



Durabilidad de morteros de reparación sustentables expuestos a ambiente industrial

J. M. Mendoza-Rangel¹, J. M. Flores-Jarquín¹, E. U. De Los Santos¹, P. Garcés²

¹Universidad Autónoma de Nuevo León, UANL, FIC, Av. Universidad S/N, Ciudad Universitaria, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, C.P. 66451, México.

²Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Alicante, Carretera de San Vicente del Raspeig S/N, San Vicente del Raspeig, España

Información del artículo

DOI:

<http://dx.doi.org/10.21041/ra.v6i1.114>

Artículo recibido el 22 de septiembre de 2015, revisado bajo las políticas de publicación de la Revista ALCONPAT y aceptado el 12 de diciembre de 2015. Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores, se publicará en el tercer número del año 2016 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del segundo número del año 2016.

© 2016 ALCONPAT Internacional

Información Legal

Revista ALCONPAT, Año 6, No. 1, Enero – Abril 2016, es una publicación cuatrimestral de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, Internacional, A.C., Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, alconpat.int@gmail.com, [Página Web: Revista ALCONPAT](http://www.revistaalconpat.org). Editor responsable: Dr. Pedro Castro Borges. Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de Informática ALCONPAT, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado, Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida Yucatán, C.P. 97310, fecha de última modificación: 30 de marzo de 2016.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor.

Queda totalmente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la ALCONPAT Internacional A.C.

RESUMEN

La reparación y mantenimiento de estructuras de concreto se ha incrementado en las actividades de la industria de la construcción. En el presente trabajo, se evalúa la durabilidad de dos morteros elaborados con sustituciones de ceniza volante (CV) en peso con respecto al cementante total, adicionalmente se compara su desempeño con tres morteros de reparación comerciales, expuestos al ataque de CO₂ en ambiente industrial. Para evaluar el desempeño como materiales de reparación se realizaron ensayos de resistencia a la compresión, flexión y adherencia. Se presentan también pruebas de durabilidad como mediciones de potencial, velocidad de corrosión, permeabilidad y profundidad de carbonatación.

Palabras clave: mortero; materiales de reparación; corrosión; carbonatación; durabilidad.

ABSTRACT

The repair and maintenance of concrete structures has increased in the activities of the construction industry. In this work, the durability of two mortars elaborated with fly ash substitutes (FA) is evaluated by weight with respect to the total cement; furthermore, its performance is compared to three commercial repair mortars, exposed to the CO₂ attack in an industrial environment. To evaluate its performance as repair material, tests were carried out to evaluate its resistance to compression, bending, and adherence. Durability tests are also presented as potential measurements, corrosion rate, permeability, and carbonation depth.

Keywords: mortar; repairing materials; corrosion; carbonation; durability.

RESUMO

O reparo e manutenção de estruturas de concreto tem crescido dentre as atividades da indústria da construção. Foi avaliada a durabilidade de duas argamassas obtidas a partir de substituição de cinzas volantes (CV), em massa em relação à quantidade total de produto aglomerante. Foi comparado o desempenho dessa argamassa com o desempenho de três argamassas de reparo comerciais, frente a um ataque de CO₂ num ambiente industrial. Para avaliar o desempenho como materiais de reparo foram realizados ensaios de resistência à compressão, flexão e aderência. São apresentadas também provas de durabilidade com medidas de potencial de corrosão, velocidades de corrosão, permeabilidade e profundidade de carbonatação.

Palavras-chave: argamassa; materiais de reparo; corrosão; carbonatação; durabilidade.

Autor a contactar: José Manuel Mendoza Rangel (jmmr.rangel@gmail.com)

1. INTRODUCCIÓN

El principal problema por el cual una estructura de concreto reforzado requiere reparación, es la corrosión del acero, influyendo negativamente en la durabilidad de las construcciones, poniendo en riesgo su funcionalidad y seguridad (Andrade C., Feliu S., 1989). En ambientes industriales y urbanos, las grandes concentraciones de CO₂ son un problema para las edificaciones de concreto reforzado, debido a la carbonatación del concreto que ocasiona una reducción de alcalinidad y genera la despasivación y corrosión del acero. Para el desarrollo de la carbonatación, la humedad y la temperatura son factores que modifican su velocidad de avance.

Después de haber detectado el daño por corrosión en una estructura, es necesario emprender acciones para realizar una reparación y alargar su vida útil. El trabajo de reparación se puede dividir básicamente en los siguientes pasos: eliminación del concreto, limpieza del acero expuesto y la aplicación de un material de reparación (Fernández Cánovas, 1989).

La selección del material de reparación es el criterio más importante a considerar en el trabajo de reparación, normalmente la resistencia a la compresión es tomada para seleccionar un mortero de reparación, esto es totalmente insuficiente si no se tienen en cuenta otros parámetros más importantes como es la compatibilidad del mortero con el sustrato de concreto. El tema de la compatibilidad conlleva a estudiar la diferencia entre las propiedades del sustrato de concreto y el mortero de reparación, ya que dicha diferencia puede inducir efectos negativos sobre la reparación, generando agrietamiento y por lo tanto disminuyendo su durabilidad (Decter, 1997).

Se han hecho muchos estudios para evaluar diferentes tipos de materiales de reparación disponibles en el mercado. Desafortunadamente, no están especificadas las propiedades que se deben considerar para la evaluación y selección de los materiales de reparación (Cabrera, 1997). Algunos autores (Emmons, 1994), establecen las consideraciones que afectan la compatibilidad para una buena selección de los materiales de reparación. De estas consideraciones, probablemente la más importante es la capacidad de soportar los cambios de volumen, sin pérdida de adherencia ni agrietamientos, esto se conoce como "Compatibilidad dimensional". Además de los cambios de volumen, una reparación también debe tener un efecto protector y para asegurar eso, se deben considerar la compatibilidad química, electroquímica y la permeabilidad del material de reparación.

Los problemas relacionados con las propiedades a evaluar y la selección de los materiales de reparación se atribuyen a la falta de regulación con relación a las actividades de reparación, mantenimiento y renovación (Kay, 1987; Treadaway, 1987), además de la insuficiente información que proporcionan los fabricantes de los materiales de reparación. Por tal motivo, es necesario llevar a cabo investigaciones sobre los materiales de reparación adecuados para el entorno y las condiciones de servicio de cada estructura. A su vez, el empleo de materiales cementantes alternos como la ceniza volante, permitirán tener materiales de reparación de bajo impacto ambiental por la disminución en el uso de cemento portland ordinario (CPO) y que cumplan con las características necesarias de una reparación duradera.

El objetivo de este trabajo es evaluar la durabilidad y el desempeño potencial de tres morteros preparados en el laboratorio, dos con sustitución de CV (20 y 50%) por CPO y tres morteros de reparación comerciales, en particular su comportamiento mecánico, estabilidad dimensional, adherencia y su capacidad para proteger al acero de la corrosión por carbonatación en un ambiente industrial.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

La Tabla 1 muestra la proporción de los morteros elaborados en el laboratorio. El mortero MR es usado como referencia, los morteros M1 y M2 fueron elaborados con la misma relación agua/cemento y cemento-arena que la referencia, pero con adiciones de CV de 20 y 50% en sustitución con respecto al peso de cemento de MR. El cemento utilizado es un CPO 40 y la CV de tipo F, fue obtenida de la Carboeléctrica de la ciudad de Nava Coahuila. La composición química del CPO y CV se observa en la Tabla 2.

Tabla 1. Proporciones de los morteros de reparación fabricados en el laboratorio.

Mortero	Componente	Proporción
MR	CPO	1
	Arena	3
	Agua	0,5
M1	CPO	0,8
	CV	0,2
	Arena	3
	Agua	0,5
M2	CPO	0,5
	CV	0,5
	Arena	3
	Agua	0,5

Los morteros de reparación comerciales se identifican como C1, C2 y C3, estos son morteros pre-empacados, base cemento y de un solo componente, C1 es un mortero reforzado con fibras, C2 de fraguado rápido, C1 y C3 son modificados con polímeros y con adiciones de microsilíce en proporciones conocidas por el fabricante. El mezclado y las cantidades de agua que se utilizaron fueron los especificados en la ficha técnica de cada mortero.

Tabla 2. Composición Química en óxidos del Cemento Portland y la Ceniza Volante

Óxidos	CPO (%)	CV (%)
SiO ₂	17,43	56,51
Al ₂ O ₃	4,67	33,11
Fe ₂ O ₃	2,25	1,49
CaO	63,27	0,70
MgO	1,23	1,67
SO ₃	4,98	0,34
Na ₂ O	0,56	3,32
K ₂ O	0,75	0,52

Se fabricaron diferentes tipos de especímenes de acuerdo al ensayo a realizar; después de la fabricación, los especímenes se conservaron en una cámara de curado a 100% de Humedad Relativa (RH) y a 21±2 °C, durante 14 días. Posterior al curado, los especímenes fueron retirados de la cámara hasta cumplir la edad de 28 días.

Para el ensayo de potenciales de corrosión se fabricaron especímenes con dos varillas de acero de 6 mm de diámetro para dejar un recubrimiento de 7 mm, adicionalmente se colocó una barra de grafito del mismo diámetro para ser utilizado como contra electrodo.

Para evaluar la capacidad de resistir el ingreso de agentes agresivos los especímenes fueron expuestos a la carbonatación en un ambiente industrial.

En la industria donde se ubicaron los especímenes se llevan a cabo procesos industriales de producción de carbonato y bicarbonato de sodio, creando así un ambiente agresivo y dañino para el concreto.

2.1 Resistencia a compresión y flexión.

Para determinar la resistencia a la compresión se fabricaron cubos de mortero de 50 mm de lado. El procedimiento de llenado de los cubos y del ensaye, se realizó según lo establecido en la norma (ASTM C 109). La resistencia a la flexión se realizó de acuerdo al procedimiento descrito en la norma, en probetas prismáticas de 40x40x160 mm (ASTM C 348).

2.2 Adherencia.

El ensayo utilizado fue el conocido como de corte inclinado, el cual utiliza un prisma de 100x100x300 mm, hecho de dos mitades idénticas unidas a 30° y probados bajo compresión axial (Momayez, 2005).

2.3 Permeabilidad.

El procedimiento para determinar la permeabilidad al aire de los morteros de reparación se llevó a cabo mediante el ensayo de Permeabilidad de Torrent (TPT), sobre probetas cúbicas de 150 mm (Torrent, 1992; Kucharczykova, 2010).

2.4 Profundidad de Carbonatación.

Para este ensayo, se fabricaron probetas prismáticas de 20x55x280 mm. Las muestras fueron colocadas en el ambiente de la industria antes mencionado y no posee valores uniformes ya que depende de la producción en la planta, datos obtenidos anteriormente se han reportado en un artículo anterior (Durán-Herrera, 2015). El monitoreo se llevó a cabo rociando fenolftaleína como indicador de la profundidad de carbonatación sobre las muestras recién cortadas a diferentes edades.

2.5 Potenciales y Velocidades de Corrosión.

Los potenciales (E_{corr}) y velocidades (i_{corr}) de corrosión se determinaron mediante la prueba de resistencia a la polarización (ASTM G 59) con una velocidad de barrido de 0.06 mV/s y solo en la zona catódica yendo de 0 a -10 mV. Esta metodología es aplicable para el estudio de la protección que ejercen los morteros de reparación sobre el acero de refuerzo.

El acero utilizado se preparó y limpio siguiendo el procedimiento establecido en la norma ASTM G1 (ASTM G 1), el cual consiste en remover completamente los productos de corrosión que pudiera tener antes de comenzar el ensayo. Después de la limpieza del acero, se pesó y se encintó cuidadosamente para delimitar el área a estudiar (50 mm).

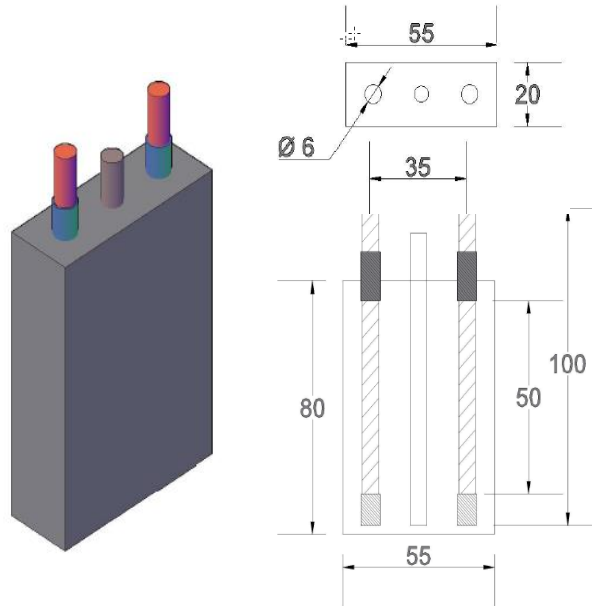


Figura 1. Espécimen para evaluar la durabilidad de los morteros de reparación (unidades en mm)

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 3 muestra el comportamiento mecánico de cada mortero de reparación, se presentan los resultados de los ensayos a 28 días. Se puede observar que el mortero de reparación C1 muestra resistencia a la compresión más alta.

Por su parte, el mortero M1 le sigue en orden de resistencia siendo más alta que el mortero MR y los morteros comerciales C2 y C3. En cuanto a la resistencia a la flexión, el mortero C1 muestra las resistencias más altas, debido a la adición de fibras. El mortero comercial C2 es el más bajo en cuanto a su comportamiento mecánico. De acuerdo a diferentes investigaciones (Bjegovic 1990; Jiang, 2009), la menor resistencia de los morteros C2 y C3 es probablemente el resultado de sus adiciones.

Tabla 3. Comportamiento mecánico de los morteros de recuperación.

Mortero	Resistencia a Compresión 28 días (MPa)	Resistencia a Flexión 28 días (MPa)
MR	57,4	12,7
M1	65,8	11,7
M2	32,6	10,6
C1	75,4	16,4
C2	30,0	7,4
C3	49,2	14,3

La adherencia se evaluó por el tipo de falla que presentan los prismas, en la Tabla 4 se muestra la resistencia a la adherencia de cada mortero a los 28 días y su tipo de falla. Si existe buena adherencia, la muestra falla monolíticamente como una sola pieza, en lugar de fallar a lo largo de la unión.

El otro tipo de falla presentado es en la interface donde la falla por adherencia entre el concreto y el mortero se da antes de que falle alguno de los dos materiales. Los resultados de la resistencia a la adherencia muestran que los morteros con mejor comportamiento son el C1 y C3 debido a que la falla se presenta en conjunto con el concreto (monolítica), aunque la falla monolítica es deseable se puede observar que el mortero M1 presentó falla en la interface, pero la mayor resistencia por adherencia (Cabrera, 1997). El mortero C2 por su parte es el mortero menores propiedades mecánicas, en el ensayo por adherencia, la falla se presentaba inmediatamente al inicio de la prueba no permitiendo registro alguno por parte del equipo.

Tabla 4. Adherencia de los morteros de reparación

Mortero	Resistencia a la Adherencia 28 días (MPa)	Tipo de Falla
MR	22,2	Interface
M1	26,1	Interface
M2	13,4	Interface
C1	19,4	Monolítica
C2	0,0	Interface
C3	22,5	Monolítica

La Figura 2 muestra la relación de la permeabilidad al aire en el tiempo para los diferentes morteros. Se observa como la permeabilidad va en aumento en casi todos los morteros, siendo el mortero C3 el que presenta los menores valores de permeabilidad y sin aumentos en relación con el tiempo. El mortero C2 no se observa por los rangos de la escala, debido a que es demasiado permeable. Mientras que el mortero comercial C1 no pudo ensayarse debido a presentar una superficie rugosa y la presencia de agregados con mayor tamaño con respecto al resto de los morteros, pero como se observa en la carbonatación, no es posible medir su avance debido a que no presenta reacción alguna con la fenolftaleína (Figura 3).

Por lo tanto, se puede decir que el mortero M1 presenta buena resistencia al ingreso de CO₂, debido a que esta prueba ha mostrado tener buena correlación con otras pruebas de durabilidad tan buena como el mortero comercial C3. MR y M1 presentaron valores clasificados como permeabilidad baja (0,01-0.1) mientras que M2 presentó coeficientes de permeabilidad moderada (0,1-1,0), el resto de las clasificaciones se muestra en la tabla 5. Los resultados obtenidos mediante el método de permeabilidad rápida han demostrado buena correlación con pruebas de permeabilidad al agua, cloruros y carbonatación (Ebensperger, 2010).

Tabla 5. Clasificación de permeabilidad en función de kT (Ebensperger, 2010).

Clase	kT (10 ⁻¹⁶ m ²)	Permeabilidad
1	<0,01	Muy baja
2	0,01-0,1	Baja
3	0,1-1,0	Moderada
4	1,0-10	Alta
5	>10	Muy alta

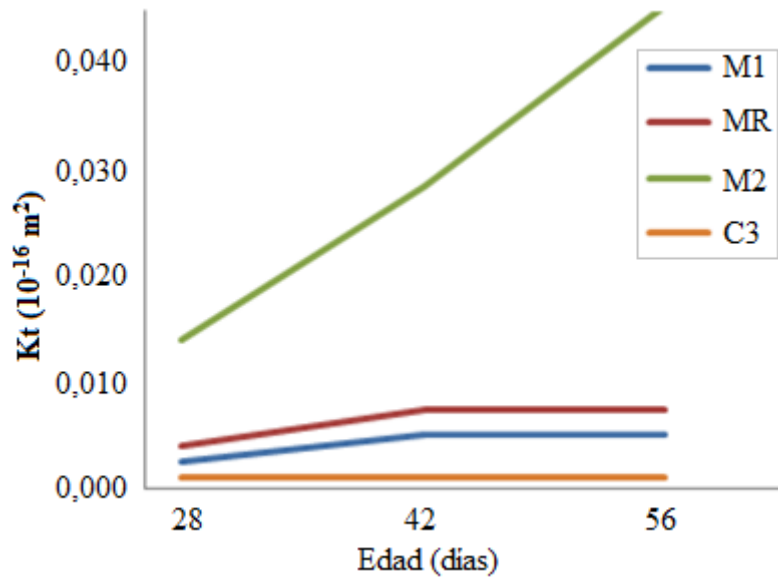


Figura 2. Evolución de la permeabilidad del mortero (Kt) con el transcurso del tiempo.

La profundidad de carbonatación da un indicativo de como el avance del CO₂ llega hasta el acero y logra una disminución importante en el pH del mortero; con el descenso de pH se inicia la despasivación de la capa iniciando la corrosión del acero. El recubrimiento para el acero es de 7 mm, el comportamiento de los morteros de reparación frente al avance de la carbonatación se muestra en la Figura 3, los morteros que presentan mayor avance en la carbonatación son M2 y C2, mientras que los morteros M1, C1 y C3 son los que muestran menor profundidad de carbonatación, estos resultados están relacionados con la permeabilidad de cada mortero, su contenido de CaO y con la presencia de algún polímero cuya práctica es frecuente por parte de los productos comerciales. El contenido de CaO se observa en la tabla 2, dicho contenido es mucho menor para la CV y su contenido en las mezclas en los morteros disminuye con el incremento de la sustitución. Es importante mencionar que para el mortero C1 no fue posible realizar mediciones debido a que no presentaba una reacción con el indicador de fenolftaleína. La carbonatación en M2 fue más alta debido a que el ingreso fue mayor medido con respecto a la cara corta de los especímenes influenciando el promedio final.

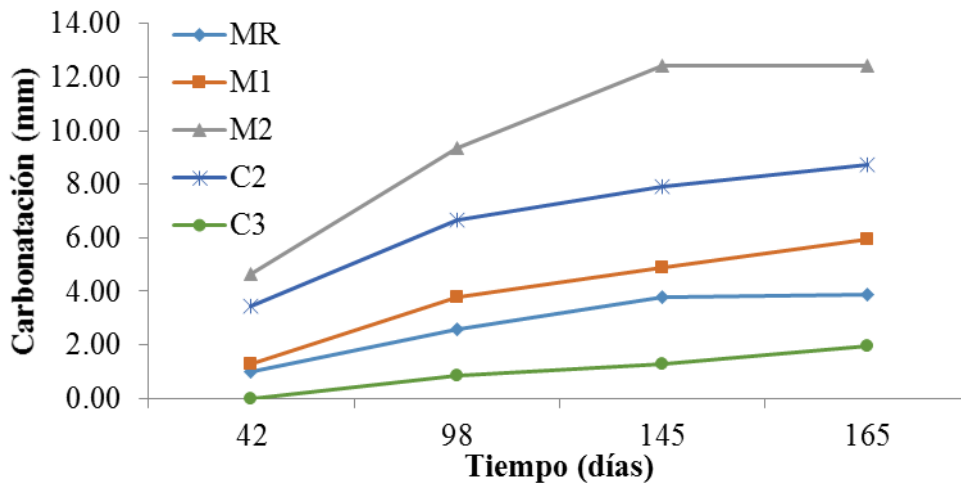


Figura 3. Profundidad de Carbonatación.

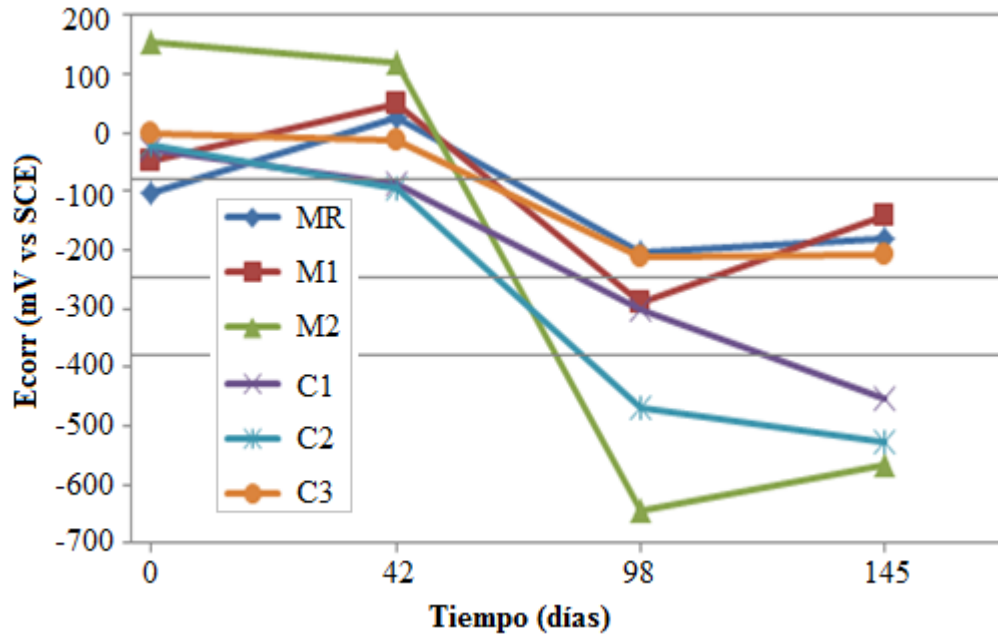


Figura 4. Evolución de Ecorr en el tiempo de exposición.

En la Figura 4 se muestran los potenciales de corrosión (E_{corr}) con referencia al Electrodo de Calomel Saturado (ECS). Los morteros M2, C1 y C2 muestran probabilidad alta de que se presente corrosión en el acero desde los 98 días, según lo especificado por la Tabla 6, de acuerdo con la norma ASTM C 876. Los morteros que presentan menor probabilidad de corrosión son MR, M1 y C3 para los cuales el comportamiento fue muy similar.

Tabla 6. Criterios para evaluar los potenciales de corrosión en el acero (ASTM C 876, 2009)

E_{corr} vs $CuSO_4$ (mV)	E_{corr} vs Calomel (mV)	Probabilidad de corrosión
> - 200	> - 80	10% que se presente
- 200 a - 350	- 80 a - 230	Zona incierta
< - 350	< - 230	90% que se presente
< - 500	< - 380	Corrosión severa

La evolución del i_{corr} durante el proceso de carbonatación se muestra en la Figura 5. De aquí es posible decir que, al inicio, los valores de i_{corr} a la primera edad muestran pasividad en el acero de refuerzo (menores a $0.1 \mu A/cm^2$) en todos los morteros. Sin embargo, como indica el E_{corr} , el acero dentro de los morteros M2, C1 y C2 se despasiva después de los 42 días.

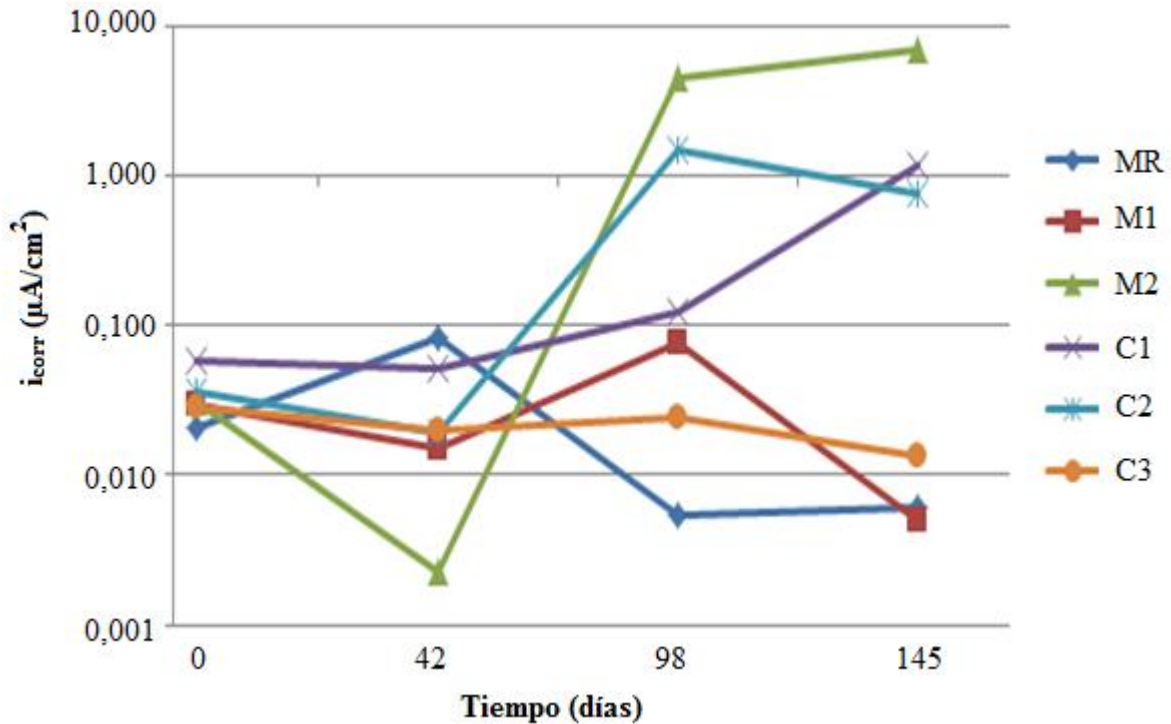


Figura 5. Velocidad de corrosión (i_{corr}) en el acero de refuerzo para cada mortero de reparación.

El comportamiento de los morteros M2 y C2 se comprueba debido a su bajo comportamiento mecánico relacionado con una mayor porosidad y una mayor profundidad de carbonatación. Mientras que el mortero C1 a pesar de tener excelentes propiedades mecánicas por el uso de fibras, resulta ser muy permeable permite el ingreso de CO_2 hasta el acero, lo cual genera valores de corrosión altos.

Como se mencionó anteriormente, el mortero C1 no presentó una reacción con el indicador de fenolftaleína que permitiera obtener una lectura de carbonatación adecuada.

4. CONCLUSIONES

En términos de desempeño y durabilidad los morteros que presentan el mejor comportamiento son M1 y C3. El mortero M1 con sustitución de CV de 20%p/p, mejora el comportamiento de la referencia (MR) frente al ataque de CO_2 , presentando mejor comportamiento incluso los morteros comerciales C1 y C2.

Desde el punto de vista de la corrosión, solo el mortero comercial C3 presenta buenas propiedades de durabilidad. Si se implementa el uso de morteros tradicionales con buenas propiedades de durabilidad, no es necesario el uso de un mortero comercial cuyo costo es alto por las adiciones y modificaciones que para algunas reparaciones se pueden considerar innecesarias.

Las pruebas de durabilidad llevadas a cabo, demuestran con mayor certeza la protección que da una reparación sobre la corrosión del acero de refuerzo. Estas pruebas sumadas a los ensayos de resistencia a compresión, flexión y adherencia nos dan la pauta para pensar que un mortero tradicional (cemento-arena con sustituciones minerales), puede comportarse como una reparación efectiva y duradera.

5. AGRADECIMIENTOS

Se agradece al CONACYT por el apoyo económico a lo largo del proyecto, (Proyecto CONACYT Ciencia Básica No 155363). Al personal que nos dio acceso para la exposición de los especímenes en el ambiente Industrial.

6. REFERENCIAS

- Andrade, C., Feliu, S. (1989). *“Manual de inspección de obras dañadas por corrosión de armaduras”*, Publicado ICCT, Madrid, España.
- ASTM C 109 (1999), *“Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars” (Using 50 mm Cube Specimens)*, ASTM International.
- ASTM C 348 (1997), *“Standard Test Method for Flexural Strength of Hydraulic Cement Mortars”*.
- ASTM C 876 (2009), *“Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete”*.
- ASTM G 1 (2003), *“Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens”*. ASTM International.
- ASTM G 59 (2014), *“Standard Test Method for Conducting Potentiodynamic Polarization Resistance Measurements”*. ASTM International.
- Bjegovic, D., Ukraincik, V., Beus, Z. (1990). *“Evaluation and Repair of Concrete Structure in Urban Environment: Case Study”*, Special Publication 122: pp. 427-450.
- Cabrera, J. G., Al-Hasan, A. S. (1997). *“Performance properties of concrete repair materials”*, Construction and Building Materials 11, 5: pp 283-290.
- Decter, M. H. (1997). *“Durable concrete repair—Importance of compatibility and low shrinkage”*, Construction and building materials 11, 5: pp. 267-273.
- Duran-Herrera, A., Mendoza-Rangel, J. M., De-Los-Santos, E. U., Vázquez, F., Valdez, P., & Bentz, D. P. (2015). *“Accelerated and natural carbonation of concretes with internal curing and shrinkage/viscosity modifiers”*, Materials and Structures 48, 4: pp 1207-1214.
- Ebensperger, L., & Torrent, R. (2010). *“Medición in situ de la permeabilidad al aire del hormigón: status quo”*, Revista ingeniería de construcción 25,3: pp. 371-382.
- Fernández Cánovas M. (1989). *“Hormigón”*, Servicio de publicaciones del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Madrid, 3ª edición.
- Emmons, P. H., Vaysburd, A. M., & McDonald, J. E. (1993). *“A rational approach to durable concrete repairs”*, Concrete international Detroit 15: pp. 40-40.
- Jiang, C., Chen, D., Wu, Y., & Zhang, W. (2009). *“Study on the Mechanisms and Properties of Repair Mortar for Hydraulic Concrete Surface”*, Advances in Water Resources and Hydraulic Engineering: pp. 1619-1624.
- Kay, E. A., & Regan, J. (1987). *“Acceptance and compliance testing of patch repair systems--proceedings of the second international conference on deterioration and repair of reinforced concrete in the arabian gulf”*, Bahrain, Publication of: Bahrain Society of Engineers. 1,2: pp. 11-13.
- Kucharczyková, B., Misák, P., & Vymazal, T. (2010). *“The Air-permeability measurement by torrent permeability tester”*, In Proceedings of the 10th international conference on modern building materials, structures and techniques, Vilnius: pp. 162-166.
- Momayez, A., Ehsani, M. R., Ramezani-pour, A. A., & Rajaie, H. (2005), *“Comparison of methods for evaluating bond strength between concrete substrate and repair materials”*. Cement and Concrete Research 35, 4: pp. 748-757.

- Torrent, R. J. (1992). "*A two-chamber vacuum cell for measuring the coefficient of permeability to air of the concrete cover on site*", *Materials and Structures* 25.6: pp. 358-365.
- Treadaway K. W. J. (1987) "*Testing the properties of materials for concrete repair- A review*". Proceedings of the Second International Conference on Deterioration and Repair of Reinforced Concrete in the Arabian Gulf.