acero corresponde a procesos de fusión en convertidores, que empezaron a desarrollarse hacia fines del siglo XIX.

Puentes en la ruta nacional N° 1 Buenos Aires-La Plata: La ciudad de La Plata, construida como nueva capital de la Provincia de Buenos Aires, fue inaugurada el día 19 de noviembre de 1882. Su principal vinculación con la Capital Federal

y su puerto era el ferrocarril, luego venían los carruajes y carretas tirados por caballos y bueyes. Pero pocos años después, a fines del siglo XIX y principios del XX, comenzaron a llegar al país los primeros vehículos automóviles con motor a explosión¹ con lo que la infraestructura de transporte necesaria comenzó a sufrir un cambio en sus prioridades y objetivos que, con el correr de los años, resultaría esencial. Es en este marco que la Provincia de Buenos Aires, a través del Departamento de Ingenieros de su Ministerio de Obras Públicas, decide construir un camino afirmado entre La Plata y Avellaneda, el que era, más allá de eufemismos, un camino entre La Plata y Buenos Aires. El contrato de construcción del camino se firmó el día 31 de mayo de 1911 con la Sociedad Franco Argentina de Caminos, fijándose como fecha de iniciación de los trabajos el 1° de agosto de ese año y de finalización el 1° de mayo de 1914. El camino se proyectó con dos calzadas, o “fajas” según estipula el pliego correspondiente, y con una vía férrea entre ambas; según el contrato citado, la Contratista se obliga a realizar primeramente una sola de dichas “fajas”, la actualmente existente. Un detalle importante del proyecto de camino, que pone de relieve la visión de futuro de los Ingenieros de entonces, consiste en que los dos cruces sobre vías férreas, existentes en los kilómetros 4,425 y 47,130, ambos sobre vías del entonces Ferrocarril Sud, se previeron en alto nivel.

En la actualidad la mayoría de los puentes metálicos construidos en la década de 1910 continúan en servicio, presentando algunos de ellos, patologías fundamentalmente por accidentes. No se observa en los puentes relevados signos importantes de corrosión, teniendo esta solamente un desarrollo superficial de muy pocos milímetros en la mayoría de los casos. Algunos otros puentes se encuentran actualmente con los cauces entubados.

Los estudios metalográficos realizados sobre una pequeña muestras extraída sobre uno de los puentes, muestran un gran número de inclusiones no metálicas, presumiblemente de tipo óxido de hierro, sulfuro, silicato y de alúmina (Figura 7). En la Figura 8 se observa la microestructura del acero revelada con reactivo químico (Nital 2%), donde se aprecia una estructura ferrítica-perlítica, en la que predomina la fase ferrita en un porcentaje estimado al

70%. La superficie de la muestra presenta una corrosión generalizada, como consecuencia de su exposición al ambiente durante un largo período de tiempo. La corrosión es superficial, observándose penetraciones del orden de las dos décimas de milímetro (Figura 9). No se observan signos de corrosión intergranular en el interior de la sección transversal analizada.

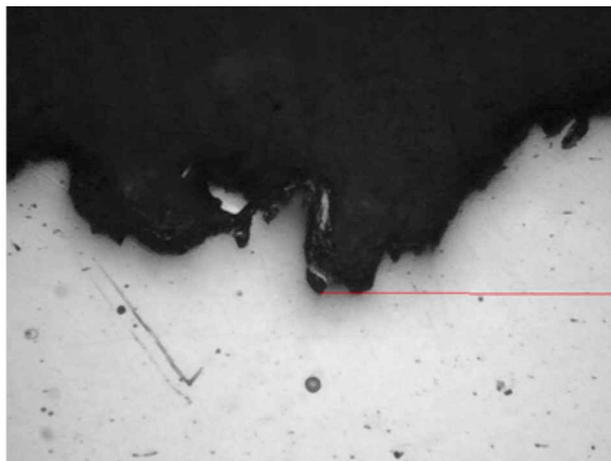


Figura 9. Imagen de la superficie donde se observa la oxidación superficial de la muestra.

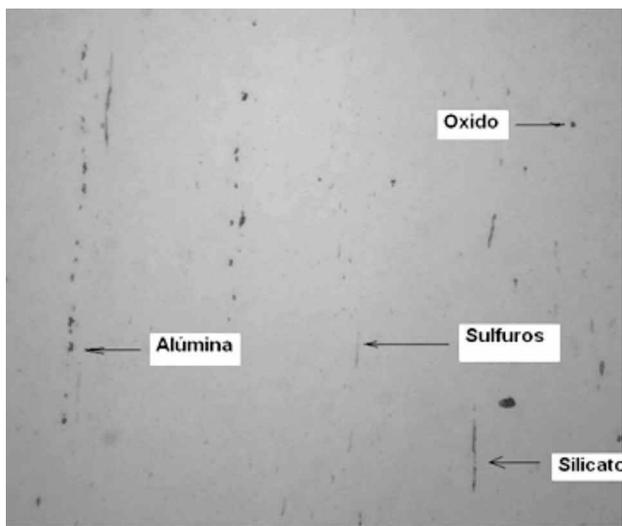


Figura 7. Observación sin ataque químico.

En las fotografías 10 y 11, se observan detalles originales de la construcción de los puentes en el año 1915, mientras que en las figuras 12, 13, 14 y 15 se observan los puentes metálicos inspeccionados actualmente con un uso vehicular intenso. Debe mencionarse que estos puentes tienen su tablero ejecutado en hormigón armado el cual se encuentra, en todos los casos, sin signos de patologías. Además, en las fotografías antiguas se observa en las cuatro esquinas de los puentes un pilar de mampostería que se transforma, en el cauce del río en una pantalla de defensa. En la actualidad, estos pilares han desaparecido, observándose solamente en uno de los puentes restos del pilar original.



Figura 8. Observación sin ataque químico.



Figura 10. Encofrado para el tablero de Hormigón Armado. 28 de Junio de 1915.

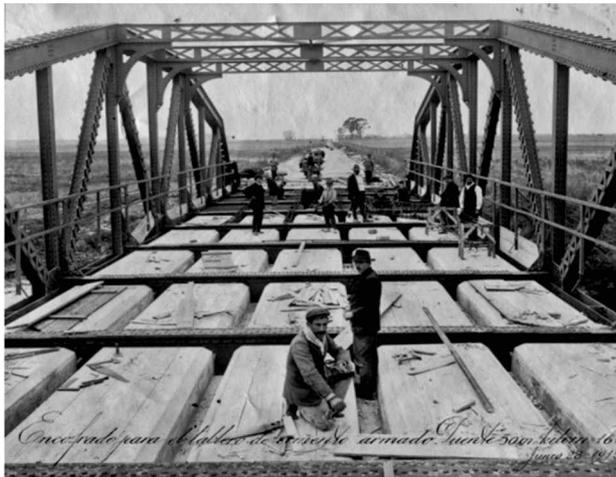


Figura 11. Vista del puente terminadas las obras. 17 de Marzo de 1916.



Figura 12. Vista de uno de los puentes metálicos de la RN N° 1.



Figura 13. Vista de uno de los puentes metálicos con el cauce entubado.



Figura 14. Vista de otro de los puentes metálicos.



Figura 15. Detalle del tablero. Vista inferior donde se observa el casetonado.

Puentes sobre el Rio Samborombon: Este es un típico río de llanura que discurre a lo largo de 100 km, atravesando un terreno levemente ondulado y su cuenca se extiende por unos 11.510 km². Este corto recorrido presenta muy poco caudal en época de sequia, pero se vuelve muy caudaloso en tiempos de lluvias.

Se realizó un relevamiento sobre puentes ubicados sobre el rio Samborombóm. Durante la inspección, se analizó un puente de antigua data construido en el año 1905, ubicado en la cuenca media, una parte del cual había sido reemplazada por una estructura de hormigón armado. El puente se encuentra altamente corroído presentando

algunos de los perfiles perforaciones y en otros sectores, corte de los elementos metálicos de unión. Si bien la atmósfera a la cual estaba expuesta la estructura resultaba poco agresiva, debe plantearse que el nivel de cloruros en el agua del curso (Febrero de 2013) es muy elevado, próximo a 2000mg/l. el colapso de una parte del puente debe atribuirse a una falla por corrosión de un tensor de la estructura resistente del puente. La pieza mencionada era, originariamente, una barra cuadrada de acero de 26mm de lado, con un ojal en el extremo de encastre al soporte de la viga. La degradación de esta pieza como de otras que todavía se encuentran en uso, debe ser atribuida a la formación de rendijas que facilitaron la acumulación de tierra y agua y el desarrollo de un proceso de corrosión por aeración diferencial.



Figura 16. Vista del puente colapsado.



Figura 17. Detalle del tensor con un fuerte proceso de corrosión.

En la cuenca superior, se han ubicado otros puentes metálicos sin patologías relevantes. En algunos casos estos puentes presentan un diseño particular. En todos los puentes se observa la existencia de un adoquinado ejecutado con piezas de 7 x 7 x 7 cm., identificado petrográficamente como migmatitas granodioríticas de la zona de Tandil.



Figura 18. Vista actual del Puente con dos tramos originales y un tercero realizado en hormigón armado.



Figura 19. Vista de un puente metálico de diseño particular.

Puente ex Ruta Nº 11 – Canal 9: A principios del siglo XX la provincia de Buenos Aires, considerando la problemática de las inundaciones en la cuenca del Río Salado, programó la construcción de canales aliviadores, luego de una fuerte discusión técnica sobre las bondades de esta medida. Sobre los citados canales se construyeron puentes metálicos que, actualmente, se encuentran en desuso al ejecutarse la nueva traza de la Ruta 11 con puentes en hormigón armado. Uno de los puentes metálicos más emblemáticos es el que se emplaza sobre el Canal 9.

Este puente (ver Figuras 20, 21 y 22) presenta tres tramos, siendo el tramo medio de 50 metros de luz, ejecutado en hierro con una estructura rectangular. Los otros dos tramos son de hormigón. El tablero del puente también está ejecutado con vigas de hierro y con un casetonado de hormigón armado. Sobre el tablero se ubican adoquines de dos tamaños.



Figura 20. Vista General Puente Metálico sobre Canal 9.

Los pilares están revestidos en morteros cálcicos de una relación en peso 1:3. La arena corresponde a rocas trituradas de coloración blanquecino-grisácea con tamaños de hasta 8 milímetros. Mineralógicamente está compuesta por cuarzo, feldspatos, micas y fragmentos de rocas graníticas granudas, integradas también con cuarzo, feldspatos y micas. El porcentaje de arena natural es muy escaso y la proporción no sobrepasa el 10% del residuo insoluble.

Los adoquines del tablero corresponden a una roca ígnea plutónica, de color rosado grisáceo, relativamente fresca, compacta y tenaz. Debe ser calificada como un granito calcoalcalino proveniente de las Sierras de Tandilia en la provincia de Buenos Aires.



Figura 21. Detalle de corrosión de perfiles.



Figura 22. Detalle de corrosión en elementos de hormigón que conforman la superestructura.

CONSIDERACIONES FINALES

De los relevamientos realizados surge que, con excepción de los puentes metálicos de la RN N°1, que han visto sensiblemente aumentada la sobrecarga de trabajo, los otros puentes relevados han quedado perdidos en caminos rurales, con tránsito mínimo y, algunos de ellos, con un elevado grado de corrosión en la estructura metálica que ha llegado a perforar el alma de los perfiles empleados.

Solamente en uno de los casos se ha registrado un colapso de uno de los tramos del puente debido a problemas de corrosión, en este caso el contenido de cloruros en el agua del curso es extremadamente elevado. Sin embargo, debe plantearse que en el puente ubicado sobre el Canal 9, que presenta también un alto grado de corrosión, el contenido de cloruros en el agua es mínimo.

El acero empleado en los puentes relevados corresponde a uno de baja aleación, del tipo hierro pudelado, cuya microestructura revela claramente el proceso de fabricación mediante la deformación en caliente de láminas superpuestas. Las inclusiones no metálicas serían compuestos de silicato de manganeso y hierro.

Los resultados obtenidos confirman que los perfiles metálicos con los cuales se han ejecutados estos puentes presentan a lo largo del tiempo un comportamiento durable que depende de las características del medio ambiente. Los puentes de la Ruta Nacional n° 1 presentan una pérdida mínima de sección resistente por efecto de la corrosión, mientras que otros de los puentes relevados presentan un alto grado de corrosión atribuibles al nivel de cloruros del curso y también, a al diseño estructural ya que no existen causas objetivas que hayan originado la magnitud de la alteración.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Dr. Ing. Ricardo Gregorutti e Ing. Jorge E. Grau, del área Procesos Metalúrgicos y Soldadura, y al Lic. Alejandro Ribot, del área Geología, pertenecientes al LEMIT.

BIBLIOGRAFIA

1.- Traversa, L. P., Di Maio, A. A., Longoni, R. Historical and modern arch bridges, built from the end of 19th. century to the middle of 20th century in the Province of Buenos Aires. Arch'01, Paris. Troisième Conference Internationale sur les Ponts en Arc, 2001, Paris, Francia

2.- Weisinger, G. y Del Carril, T. El Artista Prilidiano Pueyrredón. Un pionero de la Ingeniería Argentina. Revista Asociación de Ingenieros estructurales. Año 14, N° 34, Abril 2006, pp. 21-30.

3.- Gerardi, Donato: "Camino Afirmado de La Plata a Avellaneda", Ministerio de Obras Públicas de la Provincia de Buenos Aires, La Plata, 1916.

4.- Lima, L. J. Puente "Donato Gerardi": un puente patrimonial de hormigón armado en servicio durante 90 años. V Jornada "Técnicas de Restauración y Conservación del Patrimonio", La Plata, LEMIT, Setiembre 2007.

5.- A. Picasso, R. Romero y A. Cuniberti. Identificación y caracterización de un acero y una fundición utilizados en la construcción de puentes ferroviarios a fines del siglo pasado. Jornadas SAM 2000 - IV Coloquio Latinoamericano de Fractura y Fatiga, Agosto de 2000, 893-899

6.- F.A Champion, Ensayos de corrosión Editorial Urmo, 1976.



LABORATORIO DE ENTRENAMIENTO MULTIDISCIPLINARIO PARA LA INVESTIGACION TECNOLOGICA

TECNOLOGIA DEL HORMIGON

- 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

LA RAZÓN AGUA CEMENTO Y LAS ADICIONES EN LA CARBONATACIÓN ACELERADA DE MORTEROS

F. Iloro LEMIT, Av. 52 e/ 121 y 122, La Plata, Argentina. patrimonio@lemit.gov.ar,

N. Ortega U.N.S.-Dto. Ingenieria. Av. Alem 1253, Bahía Blanca, Argentina.
nfortega@criba.edu.ar

J. D. Sota UTN GIICMA Salta 277 Concordia, Argentina. jdsota@gmail.com

Resumen

Hacia los años 20, en la ciudad de Concordia, Para la durabilidad del hormigón armado la carbonatación es uno de los procesos causales de la patología más crítica, la corrosión de sus armaduras, disminuyendo la alcalinidad ($\text{pH} < 9$) despasivando así a las barras de acero del refuerzo. La carbonatación se origina cuando el CO_2 atmosférico ingresa a la masa del hormigón a través de los poros interconectados con el exterior y en presencia de humedad, transforma al hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) presente en carbonato de calcio (CaCO_3). La formación del $\text{Ca}(\text{OH})_2$ formado en la hidratación del cemento depende principalmente del calcio (OCa) aportado por el mismo. En este Trabajo se evalúa la incidencia de la relación a/c en un cemento sin adiciones, la influencia de las adiciones minerales para una razón a/mc y la edad en la cinética del proceso de carbonatación en morteros. Las experiencias se realizaron en morteros elaborados con cemento normal (sin adiciones) y con adiciones minerales (cenizas volantes, puzolanas naturales, escorias de alto horno y filler calcáreo), en reemplazo del cemento. Los ensayos, a fin de acelerar el proceso de evaluación, se realizaron en una cámara de carbonatación acelerada, donde se mantuvieron constantes la humedad, la temperatura y la concentración de CO_2 (40.000 ppm).

Palabras Clave: Carbonatación, Adiciones minerales, Edad, A/ml, Morteros

Abstract

For durability of concrete carbonation is one of the causes of the disease processes most critical, corrosion of reinforcement, reducing the alkalinity ($\text{pH} < 9$) despasivando well to steel reinforcement bars. Carbonation occurs when atmospheric CO_2 enters the mass of concrete through the pores interconnected with the exterior and in the presence of moisture, transforms to calcium hydroxide ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) present in calcium carbonate (CaCO_3). The formation of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ formed on cement hydration depends primarily of calcium (CaO) supplied by it. This paper assesses the impact of the ratio a/c in a cement without additions, the influence of mineral admixtures for a reason/mc and age on the kinetics of the carbonation process in mortars. The experiments were performed on mortars made with ordinary cement (no additions) and mineral admixtures (fly ash, natural pozzolans, blast furnace slag and limestone filler), replacing cement. The tests, in order to accelerate the process of evaluation, performed in an accelerated carbonation chamber, where the humidity is kept constant, the temperature and the concentration of CO_2 (40,000 ppm).

Keywords: carbonation, mineral admixtures, Age, A / ml, Mortars

INTRODUCCIÓN

profundidades en cortos periodos de tiempo, se emplea en laboratorio un método acelerado de carbonatación. El método acelerado consiste elevar el CO_2 a concentraciones muy superiores a la existente en la atmósfera. La concentración promedio de dióxido de carbono en la atmósfera es de aproximadamente 0,0035 % en volumen, por lo cual para poder alcanzar una cierta profundidad en un breve periodo de tiempo se debe incrementar considerablemente la concentración de CO_2 en un espacio confinado, como por ejemplo al 4 % en volumen, 100 veces mayor a la natural.

Investigaciones realizadas con el método de carbonatación acelerada han indicado que por más que se eleve la concentración de CO_2 , si la humedad relativa se mantiene dentro del rango 50-70 %, no se evidencia un incremento lineal del perfil de carbonatación. Pero cuando la humedad varía a valores menores de 50 % y/o mayores a 70% y se mantiene constante la concentración de CO_2 , los perfiles de carbonatación pueden resultar inferiores.

Se ha demostrado que la profundidad de

carbonatación en el concreto, para una semana de exposición al 4% de CO_2 es muy similar a la profundidad de carbonatación para un año de exposición en ambiente natural [12].

Las experiencias de carbonatación acelerada se realizaron en una cámara diseñada y montada en el LEMIT de acuerdo a lineamientos generales especificados en la bibliografía [11] [13]. La cámara desarrollada consiste en un gabinete de acero inoxidable con dos puertas frontales con paños de vidrios (Figura 1). La cámara genera temperatura mediante un sistema de calefacción con resistencias eléctricas, en un rango que va desde 0 ° C a 80 °C. La humedad es lograda generando vapor de agua, mediante calentamiento por resistencias eléctricas blindadas, pudiéndose programar el valor de exposición deseado, los porcentajes mínimos y máximos y el diferencial de encendido y corte del sistema. Además, posee un equipo de refrigeración para mantener dentro del rango máximo a la temperatura y a la humedad relativa, el mismo se ajusta de acuerdo a la temperatura de trabajo. La cámara posee un programador y control digital de lectura continua de la temperatura y la humedad existente en su interior (Figura 2).



Figura 1. Vista de la cámara de carbonatación acelerada.



Figura 2. Detalle del programador y registro continuo digital de la temperatura y humedad relativa del interior de la cámara.

La corriente de aire con CO₂, resulta inyectando aire proveniente de un compresor y una corriente de CO₂ procedente de una batería de tubos recargables con el mencionado gas. Las presiones de ambas corrientes son controladas por manómetros. La presión de trabajo fue la correspondiente al aire atmosférico. La concentración de CO₂ fue obtenida y mantenida empleando un sensor de CO₂ marca VAISALA modelo 221, regulando los flujómetros colocados a la salida de cada corriente, un flujómetro de 5 l/m para el CO₂ y otro de 15 l/m para la corriente de aire. La cámara en su interior tiene un circulador de aire para lograr una atmósfera homogénea.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Materiales y mezclas

Para las experiencias se elaboraron cinco clases de morteros, siguiendo los lineamientos de la Norma IRAM 1622 respecto a las condiciones de mezclado, compactación y curado. Se moldearon prismas de 4 x 4 x 16 cm..

Los morteros se realizaron con arena natural con una granulometría y en proporciones según Norma IRAM 1633, un cemento portland normal (CPN) y adiciones minerales como reemplazo. Se realizaron tres morteros con CPN con distinta razón a/c mientras que para los morteros con reemplazo de adiciones se mantuvo constante la razón agua/material ligante (0,50) y la cantidad de arena, mientras que el contenido de cemento vario en función del porcentaje de adiciones incorporado. Se obtuvieron siete clases de morteros, uno con razón a/cml 0,50 con cemento portland normal

(MCN50) definido como mortero patrón, dos con CPN y razón a/ml 0,40 (MCN40) y 0,60 (MCN60) y cuatro con cemento y adiciones, con reemplazos en peso por 30 % de ceniza volante (MCC) y puzolana (MCP), por 20 % de filler (MCF) y por 60 % de escoria (MCE). En la Tablas 1 se presentan las dosificaciones, mientras que en la “Tabla 3”, los análisis físicos y químicos del cemento y las adiciones empleadas.

La incorporación de una adición mineral al cemento portland modifica las propiedades mecánicas de los morteros por una efecto de dilución, pero que tiende a ser compensado por el efecto filler y, posteriormente, por la actividad puzolánica cuando la adición es capaz de desarrollarla [14] [15].

Luego del curado a la edad de 90 días se determinó la resistencia a compresión (f'c) según la Norma IRAM 1622. Complementariamente se determinaron la absorción en inmersión de agua a 24 hs, la densidad saturada superficie seca, según Norma IRAM 1533, y la porosidad total como la relación entre el volumen de agua absorbido durante 24 hs y el volumen de la muestra.

RESULTADOS

Características físico mecánicas

En la Tabla 2 se informan los valores obtenidos de la resistencia a compresión, la absorción en inmersión de agua a 24 hs, la densidad saturada superficie seca. En la Figura 3 se muestran los valores de la porosidad.

Componentes (grs)	Mortero						
	MCN40	MCN50	MCN60	MCC	MCP	MCF	MCE
CPN	562,5	450	375	315	315	360	180
ceniza volante	--	--	--	135	--	--	--
puzolana natural	--	--	--	--	135	--	--
filler calcáreo	--	--	--	--	--	90	--
escoria de alto horno	--	--	--	--	--	--	270
arena	1350						
agua	225						
a/(c+ad.)	0,40	0,50	0,60	0,50			

Tabla 1: Proporciones de los materiales.

	CPN	F	E	P	CV
Propiedades físicas					
Ret. Tamiz 75 μm (%)	12.4	34.6	14.6	2.9	5.0
Ret. Tamiz 45 μm (%)	--	40.8	34.0	11.0	7.0
Sup. esp. Blaine (m^2/Kg)	293	434	260	427	285
Composición química					
Pérdida por calcinación (%)	1.40	34.6	--	2.40	1.70
SO_3 (%)	2.40	0.16	2.0	--	0.54
MgO (%)	2.30	0.39	4.0	0.44	2.01
Fe_2O_3 (%)	2.40	1.3	1.6	3.64	2.40
SiO_2 (%)	23.40	9.8	37.1	75.86	63.01
Al_2O_3 (%)	2.7	1.82	12.3	10.3	24.48
CaO (%)	64.9	--	41.4	5.81	3.52
CO_3Ca (%)	--	47.1	--	--	--
Na_2O (%)	0.60	--	0.37	1.42	1.89
K_2O (%)	0.80	0.36	0.73	--	0.41

Tabla 2: Propiedades físicas y análisis químico del cemento y las adiciones.

MCN40	MCN50	MCN60	MCC	MCP	MCF	MCE
Resistencia a compresión (MPa) (90 días)						
52,0	47,1	41,8	46,8	49,7	38,1	44,2
Densidad saturada superficie seca						
2,15	2,11	2,12	2,07	2,05	2,1	2,08
Absorción de agua a 24 hs (%)						
5,52	6,61	7,27	8,07	7,87	7,21	7,63

Tabla 3: Propiedades físico-mecánicas.

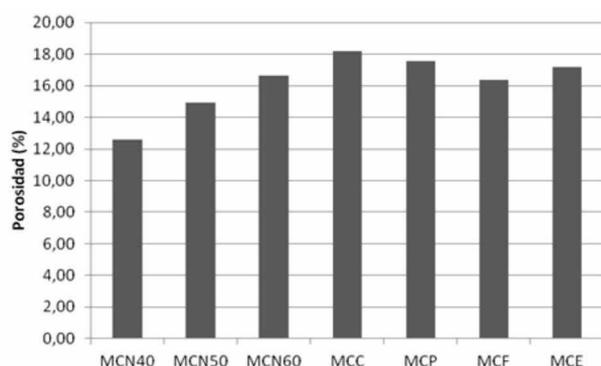


Figura 3. Valores de porosidad a la edad de 90 días.

Profundidad de carbonatación

Para las pruebas de carbonatación acelerada, luego de cumplidos la edad de curado y con el fin de representar las condiciones reales de exposición, las probetas fueron colocadas inmediatamente en la cámara de carbonatación, sin efectuar el acondicionamiento previo en ambiente de laboratorio, según la bibliografía 90 o 100 días en ambiente de laboratorio. Antes de la colocación, en la cámara, se seccionaron cubos de $4 \times 4 \times 4 \text{cm}$. Previo a la inyección del CO_2 , se realizó un acondicionamiento de los especímenes para equilibrar higrométricamente los morteros respecto a la humedad de la cámara, para lo cual se realizaron pesadas hasta obtener una variación

del peso de 0,1 gr. Alcanzado el equilibrio higrométrico, se procedió a inyectar la mezcla de aire con CO₂. El tiempo de exposición dentro de la cámara fue de 7 días.

Finalizado el periodo de carbonatación se seccionó cada espécimen a la mitad aplicando una fuerza diametral, luego se limpiaron las superficies mediante sopleteo con aire a presión, por último, se rociaron con fenolftaleína al 1 %. El indicador de fenolftaleína permite diferenciar por colorimetría tres zonas del valor del pH, cuando es inferior a 8, la disolución se torna incolora, entre 8 y 9,5, adquiere una tonalidad rosa suave y cuando es mayor de 9,5, adquiere un color rojo púrpura intenso. Luego de transcurrido unos minutos se toman las profundidades con un calibre, realizándose 4 lecturas por lado de las mitades obtenidas, los valores informados corresponden al promedio de las 32 lecturas en cada espécimen. En la Tabla 4 se informan las profundidades de carbonatación promedio (L) y la desviación estándar (s).

Volumen de material carbonatable

La cantidad de CO₂ absorbida por los morteros depende de la cantidad de material carbonatable (reserva alcalina) existente en el mortero, definida por el contenido unitario de cemento, la razón agua/cemento y las características químicas de la adición empleada.

La cantidad de CO₂ absorbida esta definida por la cantidad material carbonatable por unidad de

volumen, determinada como el porcentaje total de CaO contenido en el cemento, estimado que el 100% del CaO presente en el hidróxido de calcio y en las fases AFt y AFm, así como el 50% del CaO presente en el gel C-S-H, puede transformarse en carbonato cálcico, lo cual significa que el 75% de todo el CaO presente en el cemento original puede carbonatarse.

Cuando se emplean adiciones se puede reemplazar el término de contenido unitario de cemento por el de material ligante [17], el cual está conformado por el contenido de cemento (CUC) y el contenido de la adición (CUAdc), Ec. 3:

$$M_{CO_2} / M_{CaO} = 0,75 [(CUC \cdot CaO) + (CUAdc \cdot CaOA)] \quad Ec. (3)$$

donde:

CUC: Contenido de cemento, en Kg/m³

CaO: Contenido de CaO del cemento, en porcentaje

CUAdc: Contenido unitario de adición, en Kg/m³

CaOA: Contenido de CaO de la adición, en porcentaje

MCO₂ y MCaO: Peso molecular del CO₂ y del CaO

En los morteros donde se ha reemplazado parte del cemento por las adiciones, se verifica que el porcentaje de material carbonatable por unidad de volumen es menor al del mortero patrón que presenta el máximo valor 172,1 Kg/m³, siendo los morteros con cenizas volantes y puzolanas los que poseen menor contenido de material carbonatable del orden de 123.26 y 125.08 Kg/m³, respectivamente, Tabla 5.

Profundidad (mm)	MCN40	MCN50	MCN60	MCC	MCP	MCF	MCE
L	--	0,9	3,0	3,9	3,6	4,5	3,1
s	--	0,09	0,11	0,10	0,10	0,12	0,10

Tabla 4: Profundidades de carbonatación y desviación estándar.

MCN40	MCN50	MCN60	MCC	MCP	MCF	MCE
Profundidad de carbonatación (mm)						
--	0,9	3,0	3,9	3,6	4,7	3,1
Volumen de material carbonatable (Kg/m³)						
215,13	172,1	143,42	123,26	125,08	137,68	134,71

Tabla 5: Profundidad de carbonatación y volumen de material carbonatable.

Relacionando las profundidades de carbonatación con el material carbonatable calculado con la Ec. 3., se observa una vinculación directa entre ambos parámetros, ya que las mayores profundidades se manifiestan en los morteros con menor contenido de material carbonatable, a igual concentración de cantidad de CO₂ presente en el ambiente de exposición.

DISCUSION DE LOS RESULTADOS

Los morteros ejecutados con el CPN y distintas razones de a/ml presentan niveles resistentes diferenciales, a menor razón a/ml mayor resistencia. Los morteros con reemplazo de adiciones alcanzan valores de resistencia a compresión similar a mortero patrón excepto el mortero con filler calcáreo que presenta menor valor.

En cuanto a la absorción de agua en los morteros con CPN únicamente, la razón a/ml ha originado morteros mas compactos que otros, mayor compacidad se observa en los de menor razón a/ml, efecto puesto de manifiesto en los valores de absorción, mientras que en los morteros adicionados se observan valores similares al mortero CPN60.

La porosidad total se ve influenciada en los morteros con CPN por la razón a/ml, menor razón menor porosidad. Los valores determinados para los morteros con adiciones se corresponden con el del mortero CPN60.

En cuanto a las profundidades de carbonatación se verifica que el mortero CPN40 es el que no presenta profundidad mientras que el mortero patrón la menor que las demás series. La profundidad esta influenciada por la razón a/ml en los morteros con CPN debido a la densidad que han desarrollado, la compacidad de la estructura dificulta la difusión del CO₂. En los morteros con adiciones la profundidad alcanzada es superior a la CPN60 a pesar de tener similar porosidad.

Si se analiza la profundidad de carbonatación respecto al volumen de material carbonatable en cuanto al fijación de CO₂, en todas las series se evidencia su significancia, dado que a pesar de existir morteros con valores resistentes y porosidades totales similares. El mortero

patrón CPN40 es el que mayor volumen de material carbonatable y menor profundidad de carbonatación presenta.

CONSIDERACIONES FINALES

Del análisis de los resultados obtenidos sobre morteros con razones de a/ml distintas y con reemplazo parcial de adiciones a la edad 90 días, se verifica que las resistencias a compresión se incrementan con la disminución de la razón a/ml y los morteros con adición presentan valores similares a los alcanzados por el mortero patrón.

Con respecto a la porosidad, característica vinculada directamente con los procesos de carbonatación, se han obtenido valores que varían con la razón a/ml en morteros con cemento normal y son similares en los morteros con adiciones siendo algo mayores a la del mortero patrón. La disminución de la porosidad de los morteros con CPN se debe al incremento de los productos de hidratación que originan una matriz más compacta y densa. Mientras que en todos los casos de los morteros con adición no existe una diferencia tan marcada, debido quizás a los contenidos de acciones de reemplazo.

Surge de estas experiencias que la porosidad total no pone de manifiesto si el efecto de las adiciones ha variado la porosidad capilar o efectiva que es la que participa en la difusión de líquidos y gases en la matriz del mortero u hormigón, dado que se los niveles de resistencia a compresión se han incrementado con la edad de los morteros.

El volumen de material carbonatable estimando que solamente el 75% del total de CaO que incorpora el cemento y las adiciones es el que se carbonata, es la variable de mayor significancia, dado que el mortero CPN40 presenta el mayor volumen, es el que menor profundidad ha presentado entre las series y también ha disminuido la profundidad con la edad. Todas las series con reemplazo de adiciones han presentado mayores profundidades en concordancia con el volumen de material carbonatable, siendo el mortero con filler la que presentó profundidad a pesar de contener un volumen de material carbonatable intermedio.

Como conclusión final de las experiencias realizadas puede plantearse que se pueden alcanzar

comportamientos físico mecánicos similares entre morteros con adiciones como reemplazo y sin reemplazo, pero uno comportamiento diferencial de durabilidad. La porosidad total no pone de manifiesto el efecto real de las adiciones respecto a la densidad y tortuosidad de los poros que intervienen en el proceso de difusión, siendo la variable masa crítica el volumen de material carbonatable, para lo cual deberá evaluarse cuáles son los porcentajes de reemplazo adecuados para la durabilidad y/o el empleo de aditivos reductores de agua para disminuir la razón a/c efectiva.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Ing. Luis P. Traversa por sus aportes y colaboración en el desarrollo de este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] A.A. Di Maio, J.D. Sota, L.P. Traversa 1999. Patología de estructuras de hormigón. Análisis de algunos casos más relevantes ocurridos en la Argentina en los últimos años. III Congreso Iberoamericano de Patología de la Construcción y V Congreso Iberoamericano de Control de Calidad. La Habana, Cuba.
- [2] L.P. Traversa: Evaluación y diagnóstico de Puentes de Hormigón Armando ubicados en ambientes rurales y marinos. 2006. 16º Reunión Técnica AATH, Mendoza, Argentina.
- [3] Pihlajavaara S.E. 1968. "Some results of the effect of carbonation on the porosity and pore size distribution of cement paste". *Materials and Structures*, 1(6), p.p. 521-527.
- [4] Bonavetti V.L., Rahhal V. F., Irassar E. F. 2002. "Evolución de la hidratación en cementos con adiciones". *Materiales de Construcción*. Vol. 52. (268), p.p 57-63.
- [5] Ingram K., Daugherty K. 1992. "Limestone Additions to Portland Cement: Uptake, Chemistry and Effects". *Proc. 9th International Congress of the Chemistry of Cement*. New Delhi, India. Vol. II, pp. 181 - 186.
- [6] Barker A., Matthews J. 1994. "Concrete Durability Specification by Water/Cement or Compressive Strength for European Cement Types" *Durability of Concrete*. Third International Conference, Detroit. SP 145 (62), pp 1135 - 1159.
- [7] Bonavetti V.L. 1998. "Cementos con filler calcáreo, mecanismo de interacción y su influencia sobre las propiedades resistentes". Tesis Magister.
- [8] López, M., Castro J. T., 2010. "Efecto de las puzolanas naturales en la porosidad y conectividad de poros del hormigón con el tiempo". *Revista Ingeniería de Construcción* Vol. 25 (3).
- [9] Molina Bas, O.I., Fuentes A., Terrades M., Gálvez Ruiz J. "La influencia de las propiedades del cemento portland en la difusión de agentes agresivos en hormigones con cenizas volantes". *Rev. Int. de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*. Vol. 10
- [10] UNE –EN 206:1. 2008. "Hormigón, especificaciones, prestaciones, producción y conformidad".
- [11] E.I. Moreno, G. Domínguez Lara, E.J. Cob Sarabia, F. Duarte Gómez. 2004. Efecto de la relación agua/cemento en la velocidad de carbonatación del concreto utilizando una cámara de aceleración. *Revista Ingeniería*. pag. 117-130. México.
- [12] J.M. Chi, R. Huang, C.C. Yang. 2002. Effects of carbonation on mechanical properties and durability of concrete using accelerated testing method. *Journal of Marine and Technology*, Vol. 10, No. 1, pp. 14-20.
- [13] D. Linares, M. Sánchez. 2003. Construcción, operación y puesta en funcionamiento de una cámara para carbonatación acelerada. *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia*. Vol. 26, N° 1, 34-44,
- [14] P.L. Valdez-Tamez, A. Durán-Herrera, G. Fajardo-San Miguel, J. Alvarado. 2009. Influencia de la carbonatación en morteros de cemento Portland y ceniza volante, *RIIT* Vol. X, No.1, 39-49, FI-UNAM.
- [15] V.L. Bonavetti, V.F. Rahhal. 2006. Interacción de adiciones minerales en pastas de cemento. *Revista de la Construcción*, Vol. 5, N° 2, pp. 33-41, Santiago de Chile.
- [16] Kjellsen K., Guimaraes M., Nilsson A. 2005. "The CO₂ Balance of Concrete in a Life Cycle perspective". *Nordic Innovation Centre*.
- [17] Iloro F. H., Sota J., Ortega N. 2012. "Influencia del tipo de cemento en el proceso de carbonatación acelerada de morteros". VIII CINPAR Congreso Internacional sobre Patología y Recuperación de Estructuras. La Plata, Argentina.



Ministerio de Educación

***UTN** UNIVERSIDAD
TECNOLOGICA
NACIONAL

Facultad Regional Concordia

Giicma

Salta 277 - Concordia (ER-ARG) - C.P. E3200EKE

Tel/Fax: (0345) 421-4590 / 422-6614

giicma@frcon.utn.edu.ar

www.frcon.utn.edu.ar