

Caracterización Estructural Experimental de Tapas de Concreto Polimérico Sujetas a Flexión

Experimental Structural Characterization of Polymeric Concrete Lids Subjected to Bending

Cortés Hernández Guadalupe del R.¹ y Badillo Almaraz Hiram^{2*}

RESUMEN

En este estudio se analizan las propiedades y el desempeño del concreto polimérico llevando a cabo una evaluación experimental de las propiedades del material en estado endurecido. Los especímenes que se analizan corresponden a tapas de concreto polimérico similares a las que se utilizan en alcantarillas y ductos de cableado con el fin de evaluar las propiedades mecánicas en flexión. Los especímenes se ensayaron en un dispositivo hasta llevarlos a la falla para de obtener la respuesta lineal y no lineal de dichos elementos. De los principales resultados obtenidos del análisis experimental, se encontró que los especímenes cumplen con la resistencia especificada por el fabricante. Se observó una pérdida considerable de rigidez ante cargas cíclicas. Así mismo, se encontró que los especímenes fallan por cortante. Finalmente, se recomienda revisar los valores de falla por flexión dado que de acuerdo con los ensayos realizados en este estudio dichos valores se sobre estiman en la literatura encontrada.

Recibido: septiembre 2018
Aceptado: enero 2019
Publicado: febrero 2019

Palabras Clave:

Flexión, Tapas de Concreto,
Concreto polimérico

Keywords:

Bending, Concrete Lids, Poly-
meric Concrete

ABSTRACT

This study analyzed the properties and performance of polymeric concrete through an experimental testing of the properties of the hardened material. The analyzed specimens correspond to polymeric concrete lids such as those used in culverts and wiring ducts in order to evaluate the mechanical properties when subjected to flexural bending. The specimens were tested until failure was reached in order to obtain the linear and non-linear response of each element. Among the main results obtained from the experimental analysis, it was found that the specimens satisfy with the strength specified by the manufacturer. A considerable loss of stiffness was observed when the specimens were subjected under cyclic loads. Likewise, it was found that the specimens fail by shear. Finally, it is recommended to review the values of failure due to bending since they are overestimated according to the results obtained in this study.

1. INTRODUCCIÓN

La utilización de elementos de concreto polimérico se ha incrementado en sustitución de elementos metálicos (acero, cobre, aluminio, latón, etc.) en obras públicas y privadas en los últimos años, especialmente en aquéllas que se encuentran expuestas en la vía pública. Lo anterior se debe a varias razones, entre las que se pueden destacar las siguientes: alta resistencia mecánica, bajo peso, bajo costo de mantenimiento, largo ciclo de vida, y a que no son tan susceptibles al robo o al vandalismo como los elementos de metal usualmente utilizados,

*Autor para correspondencia.
Badillo Almaraz Hiram: hbadillo.civil@uaz.edu.mx

¹ Ingeniero Civil, Programa de Ingeniería Civil, Unidad Académica de Ingeniería I, Universidad Autónoma de Zacatecas, Av. Ramón López Velarde No. 801, 98060, Zacatecas, Zac., México, Teléfono: (492) 9239407 ext. 1501, 1601

² Docente Investigador, Programa de Ingeniería Civil, Unidad Académica de Ingeniería I, Universidad Autónoma de Zacatecas, Av. Ramón López Velarde No. 801, 98060, Zacatecas, Zac., México, Teléfono: (492) 9239407 ext. 1501, 1601

entre otros. A pesar de las aparentes ventajas que este tipo de elementos ofrecen, se han encontrado pocos estudios que determinen la capacidad estructural de los elementos antes mencionados. En este estudio se analizan las propiedades y el desempeño de elementos de concreto polimérico llevando a cabo una evaluación experimental de las propiedades de especímenes comerciales. Los especímenes que se analizan corresponden a tapas de concreto polimérico similares a las que se utilizan en alcantarillas y ductos de cableado con el fin de evaluar las propiedades mecánicas en flexión para compararlas con las especificaciones dadas por los fabricantes de los especímenes.

2. CARACTERÍSTICAS DE LOS CONCRETO POLIMÉRICOS

Composición y Propiedades

El concreto polimérico es una mezcla de resinas poliméricas (poliéster, acrílicas, epóxicas, furánicas), cargas minerales (arenas, cuarzos, carbonatos, sílicas), fibra de vidrio y aditivos (pigmentos humectantes). La mezcla permite un rápido curado y una alta resistencia mecánica y presenta una mínima absorción de agua. Dentro de las ventajas que los concretos poliméricos ofrecen es que éstos presentan una alta resistencia mecánica, alta resistencia al rayado, alta resistencia química, alta resistencia a los rayos UV; además, el material es totalmente impermeable. Debido a sus

Tabla 1. Comparación de los valores teóricos de las propiedades mecánicas del concreto convencional y los concreto poliméricos

Características	Concreto Convencional	Concreto Polimérico
Peso Volumétrico (kg/m ³)	2200 - 2400	1500 - 2400
Resistencia. Compresión (MPa)	10 - 45	50 - 150
Resistencia Tensión (MPa)	1.0 - 4.5	5 - 25
Resistencia Flexión (MPa)	5 - 40	15 - 55
Módulo elástico (GPa)	14 - 29.5	10 - 45
Resistencia al Corte (kg/cm)	8.4 - 9.1	45.6 - 49.2

características químicas, los concretos poliméricos nos ofrecen la posibilidad de extender la vida útil de las construcciones, protegiéndolas de la corrosión, la abrasión y los disolventes y que éstas poseen una gran resistencia a la humedad por su baja absorción (menor al 1%). Por otro lado, estos presentan una alta resistencia al impacto, así como una gran estabilidad en condiciones de congelación.

Los concretos poliméricos presentan una resistencia y una rigidez mayores que los obtenidos en concretos convencionales, debido a una distribución homogénea entre el concreto y las fibras que lo componen, lo que da lugar a módulos de elasticidad más altos que en concretos convencionales. En la Tabla 1 se presenta una comparación de los valores teóricos de las propiedades mecánicas del concreto convencional (resistencia a la compresión de 10 y 45 MPa) y los concreto poliméricos (resistencia a la compresión de 50 y 150 MPa).

Una de las características que más sobresalen es que el concreto polimérico tiene un bajo costo de mantenimiento y largo ciclo de vida. Los elementos de concreto polimérico son más ligeros y hasta cinco veces más resistentes que elementos de igual tamaño hechas de metal. En el caso específico de las tapas de concreto polimérico que aquí se analizan tienen una ventaja cuando son colocadas en la vía pública, ya que, a diferencia de las tapas o cubiertas metálicas éstas no

son reciclables, por lo que no son tan susceptibles al robo.

3.METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Descripción del Espécimen

Las tapas que se utilizaron en este análisis experimental de acuerdo con la información proporcionada por el fabricante corresponden a un concreto polimérico de alta resistencia. Están fabricadas a base de un material plástico compuesto por resina poliéster y agregados minerales en distintos tipos de granulometrías y corresponden a especímenes comerciales utilizados como tapas de registros de telefonía. El material del que están compuestos los especímenes forma una matriz tridimensional que al ser catalizada da como resultado un compuesto sólido el cual es impermeable, resistente a los ataques químicos, aislante térmico y eléctrico. Además, las tapas de concreto polimérico poseen una película fina de fibra de vidrio en la parte inferior de 1 mm de espesor. La finalidad de la fibra de vidrio es el aportar capacidad estructural con muy poco aumento del peso de la estructura.

Las dimensiones de los especímenes son 50x60x5.5 cm y tienen un peso aproximado es de 35.5 kg. En las Figuras 1 y 2 se presenta una representación gráfica de las tapas analizadas y las dimensiones de estas respectivamente.



Figura 1. Tapa de concreto polimérico tipo

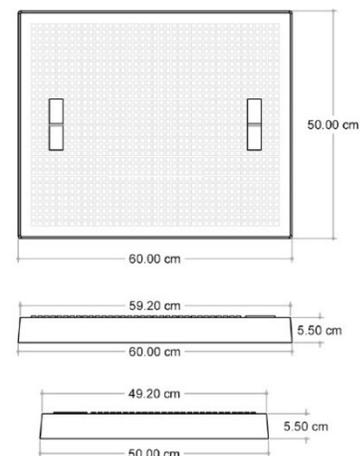


Figura 2. Dimensiones del espécimen ensayado

De acuerdo con información proporcionada por el fabricante, los elementos están diseñados para alcanzar una resistencia última a la flexión de 9.5 Toneladas.

Descripción de la Configuración Experimental

Para la evaluación experimental que se presenta se tomaron en cuenta los lineamientos sobre la determinación de la resistencia a flexión del concreto usando una viga simple con carga en los tercios del claro (flexión en cuatro puntos) conforme a la norma Mexicana NMX-C-191-ONNCCE-2004. Una representación de

las condiciones de contorno a la que fueron sometidos los especímenes se muestra el diagrama de la Figura 3.

La aplicación de la carga se realizó mediante la máquina hidráulica universal con carga aplicada en dos puntos a una velocidad constante de 58 kg/s. El registro de esta se llevó a cabo mediante un microprocesador para la medición de carga de compresión en marcos (CONTROLS-DIGIMAX PLUS). Se colocó un dispositivo para medir la deflexión a la mitad de la placa. Dicho dispositivo consistía en una barra la cual hacía de brazo extensor y de un extensómetro digital conectado a un microprocesador para adquisición de

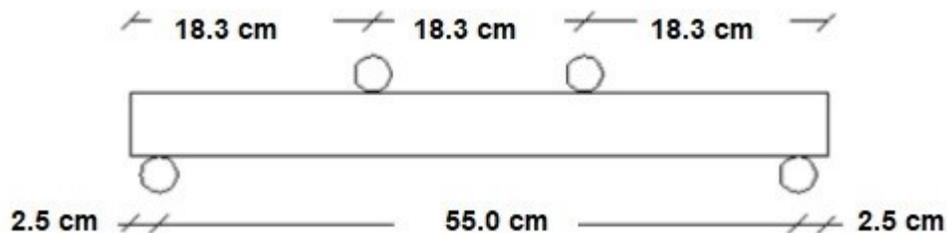


Figura 3. Condiciones de contorno del ensayo experimental



Figura 4. Tapa colocada sobre dispositivo en flexión



Figura 5. Dispositivo para medir la deflexión al centro del espécimen

datos (CONTROLS-DATALOG). La carga y la deformación se midieron de manera sincronizada. La configuración de los ensayos experimentales se muestra en las Figuras 4 y 5.

Ensayo Experimental de los Especímenes

Como parte de la caracterización estructural experimental de tapas de concreto polimérico sujetas a flexión se ensayaron dos especímenes CPFV-1 y CPFV-2 de acuerdo a las especificaciones mencionadas en los párrafos anteriores.

El primer espécimen ensayado, CPFV-1, se sometió a dos ciclos de carga con la finalidad de observar el comportamiento carga-descarga. En el primer ciclo de carga se sometió al espécimen hasta alcanzar un 60% de la carga de diseño especificada por el fabricante. Posteriormente, se retiró completamente la carga y se le sometió nuevamente a un ciclo hasta llevar a la ruptura. En el caso del segundo espécimen, CPFV-2, éste se ensayó únicamente con una carga monotónica hasta llevarlo a su carga máxima de ruptura.

4. RESULTADOS

En este apartado se presentan los resultados obtenidos experimentalmente en términos de carga máxima

resistida por los especímenes y curvas de capacidad estructural.

Especímen CPFV-1

En el primer ciclo de carga aplicado a este espécimen se llegó hasta una carga de 52.97 kN (5.4 Ton) aproximadamente para después descargarlo por completo. En el segundo ciclo de carga se obtuvo una carga máxima de ruptura de 103.7 kN (10.57 Ton). En la Figura 6 se presentan las curvas de capacidad del espécimen CPFV-1 para los dos ciclos de carga.

Durante la realización de la prueba se observó que una vez que se retiró la carga sobre el espécimen, éste recuperó su forma inicial casi por completo, ya que se había flexionado de manera curva debido a la aplicación de esta. Visualmente no se detectaron grietas ni daño externo.

De la curva de capacidad obtenida del primer ciclo aplicado se calculó un módulo de elasticidad promedio de 31.9 GPa. De la curva de capacidad obtenida del segundo ciclo aplicado al espécimen se observa una reducción en la resistencia de fluencia del espécimen (de 31.6 kN a 15.7 kN, aproximadamente) y se obtuvo un módulo de elasticidad promedio de 22.6 GPa. Así mismo, se observa una pérdida considerable de la rigidez, por lo que se infiere un comportamiento deficiente

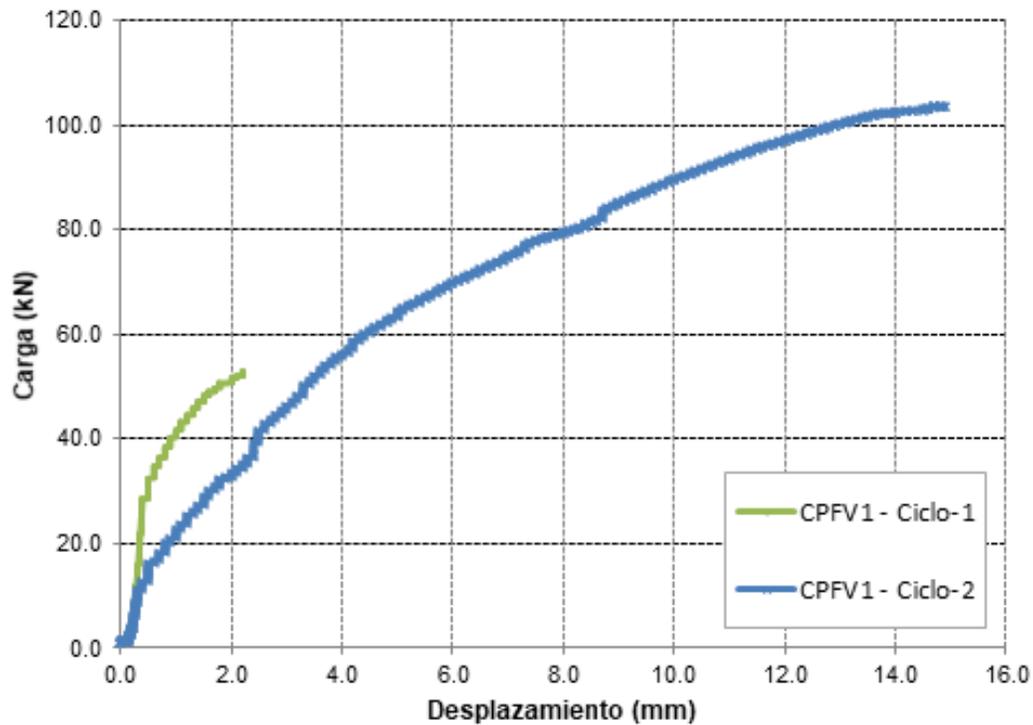


Figura 6. Curva de capacidad espécimen CPFV-1

del material ante cargas cíclicas. De la misma curva se puede observar que el comportamiento que presenta el material es elástico para bajos niveles de carga con una deformación inelástica pronunciada hasta alcanzar su carga máxima de ruptura. La energía de deformación obtenida para el segundo ciclo de carga del este espécimen es de 1058 J (1058 N-m).

En las Figuras 7 y 8 se presenta el daño del espécimen una vez terminada la prueba. En las imágenes se observa visualmente que el espécimen falla en uno de los lados exactamente en uno de los tercios extremos del claro. También se aprecia que desprendimiento parcial de la capa de fibra de vidrio en el lado inferior del espécimen. Además, se observaron agrietamientos menores en la parte central del espécimen.

Especimen CPFV-2

Este fue ensayado en un solo ciclo de carga hasta llevar la placa a la ruptura. En la Figura 9 se presenta la curva carga-desplazamiento obtenida del ensayo ex-

perimental en el cual se obtuvo una carga máxima de ruptura de 111.83 kN (11.4 Ton).

De la curva de capacidad obtenida del segundo espécimen se observa que la resistencia de fluencia alcanzada es de 40 kN aproximadamente. El módulo de elasticidad promedio del espécimen se calculó en 49.2 GPa. La energía de deformación obtenida en este espécimen es de 1038 J (1038 N-m). De la misma curva se puede observar que el comportamiento que presenta el material es elástico para niveles medios de carga con una rigidez por endurecimiento bastante marcada después de alcanzar la carga de fluencia hasta alcanzar su carga de ruptura.

En las Figuras 10 y 11 se observa el daño que presenta el espécimen una vez terminada la prueba. En las imágenes se observa visualmente que CPFV-2 falla, al igual que CPFV-1, en uno de los lados; exactamente en uno de los tercios externos del claro. También se aprecia que desprendimiento parcial de la capa de fibra de vidrio en el lado inferior del espécimen.



Figura 7. Plano de falla espécimen CPFV-1



Figura 8. Desprendimiento de capa de fibra de vidrio espécimen CPFV-1

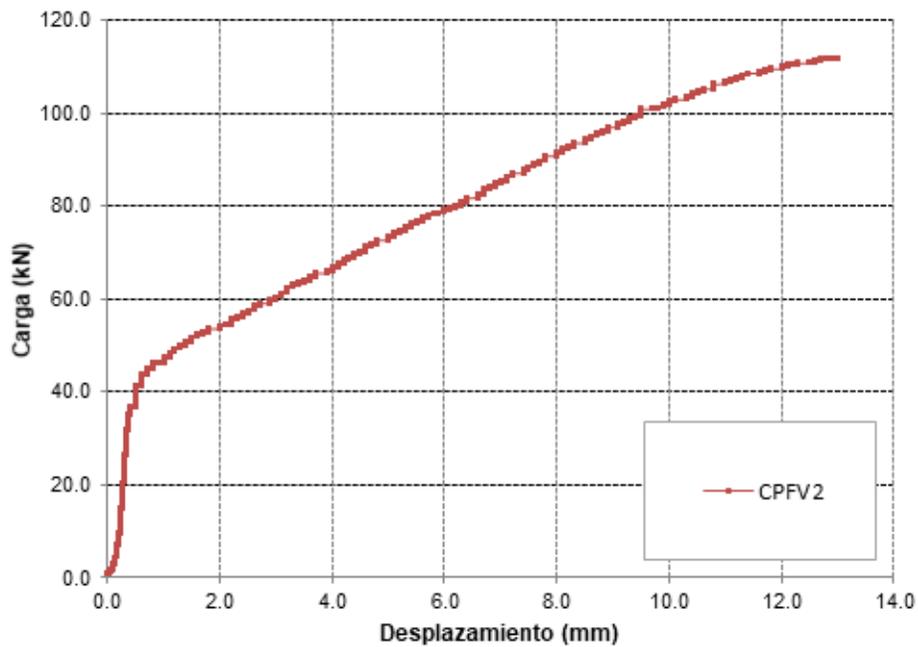


Figura 9. Curva de capacidad espécimen CPFV-2

5. COMPARACIÓN DE RESULTADOS

En la Figura 12 se presentan las curvas carga-desplazamiento obtenidas del ensayo experimental de los dos especímenes, y se observa que ambos presentan un comportamiento similar en las etapas iniciales de carga en el rango elástico y rango inelástico (curvas CPFV1 – Ciclo-1 y CPFV2). Así mismo, se aprecia que la rigidez post-fluencia de los especímenes es bas-

tante parecida, por lo que se concluye que el endurecimiento por deformación se mantiene constante a pesar de la degradación de rigidez inicial en el segundo ciclo de carga del espécimen CPFV1.

6. CONCLUSIONES

En el presente estudio se analizaron experimentalmente dos especímenes de concreto polimérico co-



Figura 10. Plano de falla espécimen CPFV-2



Figura 11. Desprendimiento de capa de fibra de vidrio espécimen CPFV-2

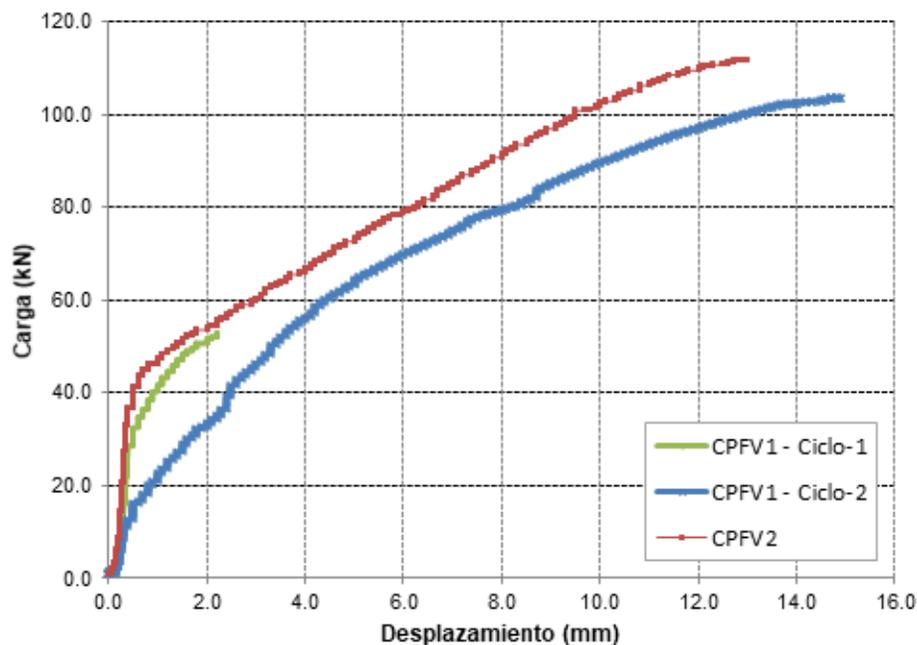


Figura 12. Curva de capacidad espécimen CPFV-2

merciales como los utilizados como tapas de registros de telefonía en la vía pública. La evaluación experimental consistió en la determinación de la resistencia a flexión con carga en los tercios del claro y soporte en los extremos del elemento (flexión en cuatro puntos).

El primer espécimen ensayado, CPFV-1, se sometió a dos ciclos de carga con la finalidad de observar el comportamiento carga-descarga. En el primer ciclo de carga se sometió a CPFV-1 hasta alcanzar un 60% de la carga de diseño especificada por el fabricante, mientras que en el segundo se llevó el espécimen hasta la falla.

El segundo caso, CPFV2, se sometió a carga monofónica hasta llevarlo a la falla en un solo ciclo de carga.

De acuerdo con los resultados obtenidos se puede decir que el comportamiento de las tapas de concreto polimérico es aceptable en términos de resistencia, ya que ambos especímenes cumplen con la resistencia especificada por el fabricante de 9.5 Ton.

De las curvas de capacidad resultantes en los dos ciclos de carga aplicados a CPFV1 se obtuvo una resistencia fluencia de 31.6 kN y 15.7 kN, en el primer y segundo ciclo de carga respectivamente, por lo que se aprecia una reducción considerable en dicha resistencia. Se observa también una reducción en los módulos de elasticidad correspondientes de 31.9 GPa a de 22.6 GPa. Así mismo, se observa una pérdida considerable la rigidez de elástica, por lo que se infiere un comportamiento deficiente del material ante cargas cíclicas, aunque por la limitación del número de pruebas realizadas se recomienda hacer un estudio amplio al respecto.

De la curva de capacidad obtenida en el segundo ciclo se puede observar que el comportamiento que presenta el material es elástico para bajos niveles de carga con una deformación inelástica pronunciada hasta alcanzar su carga máxima de ruptura. La energía de deformación obtenida del espécimen es de 1058 J (1058 N-m). De la curva de capacidad obtenida del segundo espécimen se observa que la resistencia de fluencia alcanzada es de 40 kN aproximadamente. El módulo de elasticidad promedio se calculó en 49.2 GPa. La energía de deformación obtenida en este espécimen es de 1038 J (1038 N-m). De la misma curva se puede observar que el comportamiento que presenta el material es elástico para niveles medios de carga, con una rigidez por endurecimiento bastante marcada después de alcanzar la fluencia hasta alcanzar su carga de ruptura. Los módulos de elasticidad obtenidos corresponden adecuadamente a los encontrados en la literatura.

Finalmente, de acuerdo con las imágenes que se presentan se aprecia desprendimiento parcial de la capa de fibra de vidrio en el lado inferior del espécimen. También se observa visualmente que el espécimen falla en uno de los tercios extremos del claro con una falla por cortante. Por lo anterior se concluye que este tipo de elementos no falla en flexión sino en cortante debido al refuerzo proporcionado por la fibra de carbono en el lecho inferior. Se recomienda revisar los valores encontrados en la literatura de falla por flexión ya que en los experimentos realizados en este estudio dichos valores se sobre estiman.

REFERENCIAS

Abdel A. (1996), "Ciencia del concreto polimérico", vol. 36, núm. 24, pp. 2973-2977.

Abdel A. (1999), "Flexural behaviour of polymer concrete", pp. 253-262.

Czarnecki L. (1999), "Optimization of polymer concrete composites: final report", NIST Interagency/Internal Report (NISTIR), 64 pp.

Basta A.H. (1998), "Preparation, characterization and properties of paper sheets made from chemically modified wood pulp treated with metal salts", International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials, vol. 42, pp.

Blackley D.C., (1997) "Polymer Latices. Science and technology Volume 2: Types of lattices", Springer Netherlands, 2a Ed., 592 pp.

Bobadilla S.E., Martínez B.G., Brostow, W. y Dastashvili T. (2009), "Effects of polyester fibers and gamma irradiation on mechanical properties of polymer concrete containing CaCO₃ and silica sand", Express Polymer Letters, vol. 3, núm. 10, pp. 615-620.

Brescia F., Arents J., Meislich H. y Turk A. (1976), "Fundamentos de química. Una moderna introducción", Editorial: C.E.C.S.A., México, 684 pp.

Edvardsen C. (1999), "Water permeability and autogenous healing of cracks in concrete", Materials Journal, vol. 96, núm. 4, pp. 448-454.

Gálligo J. (1990), "Hormigón de alta resistencia estado actual de conocimientos", Centro de estudios y experimentación.

Hollaway L. (1994), "Handbook of polymer composites for engineers", L.C. Hollaway Eds., 1st Edition, 352 pp.

Helmut W. y Sieghart K. (1974), "Hormigones ligeros armados", Editorial Gustavo Gili, pp. 122-124

Martinez R.S., Zamarad A., Thompson G.E. y Moore B. (2002), "Organic and inorganic concrete

under SO₂ pollutant exposure", Building and Environment, vol. 37, núm. 10, pp. 933-937.

Padilla Ramirez, A., Galindo Castro, G., Morelos, L.M., Contreras G. (2010) "Materiales compuestos en la construcción", Segundo congreso internacional de poliformas plásticas, Acapulco, Gro.