EFFECTO DE LA PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE DE CONTACTO EN REPARACIONES LOCALIZADAS CON MORTEROS CONVENCIONALES

R. VISAIRO-MÉNDEZ¹, V. E. VÁZQUEZ-GALVÁN²,
A. A. TORRES-ACOSTA³, R. ALVARADO-CÁRDENAS⁴

¹ Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro. Cerro de las Campanas, S/N, Centro Universitario, C.P.: 76010 Santiago de Querétaro, Querétaro, México.

² Sika Mexicana S.A. de C.V. Carretera Libre a Celaya Km. 8.5, Balvanera, C.P.: 76920 Corregidora, Querétaro, México.

³ Profesor Docente Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería y Ciencias Campus Querétaro, Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, México.

⁴ Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro. Cerro de las Campanas, S/N, Centro Universitario, C.P.: 76010 Santiago de Querétaro, Querétaro, México.

RESUMEN

Típicamente las estructuras de Concreto Reforzado (CR) son reparadas con morteros base cemento. En esta investigación se evalúan diferentes sistemas de reparación del concreto para estudiar la interacción de concreto base – puente de adherencia – mortero/concreto de reparación. Se consideraron diferentes niveles de rugosidad de la superficie de contacto entre concreto base y la reparación, diferentes puentes de adherencia y dos morteros de reparación convencionales. Estos sistemas de reparación se ensayaron a edades de 30 y 120 días. Los morteros de reparación N1 y N2 se elaboraron considerando la relación agua cemento (a/c) de 0.55 y 0.80, respectivamente. Se observó que los puentes de adherencia evaluados no alcanzaron las resistencias mínimas al corte. Se concluye que el diseño de mortero de reparación influye en el comportamiento y la resistencia alcanzada de cada sistema de reparación.

Palabras clave: Mortero, reparación, puente de adherencia, rugosidad

1. INTRODUCCIÓN

En la industria de la construcción, el concreto es un material muy utilizado a nivel mundial; cuando se encuentra con acero embebido se le llama concreto reforzado (CR). Los elementos estructurales de CR tienen ciertas características derivadas de los procedimientos constructivos usados en su fabricación que los distinguen de otros elementos contruidos con diferentes materiales. Estos elementos estructurales son durables pero también se encuentran expuestos a la agresividad del medio ambiente ocasionando que, a través de los poros del concreto, penetren hasta el acero de refuerzo ocasionando reacciones químicas y la corrosión del acero de refuerzo. (Cabrera et al., 2014).

Se han estudiado y desarrollado diversos métodos minimizando daños y costos generados por la corrosión. Estos métodos se han implementado tanto en el concreto como en el acero de refuerzo embebido. (López et al., 2006; Presuel et al., 2008; Torres et al., 2010; Yan et al., 2015).

Sin embargo, en estructuras donde no se toma en cuenta el diseño por durabilidad, la vida útil de la misma puede comprometerse; es decir, si no se considera el deterioro debido al medio ambiente de exposición de la estructura, la vida útil de la misma puede disminuir. Una vez afectada la estructura es necesario intervenir con diferentes procedimientos de reparación, rehabilitación o incluso restitución de elementos estructurales (acero o concreto) utilizando metodologías y tecnologías diversas para rehabilitar estos elementos estructurales dañados. (Ray et al., 2011; Xie et al., 2012).

En el caso de estructuras en las cuales la corrosión no ha afectado la sección del acero de refuerzo, se puede llevar a cabo la reparación conocida como “parcheo”. Aunque pareciera un método común, son pocos los especialistas que se dedican a la rehabilitación en estructuras de concreto realizándolo de la manera adecuada y, de esta manera, evitar que en un par de años se presenten nuevamente daños por corrosión en donde ya se haya realizado dicha reparación. (REHABILITAR, 2003; Ghazanfari et al., 2016).

La técnica de reparación por parcheo consiste en los siguientes pasos (REHABILITAR, 2003):

1. Delimitación de la superficie a reparar.
2. Demolición del concreto dañado descubriendo el acero de refuerzo por completo.
3. Limpieza de la superficie.
4. Colocación de un puente de adherencia para adherir el mortero/concreto de reparación al concreto base.
5. Colocación adecuada del material de reparación.
6. Cuidados posteriores a la aplicación del material de reparación (curado, descimbrado, limpieza).

Actualmente existen diversos productos para reparación, rehabilitación o reforzamiento de elementos estructurales (incluidos aquellos usados para reparar por el efecto de la corrosión del acero de refuerzo). Para la comercialización de dichos productos se realizan diferentes tipos de pruebas con base en el presupuesto con el que se cuenta ya que es importante verificar que cuenten con procedimientos avalados y normalizados para poder aceptar su producto. (Mejía et al., 2018).

De la técnica para reparación por parcheo, los pasos 4 y 5 son los relacionados con el puente de adherencia y mortero de reparación. Estos aspectos son determinantes para garantizar el buen funcionamiento y recuperación de la capacidad de carga del elemento reparado. Es por esto que surge el interés de definir las propiedades físicas y mecánicas del mortero de reparación al igual que métodos de prueba considerando diferentes factores de variación que se encuentran al momento de la reparación de elementos estructurales.

2. PROCEDIMIENTO

PARÁMETROS DE ESTUDIO

Para determinar las características físicas y mecánicas de los morteros de reparación, se elaboraron

9 cilindros de 10 x 20 cm (diámetro x altura), 4 cilindros de 5 x 10 cm (diámetro x altura) y 15 cubos de 5 x 5 x 5 cm (ancho x altura x longitud) para cada uno.

Por otro lado, se consideró elaborar cilindros de concreto de 10 x 20 cm (diámetro x altura) y cortarlos en un ángulo de 30° de acuerdo a la norma ASTM C 882.

Se determinaron como variables la rugosidad y el tipo de puente de adherencia. Los niveles de rugosidad se determinaron con base en el manual ICRI por sus siglas en inglés (International Concrete Repair Institute) (ICRI, 2013). Dichos niveles se definieron en 4, 7 y 9 los cuales se prepararon sobre la superficie de corte en diagonal (ángulo de 30° de la horizontal) que recibiría el puente de adherencia, mediante el uso de herramienta de desbaste y corte (taladro, rotomartillo, copa de alambre, piedras de desbaste y brocas para concreto).

Los puentes de adherencia evaluados fueron agua, lechada de cemento (mezcla de agua y cemento) y cuatro productos comerciales, con la finalidad de estudiar la resistencia por cortante de éstos y compararlos entre sí. Después de aplicar los diferentes puentes de adherencia al concreto base, se colocaron los morteros de reparación para cada sistema de reparación. Finalmente, se ensayaron a compresión axial los cilindros de concreto con las tres capas (concreto base, puente de adherencia y mortero de reparación N1 o N2) a edades de 30 y 120 días de curado.

Puentes de adherencia comerciales

En la Tabla 1 se presentan las características de cada sistema de reparación que se consideró para la elaboración de los especímenes reparados con mortero. Todos los sistemas de reparación se llevaron a cabo con el mortero de reparación N1, siendo solo los primeros ocho para ensayar a 30 y 120 días de curado. Para el mortero de reparación N2 se consideraron solo los primeros siete sistemas de reparación para 30 y 120 días de curado.

Para el puente de adherencia comercial 1 (base cementicio con epóxico), se varió el tiempo entre aplicación del mismo y la colocación del mortero de reparación sobre este puente. De esta manera se evaluó el tiempo de permanencia del mismo luego de haberse instalado sobre la superficie preparada del concreto base.

Tabla 1 Características de cada sistema de reparación evaluado con mortero N1

Sistema de reparación	Puente de adherencia	Nomenclatura de tipo de puente de adherencia	Perfil ICRI
1	agua	A	9
2	lechada de cemento y agua	L	9
3	comercial 1, inmediato	C1	7
4	comercial 1, inmediato	C1	9
5	comercial 1, 1 hora	C1	9
6	comercial 1, 4 horas	C1	9
7	comercial 1, inmediato	C1	4
8	comercial 2A, 1:3	C2A	7
9	comercial 2B, 1:1	C2B	7
10	comercial 2B, 1:1	C2B	9
11	comercial 3	C3	4
12	comercial 3	C3	7
13	comercial 3	C3	9
14	comercial 4	C4	4
15	comercial 4	C4	7
16	comercial 4	C4	9

El puente de adherencia comercial base látex fue utilizado usando dos proporciones de producto y agua, 1:3 y 1:1, de acuerdo con las recomendaciones de la ficha técnica del fabricante.

MATERIALES Y ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES

Se realizó el diseño de mezcla para los morteros convencionales (N1 y N2), fabricados con agregado fino de la región, utilizando los lineamientos de la norma mexicana NMX-C-061-ONNCCE-2001 para resistencia a la compresión de cementantes hidráulicos, y el método del ACI para diseño de mezclas de concreto. Los materiales utilizados fueron Cemento Portland Compuesto CPC 30 y agregados pétreos basálticos, típicos de la región de Querétaro. Se consideró una relación agua/cemento (a/c) de 0.55 para N1 y 0.80 para N2. Los componentes de la mezcla de los morteros de reparación se presentan en la Tabla 2.

Se determinó la fluidez del mortero de acuerdo con la norma mexicana NMX-C-085 y, debido al volumen requerido, se utilizó una revolvedora de acuerdo con la Norma Mexicana NMX-C-155 para la elaboración de los especímenes. El curado de los especímenes se realizó sumergiéndolos en tinas de curado durante 30 y 120 días.

Tabla 2 Diseño teórico para mortero convencional

Material	N1 [lt / m ³]	N2 [lt / m ³]
Cemento	186.24	128.04
Agua	322.67	322.67
Arena	491.09	549.29

Los puentes de adherencia comerciales que se consideraron fueron de una misma empresa. Las características que se tienen de dichos productos se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3 Características de puentes de adherencia comerciales

Datos Técnicos	Producto Comercial 1	Producto Comercial 2	Producto Comercial 3	Producto Comercial 4
Densidad	1.01 [kg/l]	2.00 [kg/l]	-	1.60 [kg/l]
Viscosidad	2,000 - 5,000 [cps]	-	-	-
Rendimiento	85 - 10 [g/m ²]	1,000 - 1,500 [g/m ²]	8,000 [g/m ²]	300 - 500 [g/m ²]
Resistencia mecánica	-	2 - 3 [MPa]	25 [MPa]	13 [MPa]
Base activa	Cementicio con resina epóxica	Látex	Epóxico A	Epóxico B

PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS MORTEROS DE REPARACIÓN

De acuerdo al Manual de la Red DURAR, existen pruebas para ensayar los especímenes y determinar sus características físicas y mecánicas:

- Resistividad Eléctrica Húmeda (REH) de acuerdo con la norma NMX-C-514-ONNCCE-2016 (2016). Revela indirectamente la porosidad interconectada del material y su valor depende del grado de saturación de los poros del concreto y la hidratación de la pasta del cemento.
- Velocidad de Pulso Ultrasónico (VPU) de acuerdo con la norma NMX-C-275-ONNCCE-1986 (1986). Evalúa la homogeneidad del material con base a su porosidad interior. De esta manera, se pueden detectar las fallas internas (presencia de vacíos) introducidas durante la fabricación, la profundidad de las fisuras y otras imperfecciones.
- Porcentaje Total de Vacíos (TV) de acuerdo con la norma ASTM-C-642-97 (1997). Define la calidad del material, en esta prueba se consideran los espacios vacíos que quedan en la masa de material a consecuencia de la evaporación del agua excedente del mezclado y del aire atrapado durante su fabricación dando así una característica de compacidad.
- Porosidad Efectiva (ε_{ef}) de acuerdo con la norma NMX-C-504-ONNCCE-2015 (2015). Para

esta prueba es necesario realizar la prueba de adsorción capilar siguiendo la técnica de Fagerlund. El cambio de masa debido a la absorción de agua de un espécimen seco, se registra hasta tener un peso constante.

- Permeabilidad Rápida de Cloruros (PRC) de acuerdo con la norma ASTM-C-1202-07 (2007). Se presenta la corriente eléctrica que pasa a través de una rodaja del material durante 6 horas. En esta prueba se preparan rodajas del material asignado y se saturan en agua durante 24 hrs. Se colocan las rodajas en celdas de acrílico y soluciones de NaCl y NaOH.
- Resistencia mecánica a la compresión axial (RMC) de acuerdo con la norma NMX-C-083-ONNCCE-2002 (2002). Define si se cumple con un material estructural a partir de los 25 MPa. Esta prueba es necesaria para respaldar que se haya cumplido la resistencia mínima requerida en el diseño.

Para determinar la calidad de los morteros se evaluaron cada una de las pruebas mencionadas. De acuerdo a los lineamientos, se define si los morteros son de bajas, medianas o altas prestaciones. En la Tabla 4 se presentan los valores que determinan el tipo de mortero en función de su desempeño por durabilidad. (Visairo *et al.*, 2018).

Tabla 4 Índices de durabilidad de morteros

Índice de durabilidad	Bajas prestaciones	Medianas prestaciones	Altas prestaciones
REH, kΩ-cm	< 10	10 – 50	> 51
VPU, km/s	< 2.9	3 – 4	> 4.1
TV, %	> 15	10 - 15	< 10
ϵ_{ef} , %	> 10	5 - 10	< 5
PRC, Coulomb	> 4,000	1,000 – 4,000	< 1,000
RMC, MPa	< 30	30 - 50	> 51

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Para mejor interpretación de los resultados, primero se presentan los resultados relacionados con propiedades físicas y mecánicas de cada mortero de reparación y, posteriormente, los resultados de resistencia por cortante de cada sistema de reparación evaluado a 30 días. Finalmente, se presentan los resultados de resistencia por cortante de cada sistema de reparación evaluado a 120 días.

MORTEROS DE REPARACIÓN

En la Tabla 5 se presentan los resultados promedio (de tres especímenes) de cada una de las pruebas índice de durabilidad realizadas al mortero de reparación N1 de este estudio. De acuerdo con los resultados obtenidos y listados en la Tabla 5, el mortero de reparación N1 utilizado pertenece a uno de bajas a medianas prestaciones respecto a la durabilidad.

Se puede observar en la misma Tabla 5 que se presentó una mejoría en el desempeño del mortero N1 obtenidos a los 120 días, en comparación a los obtenidos a los 30 días. Por lo tanto, si se continúa con el curado, la calidad del mortero aumenta a un tipo de medianas prestaciones solamente, producto de una mejora en la hidratación del cemento.

El resultado de RMC respalda el diseño realizado considerando ambos lineamientos mencionados (ACI y NMX): obtener un mortero de 35 MPa de resistencia mecánica a 28 días.

Tabla 5 Resultados promedio de Mortero N1

Descripción	Resultado a 30 días	Resultado a 120 días
Valor promedio REH	4.95 [kΩ-cm]	14.31 [kΩ-cm]
<i>Coeficiente de variación REH</i>	5.12%	6.02%
Valor promedio VPU	3.32 [km/s]	3.46 [km/s]
<i>Coeficiente de variación VPU</i>	0.15%	0.21%
Valor promedio TV	20.14 [%]	24.27 [%]
<i>Coeficiente de variación TV</i>	10.61%	7.56%
Valor promedio ϵ_{ef}	14.75 [%]	12.54 [%]
<i>Coeficiente de variación ϵ_{ef}</i>	15.93%	22.68%
Valor promedio PRC	5140.00 [C]	1659.50 [C]
<i>Coeficiente de variación PRC</i>	0.45%	0.27%
Valor promedio RMC	35.07 MPa	40.61 MPa
<i>Coeficiente de variación RMC</i>	7.15%	5.28%

En la Tabla 6 se presentan los resultados promedio (de tres especímenes) de cada una de las pruebas índice de durabilidad realizadas al mortero de reparación N2 de este estudio. De acuerdo con los resultados obtenidos y listados en dicha tabla, el mortero de reparación N2 utilizado pertenece a uno de bajas prestaciones respecto a la durabilidad.

Se puede observar en la misma Tabla 6 que se presentó una mejoría en el desempeño del mortero N2 obtenidos a los 120 días, en comparación a los obtenidos a los 30 días.

El resultado de RMC respalda el diseño realizado considerando ambos lineamientos mencionados (ACI y NMX): obtener un mortero de 20 MPa de resistencia mecánica a 28 días.

Tabla 6. Resultados promedio de Mortero N2

Descripción	Resultado a 30 días	Resultado a 120 días
Valor promedio REH	2.86 [kΩ-cm]	8.81 [kΩ-cm]
<i>Coeficiente de variación REH</i>	6.04%	10.49%
Valor promedio VPU	2.95 [km/s]	3.15 [km/s]
<i>Coeficiente de variación VPU</i>	0.58%	0.13%
Valor promedio TV	30.08 [%]	21.76 [%]
<i>Coeficiente de variación TV</i>	3.06%	9.72%
Valor promedio ϵ_{ef}	20.24 [%]	17.87 [%]
<i>Coeficiente de variación ϵ_{ef}</i>	2.91%	9.13%
Valor promedio PRC	3,273.50 [C]	2,778.50 [C]
<i>Coeficiente de variación PRC</i>	14.83%	5.81%
Valor promedio RMC	18.55 MPa	25.17 MPa
<i>Coeficiente de variación RMC</i>	3.42%	7.28%

PUENTES DE ADHERENCIA

En la Figura 1 se presentan las resistencias por cortante de cada uno de los sistemas evaluados a 30 días con mortero de reparación N1 y N2.

Figura 1 Resultados de Resistencia por Cortante de Concretos Reparados con mortero de reparación N1 y N2 a 30 días

Se observa de esta figura que para el perfil ICRI 9, el mejor resultado fue dado por el sistema comercial 1 (cementicio con epóxico), colocándose el mortero de reparación inmediatamente (promedio de 4.1 MPa). Se nota una disminución de la adherencia de este producto comercial 1 si se queda a la intemperie más de 1 hora (< 2.8 MPa).

Para el mismo perfil ICRI 9, los sistemas de agua y lechada (agua con cemento) disminuyeron un 25 % con respecto al comercial base cementicio con epóxico. Los puentes de adherencia tipo látex 2B (proporción 1:1) y el comercial 3 (epóxico) obtuvieron resistencia por cortante muy bajas comparadas con los otros tres puentes de adherencia. El puente de adherencia comercial 4 (epóxico) fue el segundo más resistente por cortante de todos los evaluados en esta rugosidad superficial (ICRI 9).

Con respecto a los valores obtenidos en el perfil ICRI 7, el puente de adherencia que mejor se desempeña por resistencia al cortante fue el epóxico 4, mientras que los demás fueron reduciendo su desempeño mecánico en la siguiente razón: comercial 1 $>$ comercial 2A $>$ comercial 2B $>$ comercial 3. Para el perfil ICRI 4, se repite el orden de desempeño por resistencia al cortante de los puentes de adherencia evaluados: comercial 4 $>$ comercial 1 $>$ comercial 3.

Por otro lado, debido a la mejora en el perfil de rugosidad definido para algunos sistemas, se esperaría una mejor adherencia del concreto reparado, sin embargo, no garantizó en todos los casos la correcta adherencia de los materiales. Con respecto a los tres tipos de rugosidad, no se alcanza a ver una correlación entre rugosidad y resistencia por cortante, siendo que cada producto funciona mejor en diferentes grados de rugosidad: comercial 1 es mejor en ICRI 9, comercial 4 es mejor en ICRI 7 y 4.

Por último, si comparamos los resultados de los puentes de adherencia tradicionales, que son el saturar la superficie de adherencia entre el concreto base y el material de reparación (mortero o concreto) o el uso de una lechada de cemento con los puentes de adherencia comerciales, se puede observar una mejora de la adherencia si se utilizan los puentes comerciales 1 y 4 en el perfil de rugosidad ICRI 9. Aunque el incremento en resistencia por cortante, con respecto a los sistemas tradicionales de saturación y lechada, del sistema 1 y del sistema 4 fue de un 32% y 20%, respectivamente. Lo que convendría realizar un análisis de costo beneficio para determinar si conviene el uso de productos comerciales en lugar de los tradicionales.

Respecto a los sistemas de reparación con mortero N2 se observó que, en general, se presentan el mismo comportamiento pero con menor resistencia mecánica por cortante siendo los de valores más altos con perfil de rugosidad ICRI 9.

En la Figura 2 se presentan las resistencias por cortante los primeros ocho sistemas (Tabla 1) evaluados a 120 días. Se observa de esta figura que para el perfil ICRI 9, el mejor resultado fue dado por el sistema comercial 1 (cementicio con epóxico), colocándose el mortero de reparación inmediatamente (promedio 4.54 MPa). Se nota una disminución de la adherencia de este producto comercial 1 si se queda a la intemperie más de 1 hora (3.21 MPa).

Para el mismo perfil ICRI 9, los sistemas de agua y lechada (agua con cemento) se encuentran por debajo del sistema comercial base cementicio con epóxico en un 17.83 % y 13.47 %, respectivamente; lo cual deja a consideración nuevamente si el costo beneficio refleja el uso conveniente del producto comercial.

El puente de adherencia tipo látex 2A obtuvo resistencia por cortante muy baja comparadas con los otros tres puentes de adherencia (1.9 MPa).

Con respecto a los valores obtenidos en el perfil ICRI 7, el puente de adherencia que mejor se desempeña por resistencia al cortante fue el sistema comercial 1 (cementicio con epóxico). En relación con los tres tipos de rugosidad, no se alcanza a ver una correlación entre éstos y la resistencia por cortante.

Figura 2 Resultados de Resistencia por Cortante de Concretos Reparados N1 y N2 a 120 días

El comportamiento respecto al mortero N2 incrementa respecto al tiempo, sin embargo, resulta menor en comparación con el mortero N1. Se observa que la resistencia puede variar sin importar el perfil de rugosidad que se presente.

En la Tabla 7 se presenta el aumento de resistencia por cortante relativa de 30 a 120 días para el mortero de reparación N1. Este aumento se obtuvo de la diferencia de MPa alcanzados a los 120 días de saturado. El incremento de esta resistencia se atribuye a la hidratación del cemento y los materiales que constituyen a los diferentes puentes de adherencia considerados.

Tabla 7 Resistencia por cortante relativa de mortero N1

Sistema de reparación	Resistencia por cortante a 30 días [MPa]	Resistencia por cortante a 120 días [MPa]	Aumento en resistencia por cortante relativa de 30 a 120 días [%]
1	3.15	3.85	22.32
2	3.16	4.00	26.57
3	2.36	4.65	97.12
4	4.08	4.54	11.34
5	2.53	3.21	26.98
6	2.95	4.35	47.45
7	2.50	3.79	52.07
8	1.61	1.90	18.11

De la tabla anterior, se puede apreciar que el mínimo aumento que se tuvo por edad en la resistencia por cortante fue el sistema de reparación 4 (puente de adherencia comercial 1, perfil ICRI 9 y aplicación del mortero de reparación de manera inmediata) con un aumento del 11.34 %. El mayor aumento de resistencia por cortante debido a la edad fue dado en el sistema de reparación 3 (puente de adherencia comercial 1, perfil ICRI 7 y aplicación del mortero de reparación de manera inmediata) con un aumento del 97.12 %.

En la Tabla 8 se presenta el aumento de resistencia por cortante relativa de 30 a 120 días para el mortero de reparación N2. Este aumento se obtuvo de la diferencia de MPa alcanzados a los 120 días de saturado. Al igual que en el incremento de resistencia para mortero N1, atribuye a la hidratación del cemento y los materiales que constituyen a los diferentes puentes de adherencia considerados.

Tabla 8 Resistencia por cortante relativa de mortero N2

Sistema de reparación	Resistencia por cortante a 30 días [MPa]	Resistencia por cortante a 120 días [MPa]	Aumento en resistencia por cortante relativa de 30 a 120 días [%]
1	1.70	2.50	47.10
2	2.14	2.80	31.32
3	1.99	2.81	41.25
4	2.57	4.19	62.99
5	2.49	3.86	54.83
6	2.56	3.67	43.28
7	2.41	3.43	42.60

De la tabla anterior, se puede apreciar que el mínimo aumento que se tuvo por edad en la resistencia por cortante fue el sistema de reparación 2 (puente de adherencia lechada, perfil ICRI 9 y aplicación del mortero de reparación de manera inmediata) con un aumento del 31.32 %. El mayor aumento de resistencia por cortante debido a la edad fue dado en el sistema de reparación 4 (puente de adherencia comercial 1, perfil ICRI 9 y aplicación del mortero de reparación de manera inmediata) con un aumento del 62.99 %.

4. CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos se tienen a consideración las siguientes conclusiones:

1. Los productos comerciales requieren evaluaciones previas a las reparaciones con los materiales a utilizarse en la interacción concreto base – puente de adherencia – mortero de reparación para garantizar la recuperación de la capacidad de carga del elemento estructural. Se recomienda realizar experimentación similar a la que se presenta en este trabajo con diferentes productos comerciales.
2. Existe un incremento de resistencia mecánica (y por consecuencia al cortante) con el transcurso de los días debido a la hidratación de los diferentes materiales que componen el sistema de reparación, lo cual indica que el saturado o hidratación de la zona reparada o rehabilitada en estructuras de CR es necesario.
3. Resulta eficiente considerar la evaluación de propiedades físicas y mecánicas del material de reparación para determinar si cumple con características similares a las del concreto base ya que se demostró que la resistencia es menor si no alcanza las características similares al concreto base en reparación.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer:

- Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada a la fecha durante los estudios del primer autor en el programa Doctorado en Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ).
- Al Instituto Mexicano del Transporte (IMT) por el apoyo recibido para la realización de pruebas de ensaye de especímenes.
- A la Universidad Marista de Querétaro (UMQ) por el apoyo recibido de material y pruebas de ensaye de especímenes.
- A la empresa Sika Mexicana S.A. de C.V. por el apoyo recibido de material y productos comerciales.
- Al Centro de Investigación y Tecnología del Concreto (CITEC – Colossal Cement Mixer de México S.C.) por el apoyo en la elaboración de especímenes de concreto base.

6. REFERENCIAS

- ACI Committee 211. (2004). *Proporcionamiento de Mezclas, Concreto Normal, Pesado y Masivo*. IMCYC, 29-34. México, D.F.: IMCYC.
- ASTM C1202-07. (2007). *Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration*. Baltimore, MD, U.S.A.: American Society Testing and Materials (ASTM).
- ASTM C642-97. (1997). *Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete*. Baltimore, MD, U.S.A.: American Society Testing and Materials (ASTM).
- ASTM C882-99. (1999). *Standard Test Method for Bond Strength of Epoxy-Resin Systems Used With Concrete By Slant Shear*. Baltimore MD U.S.A.: American Society Testing and Materials (ASTM).
- Cabrera Madrid, J. A., Balancán Zapata, M., Torres Acosta, A. A., & Castro Borges, P. (October de 2014). *Effect of tropical marine microclimates on depassivation and corrosion-induced cracking of reinforced concrete*. International Journal of Electrochemical Science, 9, 8211-8225.
- DURAR, R. T. (2000). *Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado* (3era ed.). (O. Trocónis de Rincón, A. Romero de Carruyo, C. Andrade, P. Helene, & I. Díaz, Edits.) Río de Janeiro: Programa Iberoamericano de ciencia y tecnología para el desarrollo,

subprograma XV "corrosión: impacto ambiental sobre materiales".

Ghazanfari, N., Manafpour, A., & Shekarchi, M. (2016). *Flexural Behavior of Post Tensioned Beams Damaged by Reinforcement Corrosion before and after Applying Patch-Repair*. American Journal of Civil Engineering and Architecture, 4(5), 171-180. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/ajcea-4-5-4>

ICRI 310.2R-2013. (2013). *Selecting and Specifying Concrete Surface Preparation for Sealers, Coatings, Polymer Overlays, and Concrete Repair*. International Concrete Repair Institute. International Concrete Repair Institute.

López Celis, R., Pérez Quiroz, J. T., Torres Acosta, A. A., Martínez Madrid, M., Martínez Molina, W., Ariza Aguilar, L. E., Valdez Salas, B. (2006). *Durabilidad de la Infraestructura de Concreto Reforzado expuesta a Diferentes Ambientes Urbanos de México*. Instituto Mexicano del Transporte. Sanfandila, Querétaro: Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Mejía Durán, M., Torres Acosta, A. A., del Valle Moreno, A., Vázquez Galván, V. E., Trueba Mendoza, C., Martínez Madrid, M., & Lomelí González, M. G. (2018). *Caracterización física y mecánica por desempeño de morteros de reparación, para su uso en la infraestructura del transporte de la SCT*. Publicación Técnica No. 513, Instituto Mexicano del Transporte, Coordinación de Ingeniería Vehicular e Integración Estructural, Sanfandila.

NMX-C-061-ONNCCE-2010. (2010). *Industria de la Construcción - Cementos Hidráulicos - Determinación de la Resistencia a la Compresión de Cementantes Hidráulicos*. México, D.F.: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.

NMX-C-083-ONNCCE-2002. (2002). *Industria de la Construcción - Concreto - Determinación de la Resistencia a la Compresión de Cilindros de Concreto - Método de Prueba*. México, D.F.: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.

NMX-C-085-ONNCCE-2010. (2010). *Industria de la Construcción - Cemento Hidráulico - Determinación Estándar para el Mezclado de Pastas y Morteros de Cementantes Hidráulicos*. México, D.F.: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, S.C.

NMX-C-155-ONNCCE-1987. (1987). *Industria de la Construcción - Concreto Hidráulico - Especificaciones*. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.

NMX-C-275-ONNCCE-1986. (1986). *Industria de la Construcción - Concreto - Determinación de la Velocidad de Pulso - Método de Ultrasonido*. México, D.F.: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.

NMX-C-504-ONNCCE-2015. (2015). *Industria de la Construcción - Determinación de la Absorción Capilar en Concreto Hidráulico - Método de Ensayo*. México, D.F.: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.

NMX-C-514-ONNCCE-2016. (2016). *Industria de la Construcción - Resistividad Eléctrica del Concreto Hidráulico - Especificaciones y métodos de ensayo*. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.

Presuel Moreno, F., Scully, J. R., & Sharp, S. (2008). *Identification of Commercially Available Alloys for Corrosion-Resistant Metallic Reinforcement and Test Methods for Evaluating Corrosion-Resistant Reinforcement*. Virginia Transportation Research Council. Charlottesville, Virginia: Virginia Transportation Research Council.

Ray, I., Parish, G. C., Davalos, J. F., & Chen, A. (2011). *Effect of Concrete Substrate Repair Methods for Beams Aged by Accelerated Corrosion and Strengthened with CFRP*. Aerospace Engineering, 24(2), 227-239.

REHABILITAR, R. (2003). *Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón. Reparación, Refuerzo y Protección*. (P. Helene, & F. Pereira, Edits.) Sao Paulo: Red Rehabilitar CYTED XV. F; Construction Chemicals, Degussa.

Torres Acosta, A. A., Celis Martínez, C. E., Martínez Molina, W., & Lomelí González, M. G. (2010). *Mejora en la Durabilidad de Materiales base Cemento, utilizando Adiciones Deshidratadas de dos*

cactáceas. Instituto Mexicano del Transporte. Sanfandila, Querétaro: Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Visairo Méndez, R., Torres Acosta, A. A., & Alvarado Cárdenas, R. (2018). *Repair by patching damaged structures due to located corrosion, a methodology for characterization of the mortars durability*. Journal of Materials in Civil Engineering. (en prensa).

Xie, J.-h., & Hu, R.-l. (2012). *Experimental study on rehabilitation of corrosion-damaged reinforced concrete beams with carbon fiber reinforced polymer*. Construction and Building Materials, 38, 708-716. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.09.023>

Yan, L., Su, S., & Chouw, N. (June de 2015). *Microstructure, flexural properties and durability of coir fibre reinforced concrete beams externally strengthened with flax FRP composites*. Composites Part B, 80, 343-354. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2015.06.011>