



## Evaluación mecánica de concreto y de corrosión en mortero con partículas de neumático reciclado

C. Flores<sup>1</sup>, S. Rodríguez<sup>2</sup>, A. Cárdenas<sup>3</sup>, O. Guarneros<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigación y Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Av. Manuel Nava 8, Zona Universitaria, 78290, San Luis Potosí, San Luis Potosí, MÉXICO.

<sup>2</sup> Área Mecánica y Eléctrica, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Av. Manuel Nava 8, Zona Universitaria, 78290, San Luis Potosí, San Luis Potosí, MÉXICO.

<sup>3</sup> Área Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Av. Manuel Nava 8, Zona Universitaria, 78290, San Luis Potosí, San Luis Potosí, MÉXICO.

### Información del artículo

#### DOI:

<http://dx.doi.org/10.21041/ra.v3i3.54>

Artículo recibido el 23 de Junio de 2013, revisado bajo las políticas de publicación de la Revista ALCONPAT y aceptado el 08 de Septiembre de 2013. Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores, se publicará en el segundo número del año 2014 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del primer número del año 2014.

© 2013 ALCONPAT Internacional

### Información Legal

Revista ALCONPAT, Año 3, No. 3, Septiembre - Diciembre 2013, es una publicación cuatrimestral de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, Internacional, A.C., Av. Zammá No. 295 entre 61 y 63 Fraccionamiento Yucalpetén, Mérida, Yucatán, México, C.P. 97248, Tel.5219997385893, [alconpat.int@gmail.com](mailto:alconpat.int@gmail.com), Página Web: [www.alconpat.org](http://www.alconpat.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, Av. Zammá No. 295 entre 61 y 63 Fraccionamiento Yucalpetén, Mérida Yucatán, México, C.P. 97248, fecha de publicación: 30 de septiembre de 2013.

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

Se estudió la factibilidad del uso de partículas de neumático reciclado en concreto y morteros. Para evaluar las propiedades mecánicas del concreto endurecido se realizaron pruebas de densidad, resistencia a la compresión y determinación del módulo de elasticidad. Además se determinó la trabajabilidad del concreto en estado fresco mediante la prueba de revenimiento. Las muestras se fabricaron con la sustitución de un 5%, 7.5% y 10 % del volumen de la arena por partículas de neumático reciclado. Se determinó mediante la técnica de potencial de corrosión el estado que guardaba en acero revisando de esta manera la probabilidad de corrosión. Para el estudio de la velocidad de corrosión se utilizó la técnica electroquímica de resistencia a la polarización lineal (RPL) en morteros fabricados bajo las mismas condiciones y proporciones que en los concretos. Los resultados mostraron que una mezcla con 7.5% de partículas de neumático reciclado puede ser utilizada en estructuras de resistencia moderada, ligera y ubicadas en ambientes con cloruros.

**Palabras clave:** concreto; mortero; neumático reciclado; velocidad de corrosión; propiedades mecánicas.

## ABSTRACT

The feasibility of using scrap tire particles in the elaboration of concrete and mortar was investigated. To assess the mechanical properties of hardened concrete, tests evaluating of its density, modulus elasticity and compression strength were undertaken. To determine the workability of freshly made concrete, a slump test was also performed. Tests in which 5, 7.5 and 10% of sand were substituted by recycled tire particles were made. The likelihood of corrosion on the steel is determined, using the technique of corrosion potential. To test the velocity of corrosion was used the linear polarization resistance method (LPR method) was utilized under the same conditions as well as fabrication of concrete. It was observed that using 7.5% of recycled tire particles offers satisfactory results in structures of moderate strength and lighter weight located in environments with chlorides.

**Keywords:** concrete; mortar; recycled tire; corrosion rate; mechanical properties.

Autor de contacto: Claudia Flores ([claudia\\_floresv@yahoo.com.mx](mailto:claudia_floresv@yahoo.com.mx))

## 1. INTRODUCCIÓN

La corrosión de los refuerzos de acero es una de las principales causas del deterioro prematuro de las estructuras de concreto armado; así mismo los daños que ocasiona esta degradación contribuyen a un incremento en los costos en el sector de la construcción. El origen de la corrosión en los refuerzos de acero puede ser principalmente a causa de la carbonatación del concreto, o bien por la presencia de cloruros ( $\text{Cl}^-$ ) procedentes de las sales utilizadas para el deshielo en zonas con bajas temperaturas o del rocío marino, así como por el uso de aditivos que contienen cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ) (Song et al., 2004; Lu et al., 2011). Es importante señalar, que para que inicie el proceso de corrosión por cloruros, es necesario que este ion sobrepase una concentración crítica en la periferia del refuerzo de acero (Angst et al., 2009).

Se han propuesto diversos materiales que pueden mejorar las propiedades del concreto enfocándose principalmente en: evitar el deterioro prematuro de las estructuras, en incrementar su resistencia mecánica, y en reducir sus costos. Uno de los materiales que se han propuesto, es el concreto con partículas de neumático reciclado, con el propósito de reutilizar los neumáticos de desecho que representan un gran problema de contaminación, debido a los grandes volúmenes que llegan a los vertederos y a la composición química de este material no biodegradable. Entre los años 2000 y 2002, Taiwán trabajó con un programa de reciclaje de neumáticos para la fabricación de concreto asfáltico local. Los resultados obtenidos mostraron un desempeño satisfactorio al mejorar con las técnicas de pavimentación y cumplir con la mayoría de las especificaciones de la ASTM (Li-Cheng, 2007). Debido a los resultados favorables, obtenidos con el neumático usado en el concreto asfáltico, se ha despertado el interés por estudiar la factibilidad de utilizar partículas de neumático reciclado en concreto y mortero, evaluando sus propiedades y así dar solución a dos problemas al mismo tiempo, modificar las propiedades del concreto convencional para el uso de nuevas aplicaciones y reducir la contaminación de los desechos neumáticos.

Pelisser et al. realizaron un estudio referente al concreto con neumático reciclado, en donde la variable principal, fue la sustitución de arena por porcentaje volumétrico de neumático triturado en la mezcla. En este estudio se le agregó al concreto un 10 % de partículas recicladas de neumático y humo de sílice. Se observó que su resistencia a la compresión se redujo sólo un 14% (con 28 días de curado) y fue más ligero en comparación con el concreto convencional. Por lo cual, este material compuesto apoya a la sostenibilidad de la construcción minimizando el uso de recursos naturales (Pelisser et al., 2011). Recientemente se ha publicado una investigación para evaluar el rendimiento del concreto con neumático reciclado, en términos de durabilidad. Dentro de este trabajo se realizaron pruebas de resistencia a la compresión, absorción de agua por inmersión, capilaridad, carbonatación y a resistencia a la penetración de cloruros. Las mezclas de concreto se fabricaron con la sustitución de un 5%, 10% y 15% de arena por caucho reciclado derivado de la trituración de neumático de desecho. Se encontró que el coeficiente de difusión del cloruro es más lento para las muestras que contenían un 5% de partículas de neumático reciclado, en comparación con las muestras testigo (Bravo and Brito 2012). En otro trabajo científico se comprobó la resistencia a la penetración de cloruros que otorga el concreto con neumático reciclado en comparación al concreto convencional, ya que los valores de carga para la muestra testigo fue de 6103 coulombs y tan solo de 3915 coulombs para muestras con 15 % de partículas de neumático (Oikonomou et. al. 2009). Con el objetivo de determinar si es factible, utilizar neumático de desecho en la fabricación de mezclas de concreto y de mortero, en la presente investigación se analizó el comportamiento de partículas de neumático reciclado como sustituto

parcial de la arena; monitoreando la velocidad de corrosión del refuerzo de acero en morteros y midiendo propiedades físicas y mecánicas del concreto.

## 2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Para la elaboración de las muestras de concreto se utilizó cemento Portland compuesto 40 R (CPC40R), arena triturada con una densidad de  $2.48\text{g/cm}^3$  (calculada bajo la norma NMX-C165-ONNCCE-2004), grava de tamaño máximo de 19 mm, agua destilada, partículas de neumático reciclado con una densidad de  $1.05\text{ g/cm}^3$  y como aditivo sulfonato de lignina en solución acuosa. Las partículas de neumático fueron obtenidas de neumáticos de desecho triturados mecánicamente y lavadas con hidróxido de sodio (NaOH, 1M), con el objetivo de modificar a un pH alcalino las superficies de las partículas (Pelisser et al., 2011).

En la figura 1 a) se presenta la distribución de las partículas de neumático reciclado y de arena. Se puede observar que ambos materiales no cumplen con la norma NMX-C-111-ONNCCE 2004. En la figura 1 b) se muestra la distribución de partículas tanto de arena como de neumático ajustadas a la norma. Puede observarse claramente que ambos materiales cumplen con la distribución de partículas que se requieren para un agregado fino.

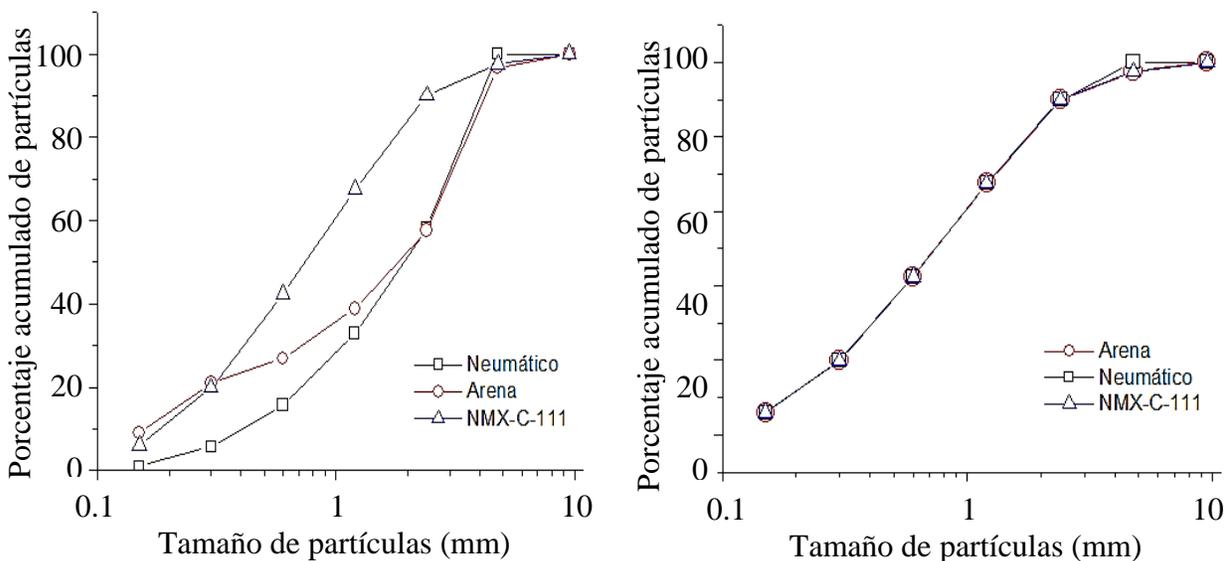


Figura 1. Distribución de partículas de neumático y arena, antes a) y b) después de ser ajustadas a la norma NMX-C-111-ONNCCE2004

Las mezclas de concreto fueron diseñadas para un intervalo de revenimiento (2.5 a 7.5 cm), que se utiliza en aplicaciones de: vigas, muros reforzados, columnas y losas (IMCYC, 1993). Se fabricaron mezclas sustituyendo un 5%, 7.5% y 10 % del volumen de arena por partículas de neumático reciclado, así como muestras de concreto convencional de referencia. En la tabla 1 se presentan las composiciones de las mezclas. La dosificación del aditivo fue de 5 ml por cada kilogramo de cemento y fue previamente mezclado con el agua, para garantizar la homogeneidad del aditivo.

Tabla 1. Composiciones de las mezclas de concreto en kg/m<sup>3</sup>.

<b>Materiales</b>	<b>CR</b>	<b>CN5</b>	<b>CN7.5</b>	<b>CN10</b>
Agua	215	215	215	°
Cemento	500	500	500	500
Grava	1024	1024	1024	1024
Arena	616	585.2	569.8	554.4
Neumático	0	13.04	19.6	26.1

Concreto de referencia (CR), concreto con 5% de neumático (CN5), concreto con 7.5% de neumático (CN7.5), concreto con 10% de neumático (CN10).

Para lograr una mezcla uniforme se utilizó una Batidora portátil de 50 kg (Husky, Modelo GHM105890), durante 6 minutos, a una velocidad de 26 rpm. Posteriormente se efectuó la prueba de revenimiento para evaluar la consistencia de la mezcla conforme a la norma NMX-C-156-1997, después se procedió al llenado de los recipientes previamente preparados para su desmolde de 10 cm de diámetro por 20 cm de altura de acuerdo a la norma NMX-C-159-ONN-2004. El desmolde se realizó 24 horas después de su fabricación y se llevó a un curado de 14 días en inmersión. Se realizaron pruebas en compresión y se calculó el módulo de elasticidad, partiendo del diagrama de esfuerzo deformación conforme a la norma ASTM C1231/C1231M – 10A. La pruebas de resistencia en compresión se realizaron en una máquina Universal SHIMADZU UH-600 kNI. Para determinar la densidad de las muestras de concreto se utilizó la técnica de inmersión en agua descrita en la norma ASTM C 642-97.

Para el estudio de la velocidad de corrosión se fabricaron morteros de 12 x 8 cm de base y 2 cm de espesor. Inmersos en el mortero se colocaron tres refuerzos de acero corrugado grado 42 bajo la clasificación de la Norma Mexicana NMX-C-407, teniendo un diámetro medio de 0.95 cm y con una longitud total de 12 cm (10 cm inmersos y 2 cm fuera del mortero). En la tabla 2 se presentan las composiciones de las mezclas de morteros. El aditivo se añadió en las mismas proporciones y bajo las mismas condiciones, tal y como fueron preparadas las mezclas de concreto. En la figura 2 se muestra un esquema de la celda propuesta para el desarrollo experimental. El desmolde se realizó 24 horas después de su elaboración y se llevó a un curado de 14 días en inmersión. En la superficie de transición de la varilla se colocó cinta adhesiva, con el objetivo de prevenir un ataque localizado por el fenómeno de aireación diferencial. Para acelerar el proceso corrosivo de los refuerzos de acero, los morteros se sometieron a ciclos de humedad y secado (4 días inmerso en solución de NaCl 1 M y 3 días de secado en horno a una temperatura de 315 K).

Tabla 2. Composiciones de las mezclas de mortero en kg/m<sup>3</sup>.

	<b>MR</b>	<b>MN5</b>	<b>MN7.5</b>	<b>MN10</b>
<b>Agua</b>	215	215	215	215
<b>Cemento</b>	500	500	500	500
<b>Arena</b>	1640	1558	1517	1476
<b>Neumático</b>	0	34.72	52.08	69.44

Mortero de referencia (MR), mortero con 5% de neumático (MN5) mortero con 7.5% de neumático (MN7.5), mortero con 10% de neumático (MN10).

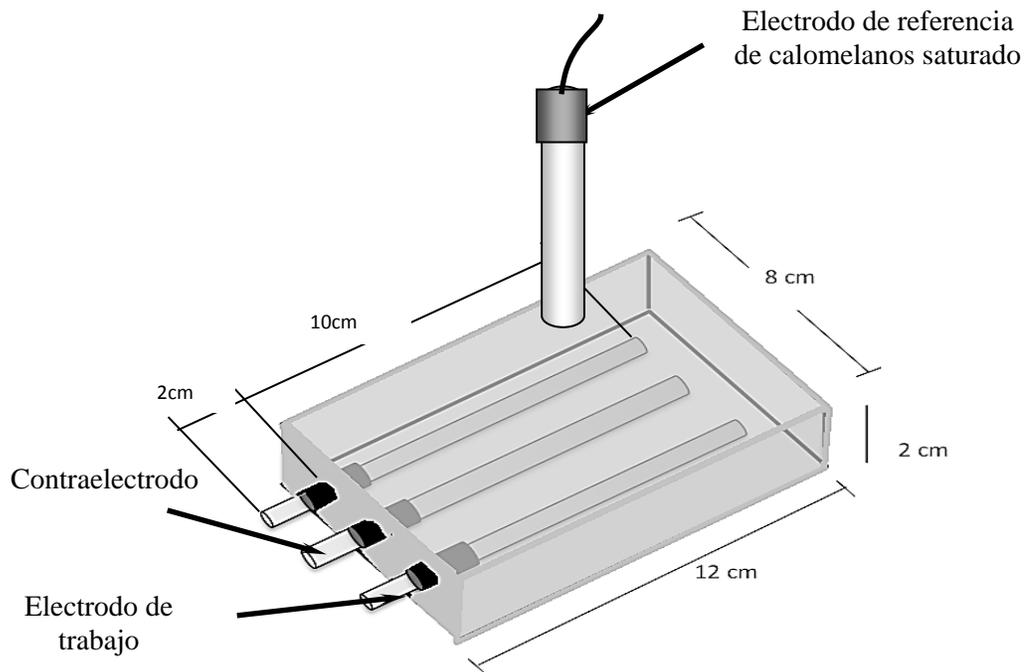


Figura 2. Esquema para representar la celda de corrosión y sus conexiones

Para determinar el grado de corrosión en las varillas de acero, se utilizaron técnicas electroquímicas empleando un potenciostato-galvanostato (GAMRY 600) y como electrodo de referencia, un electrodo saturado de calomelanos (ESC). Se realizó un seguimiento del potencial electroquímico de corrosión para obtener los mapas de potenciales de corrosión ( $E_{corr}$ ) y de la resistencia a la polarización lineal (RPL), que consiste en desplazar el sistema de su potencial en circuito abierto a otro valor de potencial, registrando valores de  $\Delta E$  y de  $\Delta I$ . El procedimiento consiste en aplicar a las varillas de acero un pulso de  $\pm 10\text{mV}$  con respecto a su potencial de corrosión, y se mide la corriente. La relación entre  $E$  e  $I$  en la región lineal representa una resistencia de acuerdo con la ley de Ohm, y es inversamente proporcional a la velocidad de corrosión ( $i_{corr}$ ), relacionada con una intensidad de disolución metálica a través de la constante  $B$  de la ecuación (1) de Stern y Geary (Stern et al., 1957):

$$i_{corr} = \frac{b_a \cdot b_c}{2.3 \cdot (b_a + b_c)} \cdot \frac{\Delta I}{\Delta E} = \frac{B}{R_p} \quad (1)$$

Para observar la microestructura se utilizó un microscopio electrónico de barrido (MEB) Phillips XL-30, utilizando el detector de electrones retrodispersados. Las muestras de concreto fueron recubiertas con polvo de oro, ya que deben ser conductoras para observarlas en el MEB.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Trabajabilidad

En la tabla 3 se presentan los resultados de las pruebas de revenimiento realizadas a las mezclas de concreto. Se observa que los valores se situaron dentro del parámetro esperado (2.5 a 7 cm). Comparando los resultados del revenimiento de las mezclas CN5 y CN10 con la mezcla CR, se puede señalarse que las partículas de neumático reciclado no afectan significativamente la trabajabilidad, a pesar de que en la investigación realizada por Pelisser et al. no obtuvieron resultados favorables en las pruebas de revenimiento, ya que sus resultados indican que la trabajabilidad disminuyó al utilizar un 10% de neumático (Pelisser et al., 2011).

Tabla 3. Revenimiento de las mezclas de concreto.

	CR	CN5	CN7.5	CN10
Revenimiento (mm)	5.5	6	2.5	5

Como se puede observar en los resultados no existe una relación directa entre el porcentaje de neumático y el revenimiento. Un comportamiento similar a este fue encontrado por Bravo y Brito, en muestras con un 5% y 15 % de partículas de neumático en sustitución del agregado fino obtuvieron un valor de revenimiento de 6.5 cm para estos porcentajes y de 7.5 cm para la muestra sin neumático, no obstante la muestra que contenía un 10 % de neumático mostró mayor revenimiento (9.3 cm) (Bravo et al., 2012).

#### 3.2. Densidad.

La densidad de los concretos se presenta en la tabla 4. Se observa que la densidad del concreto disminuye al aumentar el porcentaje de partículas de neumático. Un punto importante a señalar, es la diferencia de la disminución de peso entre la muestra testigo con la muestra de mayor porcentaje de neumático (CN10), este valor alcanzó una reducción de un 5 por ciento de su densidad.

Tabla 4. Densidad del concreto.

	CR	CN5	CN7.5	CN10
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	2.35	2.30	2.26	2.24

Esta disminución es debido a que las partículas de neumático tienen una densidad (1.05 g/cm<sup>3</sup>) aproximadamente 60% menor que la arena utilizada (2.48 g/cm<sup>3</sup>). Otro factor que puede contribuir en la disminución de la densidad, es lo reportado por Pelisser et al., que aborda el estudio del concreto con partículas de neumático, encontrando una mala adherencia en la interfase neumático/pasta, que conlleva a un incremento en volumen y por lo tanto una menor densidad (Pelisser et al. 2011).

#### 3.3. Resistencia a compresión y módulo de elasticidad.

En la figura 3 se presentan los resultados de la resistencia a compresión para las muestras testigo, así como las muestras de concreto neumático después de 14 días de curado. La resistencia que alcanzó el concreto de referencia fue de 38 MPa. En esta misma gráfica, se observa una reducción en la resistencia a compresión para las muestras de concreto con neumático reciclado, como lo reportado en (Toutanji, 1996; Li et al., 2004; Yung et al., 2013).

Al comparar las muestras CR y CN5 se observa un mínimo porcentaje de reducción, de solo un 4%. En relación a porcentajes de neumático superiores a un 5% esta diferencia es más significativa, ya que el porcentaje de reducción en la resistencia a compresión es de un 40% y 41.5% para las muestras CN7.5 y CN10, respectivamente.

Con respecto a los valores del módulo de elasticidad, este comportamiento es similar al descrito en la resistencia a compresión. Obteniendo para la muestra de referencia un valor de 27 GPa y para las muestras CN5, CN7.5 y CN10 resultados de 26.5 GPa, 21 GPa y 20.7 GPa, respectivamente.

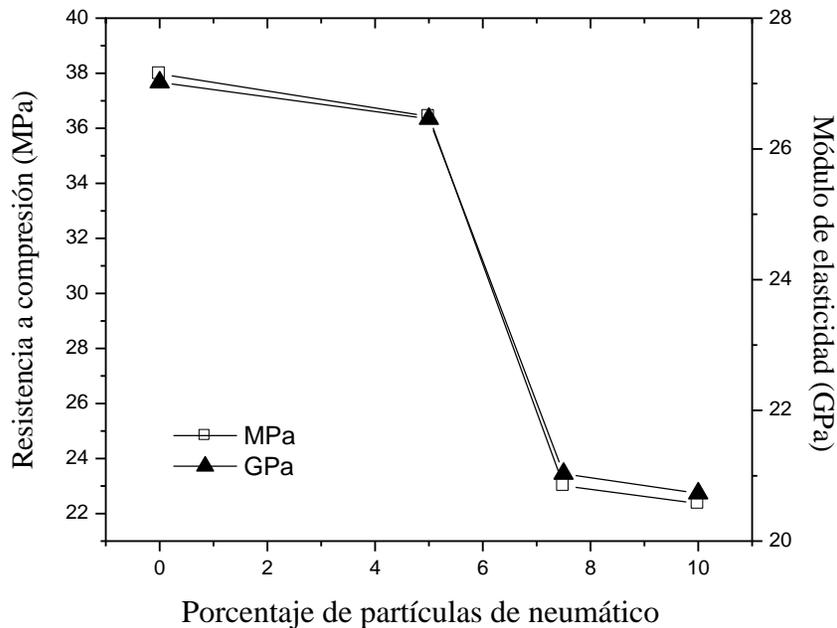


Figura 3. Resistencia en la compresión y Módulo de elasticidad para los cilindros de concreto con neumático reciclado y testigo después de 14 días de curado.

La disminución en la resistencia a compresión puede ser atribuida a la presencia de microgrietas que se han encontrado al agregar partículas de neumático en la fabricación de concreto, tal y como lo reportado por Lin (Ling 2012). Sang et al. obtuvieron en columnas de concreto reforzado fabricadas con partículas de neumático, que el uso de neumático incrementa la ductilidad del concreto y ofrece una buena disipación de energía en comparación con el concreto convencional, a pesar de la disminución de la resistencia a compresión (Sang et al.,2011).

### 3.4. Potencial de corrosión ( $E_{corr}$ ).

En la figura 4 se muestran los valores del potencial de corrosión de los refuerzos de acero, después de 14 días de curado. Considerando el criterio de la ASTM-C-876-91; al inicio del primer ciclo de humedad y secado (HS) los valores de potenciales de corrosión de las muestras CR, MN5 y MN10, se encuentran en una zona de probabilidad de corrosión incierta (entre -200 a -300mV), mientras que la muestra MN7.5 se ubica en una zona de corrosión activa (menor a -300 mV). Posteriormente en el transcurso de los ciclos, los potenciales se situaron en torno a los -500 a -600 mV (zona de corrosión activa). Cabe mencionar que los valores de  $E_{corr}$  para las muestras con partículas de neumático reciclado presentaron casi el mismo comportamiento durante todo el proceso en comparación con la muestra de referencia.

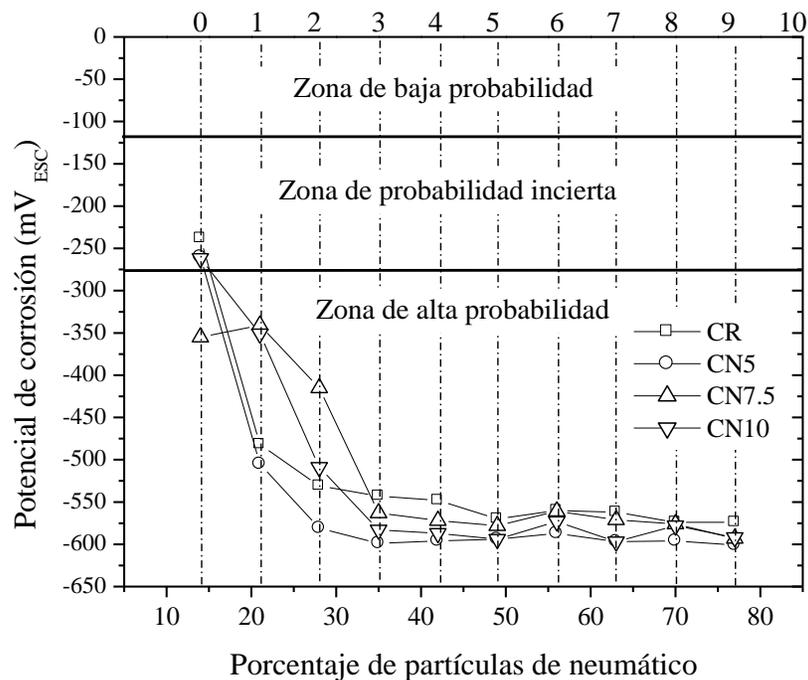


Figura 4. Potencial de corrosión Vs. Tiempo, para los refuerzos de acero.

### 3.5. Velocidad de corrosión $i_{corr}$ .

Los resultados de la velocidad de corrosión ( $i_{corr}$ ) vs tiempo de los refuerzos de acero se presentan en la figura 5. Al inicio de los ciclos, todos los refuerzos de acero se encontraban en valores aproximados a  $0.1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ , situando a las armaduras en una zona de velocidad de corrosión insignificante. Posteriormente, los refuerzos de la muestra MR5 son los primeros que alcanzan una velocidad de corrosión elevada (superior a  $1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ ). Esta misma muestra presentó una velocidad de corrosión mayor que la muestra de referencia desde el inicio de los ciclos de saturación y secado. Durante todo el proceso de HS los refuerzos de las muestras MN7.5 mostrando valores inferiores a la muestra de referencia. Con respecto a la muestra MN10 en los primeros seis ciclos de HS presentó una velocidad de corrosión mayor a la de referencia, sin embargo, en los últimos tres ciclos monstro valores similares a los que obtuvo la muestra de referencia.

Durante el desarrollo experimental, se encontró que el uso de un 7.5 % de neumático disminuye la corrosión de la armadura embebida y que no existe una relación directa entre el porcentaje de neumático y la velocidad de corrosión de las armaduras. Oikonomou et al., encontraron que al incrementar la cantidad de neumático en morteros, se contribuye a la disminución de velocidad de penetración del ion cloruro (Oikonomou et al., 2009). En esta investigación se puede observar que el espécimen MN7.5 tiene una mejor respuesta frente a la corrosión ocasionada por cloruros, que el espécimen MN10; lo cuál comprueba que el comportamiento no es lineal. Por lo tanto, puede observarse que es altamente posible que exista un porcentaje de sustitución de neumático ideal, para disminuir la velocidad de penetración del ion cloruro.

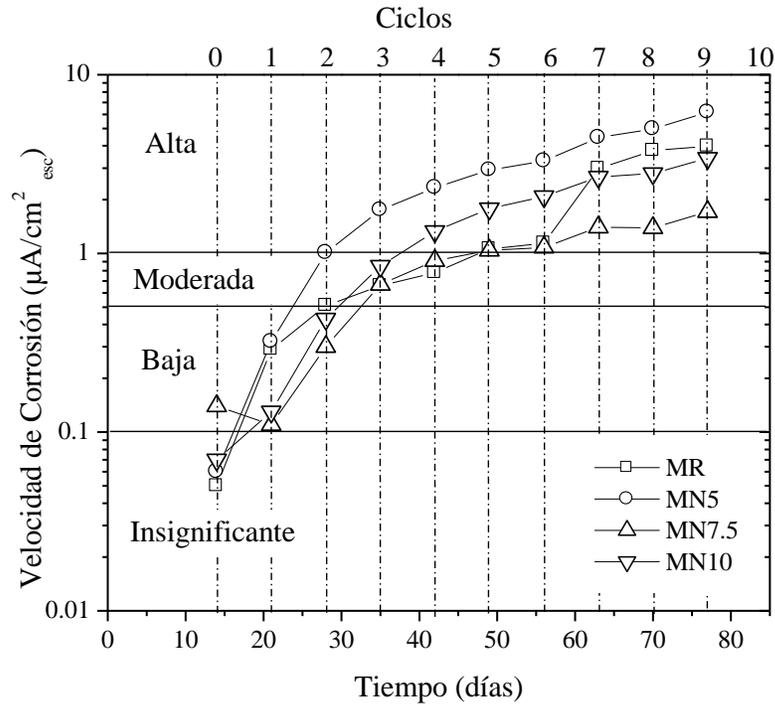


Figura 5. Velocidad de corrosión Vs. tiempo de los refuerzos de acero embebidos en mortero con neumático reciclado y convencional.

Un comportamiento similar a esta investigación fue encontrado por otro investigador, en su trabajo encontró que el coeficiente de difusión de ion cloruro, en especímenes de concreto neumático eran mucho menor que el espécimen de referencia. Sin embargo al contener un 15% de neumático, el coeficiente de difusión se ve incrementado en comparación con el espécimen de 10% (Bravo et al., 2012).

### 3.6. Microestructura.

En la figura 6a se observa una partícula de neumático inmersa en una matriz de concreto, en esta partícula se realizó análisis químico (EDX), para verificar la existencia de este compuesto. Puede notarse la adherencia que tenía la partícula con la matriz de concreto. Así mismo, en la misma imagen se ubican microporos, característicos del concreto. En la figura 6b se observa la morfología de los productos de corrosión en el refuerzo de acero, en forma de tipo de hojuela. Cabe mencionar, que este tipo de morfología se atribuye a una corrosión por cloruros (Rodríguez, 2005). En la figura 7 se presenta el análisis químico (EDX) en la interfase concreto/neumático. Los resultados de los elementos encontrados en este análisis refuerzan la adherencia entre la partícula de neumático y la matriz de concreto, ya que se observa la presencia de carbono y oxígeno (elementos principales del neumático) con los elementos básicos del concreto (sílice, aluminio y calcio).

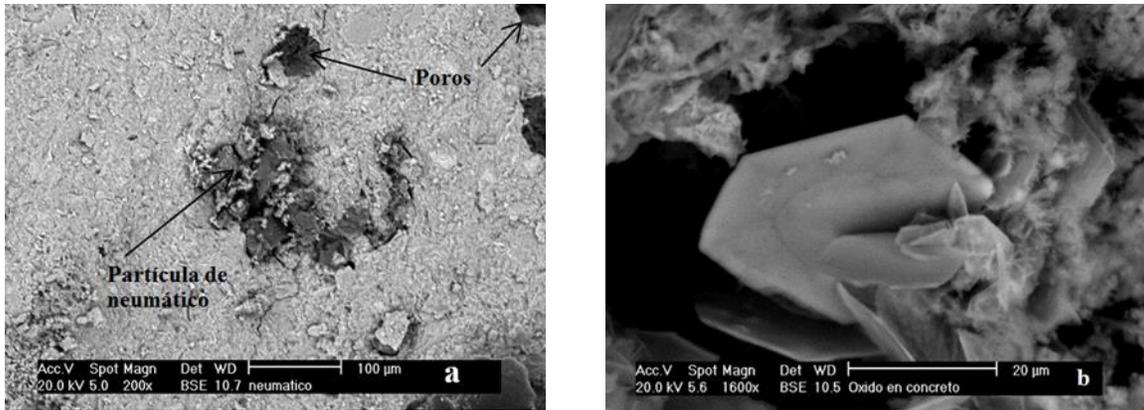


Figura 6. a) Partícula de neumático en una matriz de concreto. b) Productos de corrosión de refuerzo de acero embebido en mortero.

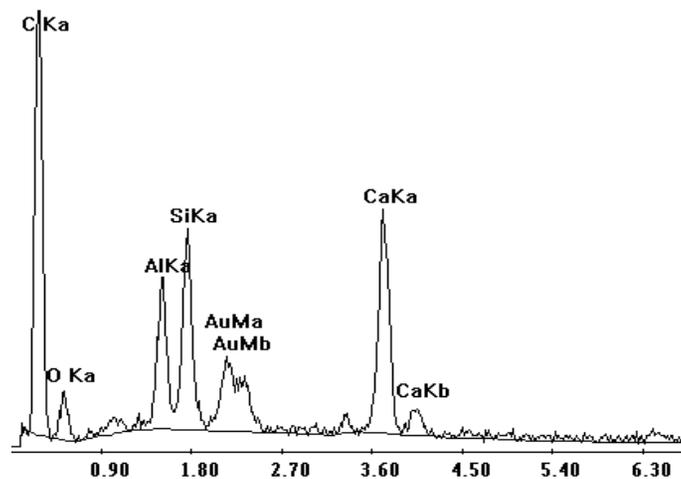


Figura 7. Análisis químico (EDX) en la interfase concreto/neumático.

#### 4. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos, se presentan las siguientes conclusiones:

##### *Propiedades Físicas y Mecánicas.*

En relación al revenimiento que evalúa la trabajabilidad de la mezcla, se observó que las partículas de neumático, no modifican significativamente esta propiedad.

Se comprobó que la densidad del concreto disminuye al aumentar la cantidad de partículas de neumático. En las pruebas de resistencia a la compresión, se encontró que al incrementar el contenido de neumático la resistencia se disminuyó, situando los porcentajes de reducción en un 10%, 40% y 44% respectivamente para muestras CN5, CN7.5 y CN10 en comparación con la muestra de referencia. Cabe mencionar, que la resistencia a la compresión más baja se obtuvo en la muestra CN10, que cumple con la resistencia requerida para la construcción de viviendas tipo habitación.

En la observación vía microscopia óptica se visualizó la presencia de microgrietas generadas a partir de las partículas de neumático propagándose hacia la matriz de concreto.

### ***Técnicas Electroquímicas.***

Mediante las técnicas electroquímicas, se encontró que un 7.5 % partículas de neumático, disminuyen la velocidad de corrosión de los refuerzos de acero embebidos en mortero. Por lo tanto, al no presentarse una correlación lineal entre el porcentaje de neumático y la velocidad de corrosión, se puede suponer que existe un porcentaje ideal para disminuir la velocidad de corrosión por ataque de cloruros.

## **5. AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen a la Facultad de Ingeniería y al Instituto de Metalurgia de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí por las facilidades otorgadas para el desarrollo de este proyecto.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Angst U., Elsener B., Larsen C., and Vennesland O. (2009), “*Critical Chloride Content in Reinforced Concrete — A Review*”, *Cement and Concrete Research* 39 (12) (December): 1122–1138.
- Bravo M., and Brito J. (2012), “*Concrete Made with Used Tyre Aggregate : Durability-related Performance*”, *Journal of Cleaner Production* 25: 42–50.
- IMCYC. 1993. *Proporcionamiento De Mezclas*. México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.
- Li-Cheng L., Chui-Te C. (2007), “*A Laboratory Study on Stone Matrix Asphalt Using Ground Tire Rubber*”, *Construction and Building Materials* 21 (5) (May): 1027–1033.
- Li G., Stubblefield M., Garrick G., Eggers J., Abadie C., and Huang B. (2004), “*Development of Waste Tire Modified Concrete.*” *Cement and Concrete Research* 34 (12) (December): 2283–2289.
- Ling T. (2012), “*Effects of Compaction Method and Rubber Content on the Properties of Concrete Paving Blocks*”, *Construction and Building Materials* 28 (1): 164–175.
- Lu C., Jin W., and Liu R. (2011), “*Reinforcement Corrosion-induced Cover Cracking and Its Time Prediction for Reinforced Concrete Structures.*” *Corrosion Science* 53 (4) (April): 1337–1347.
- Sten M. and Gary A. (1957), “*Electrochemical Polarization No. 1 Theoretical Analysis of the Shape of Polarization Curves*”, *Journal of the Electrochemical Society*: 56-63.
- Oikonomou N. and Mavridou S. (2009), “*Cement & Concrete Composites Improvement of Chloride Ion Penetration Resistance in Cement Mortars Modified with Rubber from Worn Automobile Tires*”, *Cement and Concrete Composites* 31 (6): 403–407.
- Pelisser F., Zavarise N., Arent T., and Michael A. (2011), “*Concrete Made with Recycled Tire Rubber : Effect of Alkaline Activation and Silica Fume Addition*”, *Journal of Cleaner Production* 19 (6-7): 757–763.
- Rodríguez S. (2005), “*Efectos De Una Estracción Electroquímica De Cloruros Sobre El Concreto Armado.*” Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Sang K, Hajirasouliha I., and Pilakoutas K. (2011), “*Strength and Deformability of Waste Tyre Rubber-filled Reinforced Concrete Columns*”, *Construction and Building Materials* 25 (1): 218–226.

Song Y., Song L., and Zhao G. (2004), "*Factors Affecting Corrosion and Approaches for Improving Durability of Ocean Reinforced Concrete Structures*", *Ocean Engineering* 31 (5-6) (April): 779–789.

Toutanji H A. (1996), "*The Use of Rubber Tire Particles in Concrete to Replace Mineral Aggregates*", *Cement & Concrete Composites* 18 (95): 135–139.

Yung W., Yung L. C., and Hua L. (2013), "*A Study of the Durability Properties of Waste Tire Rubber Applied to Self-compacting Concrete*", *Construction and Building Materials* 41 (April): 665–672.