



Conciencia Tecnológica  
ISSN: 1405-5597  
contec@mail.ita.mx  
Instituto Tecnológico de Aguascalientes  
México

# Desempeño a Flexión del Concreto Reforzado con Fibras Plásticas Recicladas

Meza-de Luna, Alejandro; Gurbir, Kaur; Preciado-Martínez, Héctor Javier; Gutiérrez-López, Iván Alexander

Desempeño a Flexión del Concreto Reforzado con Fibras Plásticas Recicladas

Conciencia Tecnológica, núm. 61, 2021

Instituto Tecnológico de Aguascalientes, México

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94467989001>

## Desempeño a Flexión del Concreto Reforzado con Fibras Plásticas Recicladas

*Flexural Performance of Recycled Plastic Fiber Reinforced Concrete*

*Alejandro Meza-de Luna*  
*Tecnológico Nacional de México/IT de Aguascalientes,*  
*México*  
alejandro.meza@mail.ita.mx

Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94467989001>

*Kaur Gurbir*  
*Thapar University, India*

*Héctor Javier Preciado-Martínez*  
*Tecnológico Nacional de México/IT de Aguascalientes,*  
*México*

*Iván Alexander Gutiérrez-López*  
*Tecnológico Nacional de México/IT de Aguascalientes,*  
*México*

Recepción: 01 Marzo 2021  
Aprobación: 20 Mayo 2021

### RESUMEN:

Con un ritmo cada vez mayor, el plástico desechado ha llegado a ser uno de las preocupaciones del medio ambiente en el mundo. En este estudio, desechos de botellas plásticas de tereftalato de polietileno (PET) son usadas para producir fibras recicladas, las cuales se mezclaron con el concreto para producir muestras prismáticas. El desempeño a flexión, en términos de parámetros de resistencia y rigidez a flexión de muestras de concreto reforzado con diferente contenido de fibras de PET, fue obtenido por ensayos de especímenes bajo un arreglo de carga central. La rigidez a flexión fue determinada acorde al JSCE. También, elementos compuestos con fibras vírgenes y sin fibras (mezcla de control) fueron ensayados para realizar una evaluación comparativa. Los resultados sugieren que la adición de fibras de PET en el concreto generó similar o superior resistencia residual comparada con el concreto reforzado con fibras vírgenes. Sin embargo, el concreto con bajo contenido de fibras recicladas no es recomendado debido a su limitada resistencia residual y ductilidad.

**PALABRAS CLAVE:** Fibras de PET reciclados, resistencia a flexión, concreto reforzado con fibras, rigidez, fibra virgen.

### ABSTRACT:

With an ever-increasing rate, plastic waste has become one of the major environmental concerns in the world. In this study, waste polyethylene terephthalate (PET) plastic bottles were used to produce recycled fibers, which were mixed with a concrete matrix to produce prismatic samples. The flexural performance, in terms of flexural strength and flexural toughness on concrete samples containing different PET fibers dosages, was obtained by testing the specimens under three-point loading arrangement. The flexural toughness parameter was determined according with JSCE. Also, elements containing virgin fibers and without fibers (control mix) were tested for a comparative evaluation. Results suggest that the addition of PET fibers in the concrete generate superior or at least similar residual strength as compared to the composites reinforced with virgin fibers. However, the concrete with low fiber content may not be recommended due to limited residual strength and ductility.

**KEYWORDS:** Recycled PET fiber, flexural strength, fiber reinforced concrete, toughness, virgin fiber.

---

### NOTAS DE AUTOR

Autor de contacto: [alejandro.meza@mail.ita.mx](mailto:alejandro.meza@mail.ita.mx)

## INTRODUCCIÓN

Los polímeros sintéticos, naturales y compuestos son ampliamente usados en el mundo, transformando nuestras vidas [1]. Los plásticos han permitido beneficios a la sociedad, impulsando el desarrollo tecnológico y médico. Sin embargo, su sobreexplotación ha generado preocupación a nivel mundial [2]. Toneladas de plásticos son desechados cada año, contaminando el suelo, ríos, costas, playas y océanos; lo que ha generado un impacto adverso significativo para las diferentes especies que habitan la tierra. De acuerdo con el oceanográfico nacional y la administración atmosférica, los desechos plásticos genera la muerte de 100,000 mamíferos marinos anualmente, así como de millones de aves y peces [3]. Datos estadísticos apuntan que a nivel mundial la cantidad de plástico desechado crece constantemente a una proporción de 260 millones de toneladas cada año. Entre los años 1950 y 2017, 6.4 billones de toneladas de plástico se ha desechado a nivel mundial, del cual solamente 9% fue reciclado, 79% está en el desecho sanitario y 12% fue incinerado [4]. Otro efecto importante es que los plásticos son elementos no-biodegradables y requieren de 100 a 1000 años para su descomposición [5].

El Tereftalato de polietileno (PET) es uno de los polímeros sintéticos más explotados en la actualidad, utilizado para la producción de botellas, platos, vasos y contenedores [6,7,8,9]. La posibilidad de utilizarlo en el concreto, como un agregado, ha sido documentada por varios investigadores, mostrando compatibilidad con el concreto y añadiendo resistencia a la fatiga [4,7, 10,11,12]. También el PET se ha utilizado como elemento de refuerzo, generando ductilidad y resistencia al agrietamiento en el concreto [13,14,15].

En este trabajo, la respuesta a flexión de un concreto reforzado con fibras a partir de botellas de PET es estudiado basados en la norma JSCE. Además, las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras recicladas (RPFRC) fueron comparadas con muestras reforzadas con fibras vírgenes comerciales (PFRC) y muestras de control –sin refuerzo- (CC). Asimismo, se realizó un estudio de trabajabilidad del concreto y de adherencia de las fibras en el concreto.

## FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### Método de ensayo para muestras de concreto

La normalización de ensayos permite obtener diferentes ventajas, como la estandarización del procedimiento de ensayo en el cual se estipule los aspectos importantes a considerar, y con ello obtener resultados que puedan ser comparados con otras investigaciones, sin importar el país o las personas que desarrollan dicho ensayo.

En este trabajo se aplicaron dos normalizaciones (ASTM y JSCE), elegidos por su grado de aplicación a nivel mundial. La norma ASTM fue adoptada para el desarrollo de los ensayos de flexión en cuanto a dimensiones de las muestras, así como al procedimiento de la experimentación. Por otra parte, la norma JSCE se empleó para determinar la capacidad de reforzamiento que puede producir las fibras en un concreto, para su valoración se trazó un diagrama carga contra deformación, del cual se pueda identificar diferentes parámetros: la carga máxima que soporta la muestra de concreto, el área bajo la curva, y su grado relativo de energía en todo el ensayo. La Figura 1 muestra un diagrama típico utilizado para su estudio.

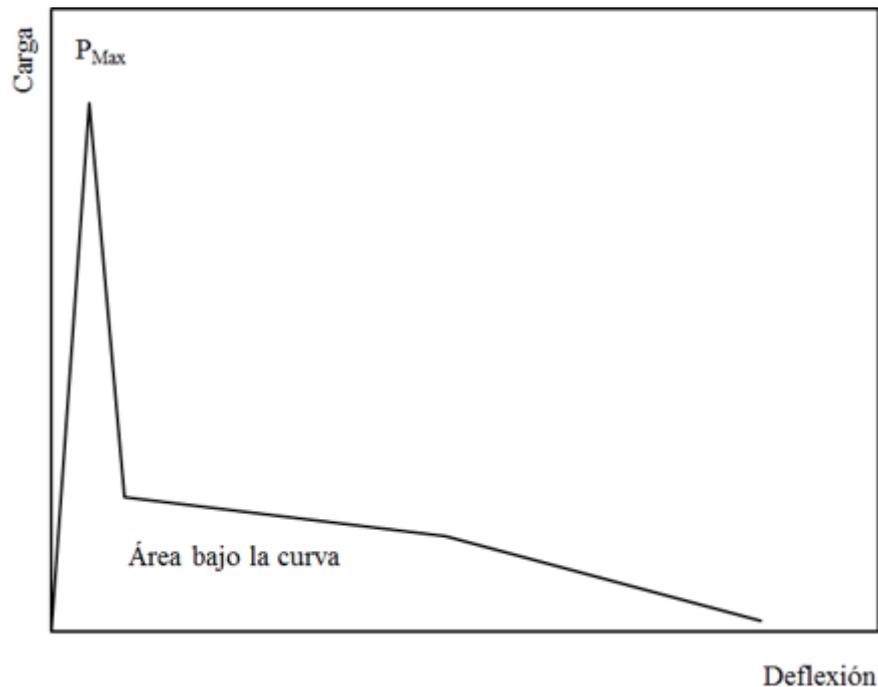


FIGURA 1.

Diagrama típico para el estudio del concreto reforzado con fibras.

De acuerdo a análisis previos, Meza y Siddique [13] indican que el concreto reforzado con fibras tiene un comportamiento lineal en su etapa inicial hasta alcanzar su carga máxima, después tendrá una caída drástica de su resistencia debido al agrietamiento del concreto; la reducción de capacidad dependerá del grado de refuerzo que pueda tener el concreto, atribuido a las fibras, es decir, a mejor desempeño de las fibras como refuerzo, la ductilidad y los rangos de cargas serán mayores.

### Cálculo de la relación de resistencia residual equivalente

La Sociedad Japonesa de Ingenieros Civiles (JSCE) establece un método estándar para analizar la respuesta a flexión del concreto reforzado con fibras. De acuerdo con este método, la rigidez del concreto se calcula mediante el área bajo la curva del diagrama carga-deformación. El aumento de la resistencia residual, también llamado resistencia post-agrietamiento, se expresa mediante dos valores, la resistencia residual ( $f_{e,3}$ ) y la relación de resistencia residual equivalente ( $R_{e,3}$ ); estos valores provienen de un ensayo de flexión por tres puntos [16,17]. La Figura 2 muestra las condiciones del ensayo de flexión, utilizado para los experimentos realizados. Las ecuaciones 1 y 2 muestran las relaciones utilizadas para calcular  $f_{e,3}$  y  $R_{e,3}$ .

$$f_{e,3} = \frac{LP_{e,3}}{bh^2}$$

$$R_{e,3} = \frac{f_{e,3}}{P_{Max}} * 100$$

Donde:

$f_{\sigma 3}$  : resistencia residual

$R_{\sigma 3}$  : relación de resistencia residual equivalente

$L$  : longitud de la muestra

$P_{\sigma 3}$  : carga equivalente residual

$P_{Max}$  : carga máxima

$b$  : ancho de la muestra

$h$  : altura de la muestra

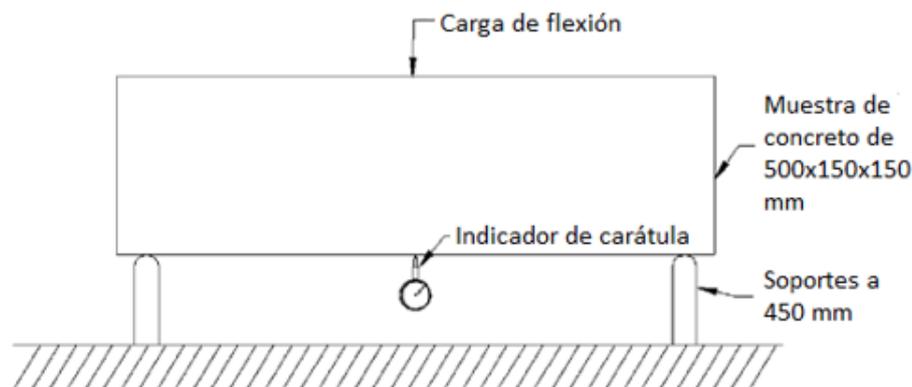


FIGURA 2.  
Generalidades de ensayo de tres puntos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Cemento Portland del tipo I, acorde a la clasificación del ASTM, además de arena natural, grava de 20 mm y grava de 40 mm fueron usados para la generación de 7 especímenes de concreto. El diseño del concreto fue de 40 MPa a 20 días, con una relación agua/cemento de 0.6; la Tabla 1 muestra las proporciones usadas. Todas las probetas tienen la misma dosis de cemento, arena, grava, y agua. La variante en los tipos de muestras fue la fibra en cuanto a dosis y tipo. La nomenclatura utilizada en los diagramas comparativos es la siguiente: CC para muestra de control, RPFRC para muestras con fibras recicladas, PFRC para muestras con fibras comerciales; seguido del contenido de fibras en  $\text{kg}/\text{m}^3$ .

Las fibras recicladas fueron generadas a partir de botellas plásticas producto de desechos urbanos, recolectadas de los residuos en Aguascalientes, México. Las botellas fueron cortadas de sus extremos, quitando la base inferior y el cuello superior, para después producir una hoja plástica de 14.5 mm de ancho, 45 mm de largo y 0.33 mm de grosor. La Figura 3 muestra el procedimiento y el mecanismo utilizado para la generación de las fibras. El mecanismo contiene una serie de navajas (8 elementos) separadas a una distancia de 1.45 mm. Con este proceso de corte se produjeron fibras con dimensiones de 1.45 mm de ancho, 45 mm de largo y 0.33 de grosor, con una relación de aspecto de 58. De acuerdo a estudios previos, la resistencia a tensión de las fibras es de 120 MPa [18, 19].

Para fines comparativos se realizaron muestras de concreto reforzado con fibras comerciales de polipropileno-polietileno, de acuerdo a sus dimensiones se consideran como macro-fibras. Las fibras comerciales son del fabricante *Euclid Chemical*<sup>®</sup> y el tipo es *Tuf-Strand*. Los datos técnicos de las fibras son: relación de aspecto de 74 y una resistencia a tensión de 625 MPa [20]. Las fibras fueron seleccionadas por demostrar una alta capacidad como refuerzo del concreto [21].

TABLA 1.  
Proporción para la mezcla de concreto

Componente	Dosis (kg/m <sup>3</sup> )	Densidad (g/m <sup>3</sup> )
Cemento	308	3.15
Arena	673.4	2.5
Grava de 20 mm	531.2	2.68
Grava de 40mm	648	2.62
Agua	185	1

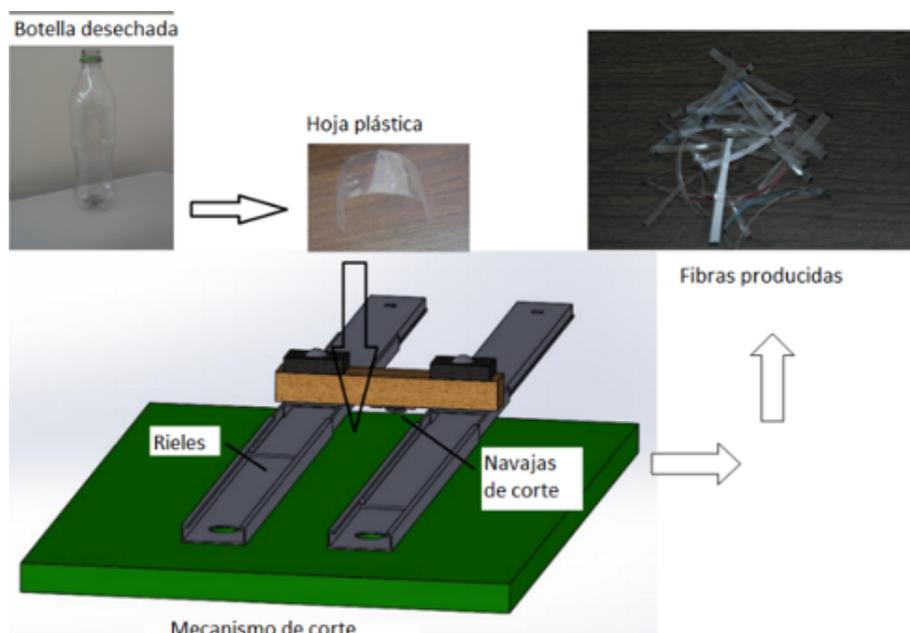


FIGURA 3.  
Procedimiento para generar las fibras recicladas.

### Preparación de las muestras

Los materiales que integran el concreto fueron mezclados en forma manual por 4 minutos, para después dispersar el agua y mezclar otros 5 minutos, con el objetivo de obtener homogeneidad. La mezcla fue vertida en un molde metálico con dimensiones de ancho de 150 mm, alto de 150 mm y largo de 500 mm, las dimensiones cumplen con la norma ASTM C78 [22], después las muestras fueron curadas por 28 días acorde a la norma ASTM C192 [23]. Un total de 14 muestras fueron elaboradas, 6 muestras de concreto reforzado con fibras recicladas, 6 muestras de concreto reforzado con fibras comerciales y 2 muestras de control (sin fibras).

## Ensayo de flexión

Las muestras de concreto fueron ensayadas de acuerdo al arreglo de carga al centro, conforme a la norma ASTM C293 [24], es decir, la muestra de concreto reforzada con fibras fue apoyada en los extremos a una distancia de 450 mm y con una carga al centro de la muestra. Los experimentos se desarrollaron una vez que el concreto adquirió su máxima resistencia (después de 28 días). Para el estudio de las muestras se utilizó una máquina universal con capacidad de 588.6 kN, la velocidad utilizada fue de 0.6 mm/min, mientras que la deflexión transversal se midió con un indicador de carátula de 25.4 mm, localizado en la parte central-inferior de la muestra. La Figura 2 muestra una representación del ensayo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La trabajabilidad del concreto reforzado con fibras recicladas, además del concreto de control y con fibras comerciales fue evaluada de acuerdo con el ASTM C143 [25]. La Figura 4 muestra los resultados promedios y los valores límites. Los datos muestran que la incorporación de fibras recicladas genera una reducción de la trabajabilidad, la cual aumenta con la proporción del contenido de fibras. En forma similar, el concreto con fibras comerciales presentó el mismo fenómeno. Otros estudios también han expuesto que la trabajabilidad del concreto reforzado con fibras se reduce con la incorporación de las mismas [26,27]. En comparación entre el concreto con fibras recicladas y con fibras comerciales, la mezcla con fibras recicladas mostró mejor desempeño, pero sus valores son inferiores al concreto de control. Por otra parte, los resultados muestran una alta variabilidad en la trabajabilidad del concreto, tanto de las muestras de control como las que tienen fibras, efecto relacionado con los cambios en la humedad del medio ambiente el día y hora del ensayo, así como a la heterogeneidad natural que tiene el concreto.

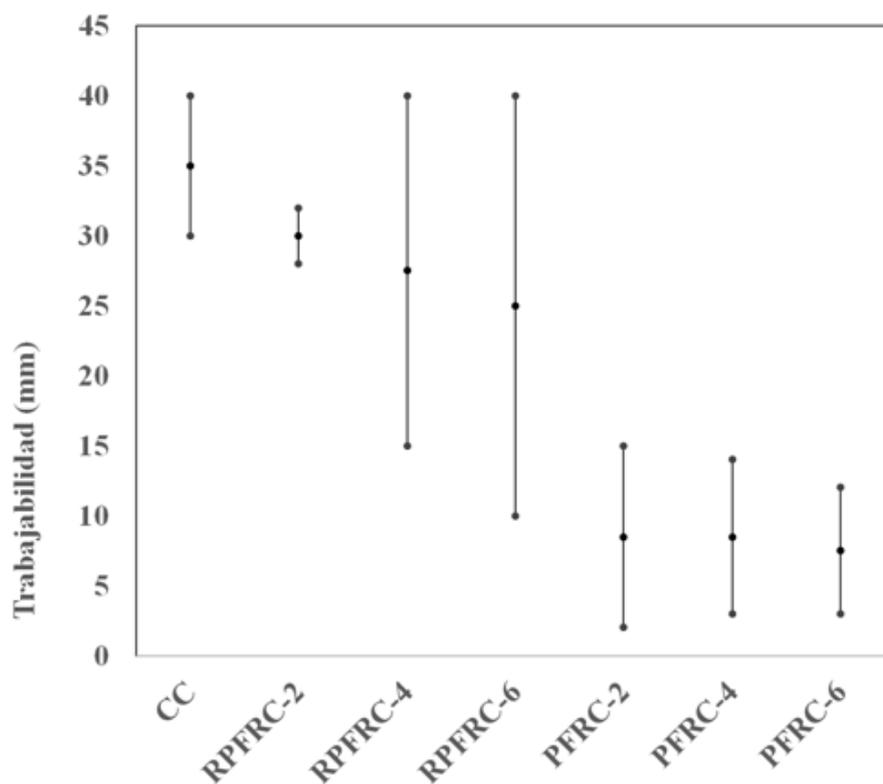


FIGURA 4.  
Resultados de trabajabilidad.

## Carga-deflexión

La Figura 5 muestra la relación carga-deflexión de las muestras de concreto reforzado y de control (correspondientes al promedio de los especímenes ensayados), los resultados están basados en el ensayo de flexión descrito con anterioridad, ver Figura 2. Los resultados muestran que la capacidad de ductilidad del concreto aumenta con el contenido de fibras, ver Figura 5. Aunque, la capacidad del concreto reforzado con fibras comerciales tiene un mayor rango de ductilidad que las que tienen fibras de PET (aproximadamente 22 mm), mientras que las muestras con fibras recicladas tienen una ductilidad que le permite una deflexión de 5, 10, y 17 mm, correspondientes a 2.125, 4.250 y 6.375 kg/m<sup>3</sup>, respectivamente.

La Figura 6 muestra los resultados de la carga máxima ( $P_{Max}$ ), en forma de valor promedio y sus límites; los cuales destacan un aumento en la capacidad  $P_{Max}$  con el incremento de las fibras recicladas, estos datos son mejores que las que tienen fibras comerciales. Por otra parte, la reducción de la capacidad de carga máxima a flexión en las muestras con mayor cantidad de fibras de PET es un fenómeno que ya se ha expuesto [28]. Este efecto ha sido atribuido a la incorporación de aire entre la interface fibra-concreto.

Figuras 7 y 8 muestran los resultados de la resistencia residual del concreto reforzado con fibras recicladas y comerciales –el concreto de control no aparece en los gráficos comparativos, debido a que tiene resistencia residual, por la ausencia de fibras-. Los resultados de la resistencia equivalente a flexión de ( $f_{\sigma 3}$ ) en Figura 7 indican valores similares entre las muestras RPFRC-2 y PFRC-2, su valor es aproximadamente 0.4 MPa. Por otra parte, los datos muestran que las muestras RPFRC-4 y RPFRC-6 tienen una mayor capacidad que aquellas con fibras comerciales, demostrando un mejor comportamiento de las fibras recicladas que las comerciales cuando el concreto fue reforzado en estas dosificaciones.

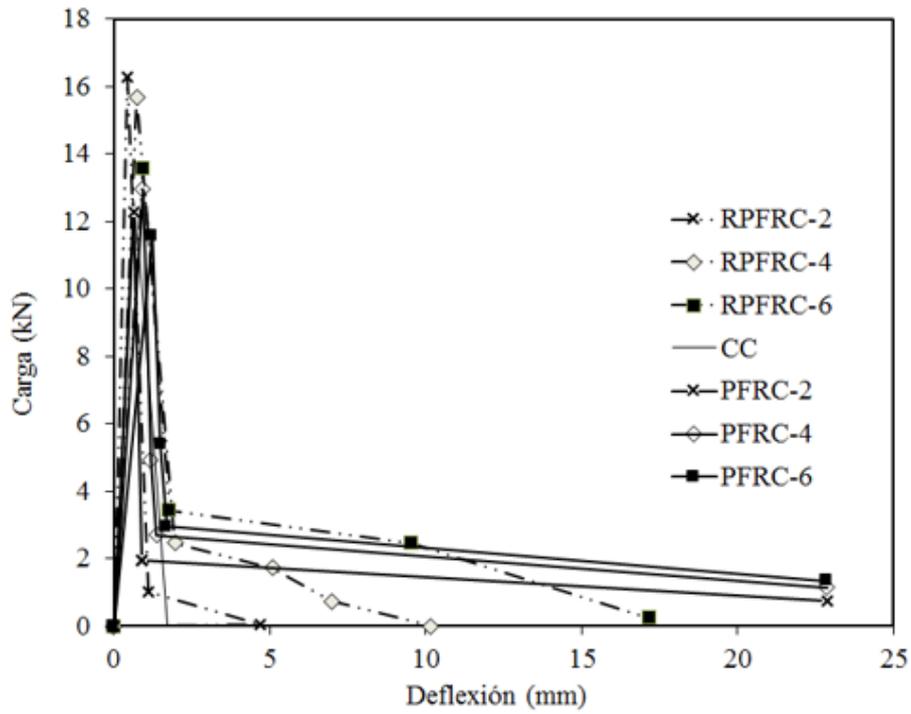


FIGURA 5.  
Gráfico de carga-deflexión en ensayo a flexión.

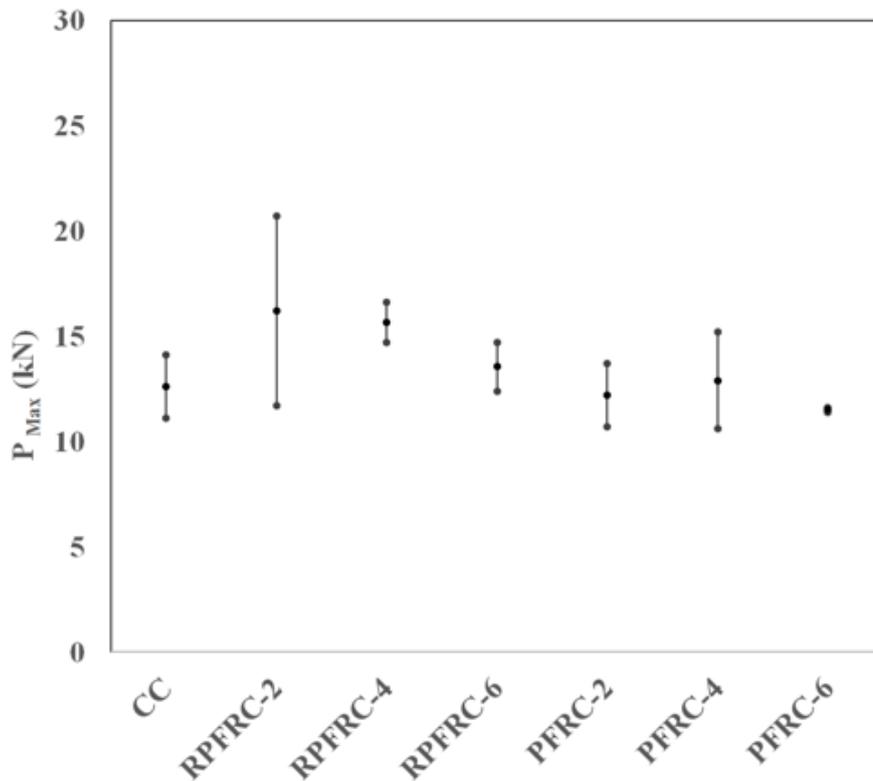


FIGURA 6.  
Carga máxima a flexión.

## Resistencia residual

Los datos en función de la relación de resistencia equivalente a flexión ( $R_{e,3}$ ) en la Figura 8 muestran que el aumento de la dosificación de fibras generó un incremento en su capacidad medida en función de este parámetro. De la misma forma que en la resistencia equivalente a flexión, las muestras RPFRC-6 tiene un  $R_{e,3}$  un mejor desempeño que PFRC-6, denotando una mejor capacidad en esta dosificación de las fibras de PET que las comerciales; sin embargo, la variabilidad en las muestras de concreto reforzado con fibras de PET es mayor. Por otra parte, las demás muestras con dosis de 2 y 4 kg/m<sup>3</sup> demostraron similar comportamiento a las correspondientes con fibras comerciales.

De acuerdo con el *Concrete Society* [25],  $R_{e,3}$  debe ser mayor a 30% para ser considerado como un concreto reforzado, en este caso las muestras RPFRC-2 y PFRC-2 registraron valores menores a 30%, indicando una carencia de fibras para su refuerzo.

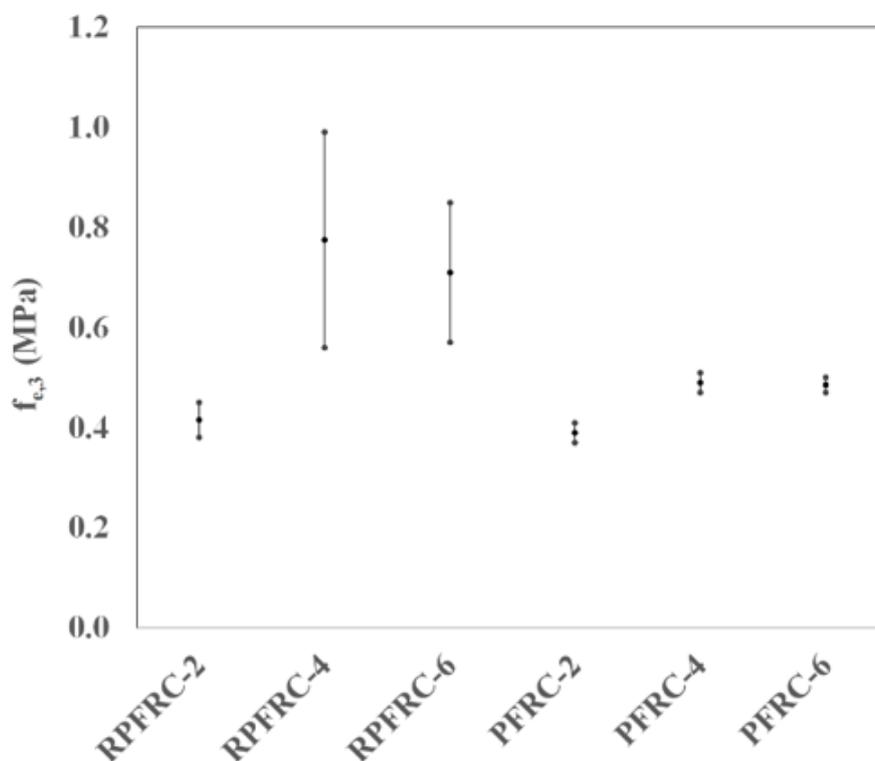


FIGURA 7.  
Resistencia equivalente a flexión.

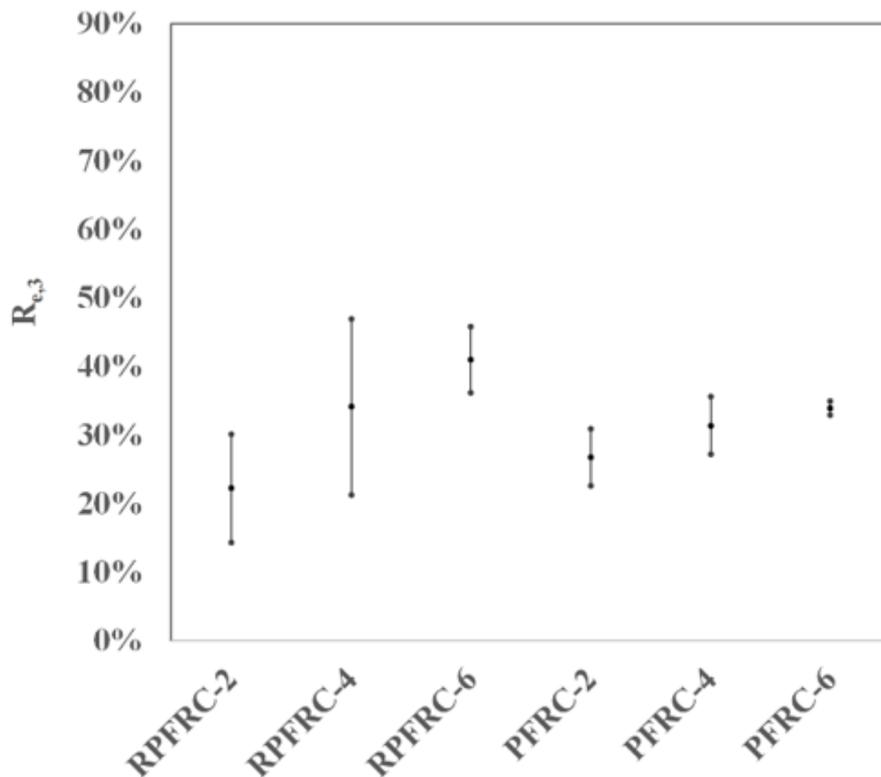


FIGURA 8.  
Relación de resistencia equivalente a flexión.

### Cantidad de fibras

El número de fibras fue contado sobre la superficie de agrietamiento del espécimen de concreto sujeto al ensayo de flexión. En general, se observó que la presencia de fibras tiene una tendencia lógica, es decir, se generó un aumento en muestras con mayor dosis de fibras, aunque su proporción de incremento es no lineal; atribuido al efecto de la distribución aleatoria de fibras dentro del concreto. De la misma forma, se observó que la cantidad de fibras contadas fue mayor en las muestras con fibras comerciales que con respecto a las que tienen fibras recicladas. La Figura 9 indica las fibras encontradas en las muestras de concreto reforzado con fibras comerciales y recicladas.

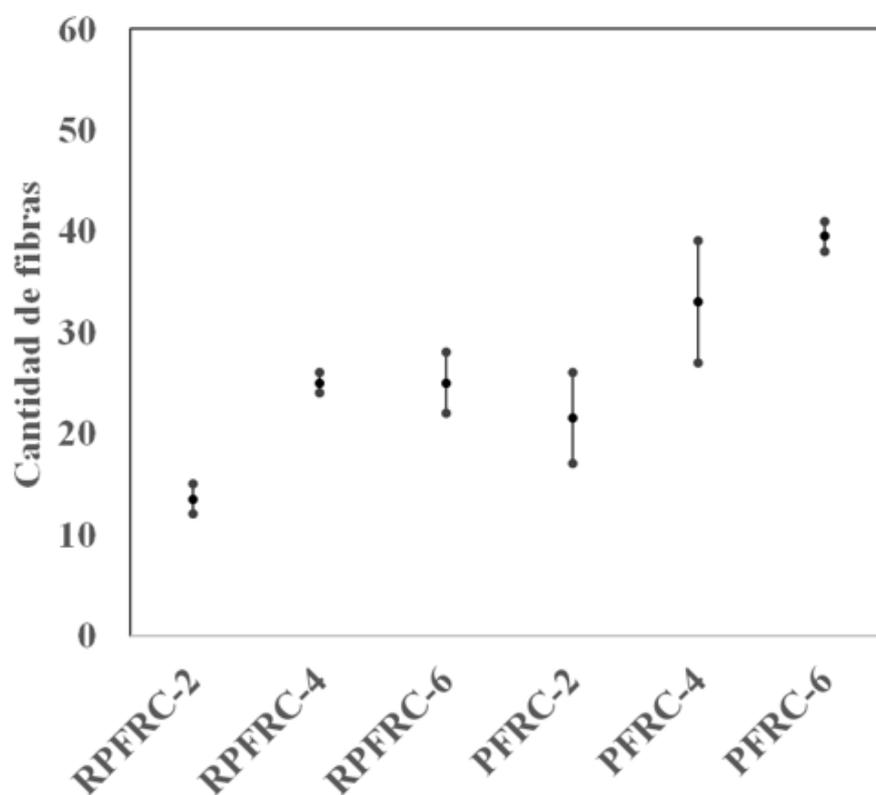


FIGURA 9.

Cantidad de fibras en muestras con fibras comerciales y recicladas.

### Adherencia de las fibras en el concreto

La adherencia de las fibras en el concreto fue medida con un dispositivo para extraer las fibras del concreto. Para el ensayo fueron seleccionadas fibras perpendiculares en la zona de ruptura de las muestras, las cuales fueron sujetadas por medio de una mordaza para después ser estirada y medir su carga máxima que puede soportar la fibra. El proceso de extracción se realizó manualmente, operado por una palanca que mueve un tornillo sinfín, mientras que la fuerza fue medida con un dinamómetro. La Figura 10 muestra el dispositivo utilizado.



FIGURA 10.

Dispositivo para realizar el ensayo de adherencia de las fibras en el concreto.

Los resultados de adherencia de las fibras en el concreto son mostrados en la Figura 11, en la cual se puede observar una mayor capacidad de adherencia del concreto reforzado con fibras comerciales que la capacidad de las fibras recicladas.

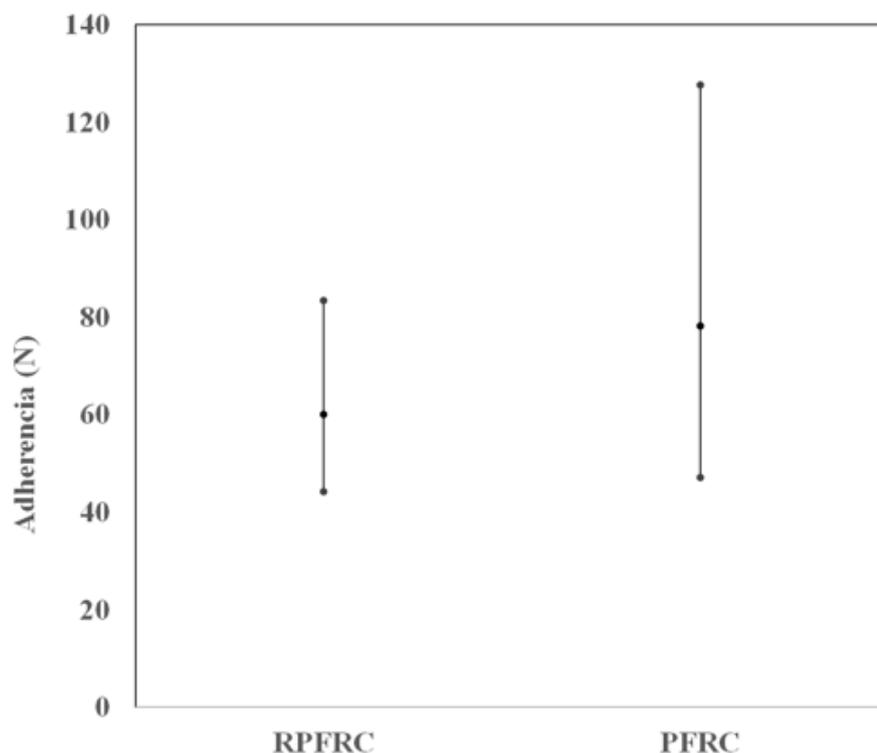


FIGURA 11.  
Resultados de adherencia de las fibras en el concreto.

## CONCLUSIÓN

El presente estudio propone el uso de materiales reciclados como elementos de refuerzo del concreto, para el impulso de la energía verde. La campaña experimental consideró un análisis comparativo de las propiedades del concreto reforzado con fibras recicladas de PET, con fibras vírgenes, y sin refuerzo; discutiendo sus propiedades a flexión en términos de esfuerzo, resistencia residual y adherencia. Las conclusiones obtenidas son las siguientes:

1.- El ensayo a flexión se basó en la norma ASTM; mientras que el análisis post-agrietamiento fue valorado de acuerdo a norma JSCE. Los resultados indican que el concreto reforzado con fibras de PET tiene una menor capacidad de carga máxima que las muestras de control. Sin embargo, las fibras añadieron ductilidad y capacidad de soportar carga post-agrietamiento. Esta resistencia es similar a las observadas en muestras de concreto reforzado con fibras comerciales.

2.- La cantidad de fibras en el concreto reforzado con fibras recicladas y vírgenes tiene relación con la capacidad de resistencia residual y trabajabilidad del concreto. En general, la resistencia residual aumentó con la cantidad de fibras contadas en la zona de ruptura; mientras que la trabajabilidad se redujo.

3.- El ensayo de adherencia de las fibras en el concreto indica una mayor capacidad de las fibras vírgenes que las recicladas. Efecto que permite una futura investigación, mediante un cambio de dimensiones y geometría de las fibras.

4.- Las muestras con bajo contenido de fibras mostraron una resistencia residual  $R_{e,3}$  menor al 30%, de acuerdo con el *Concrete Society*, este valor es no adecuado para considerarlo suficiente refuerzo. Este hallazgo permite establecer la dosis mínima que debe emplearse como refuerzo.

El estudio hace énfasis en el uso de las fibras recicladas de PET como una gran oportunidad para reforzar el concreto. El reciclado del plástico es importante para aportar hacia una reducción en los niveles de contaminación, resaltando las altas cantidades de plástico desechado en el mundo.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Tecnológico Nacional de México/I.T. Aguascalientes, por su apoyo en la Investigación. De la misma forma se agradece a los alumnos de la carrera de Ingeniería Mecánica y Materiales por su participación en este proyecto.

## REFERENCIAS

- 1 Albertsson A.C. and Huang S.J. (1995) Degradable polymers, recycling and plastics waste management. Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, University of Connecticut, Storrs, Connecticut, Marcel Dekker, July 1995. ISBN: 9780824796686.
- 2 Thompson R.C., Moore C.J., Vom Saal F.S., et al. Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences*, volume 364 (issue 1526), July, 2009. Doi: 10.1098/rstb.2009.0053.
- 3 Guern C.L. Plastic Pollution [on line] [Access: June 5, 2020]. Available on: <http://plasticpollution.org>.
- 4 Fernandez M.E., Paya J., Borrachero M.V., et al. Degradation Process of Postconsumer Waste Bottle Fibers Used in Portland Cement-Based Composites. *Journal of Materials in Civil Engineering*, volume 29 (issue 10), October, 2017. Doi: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002007.
- 5 Galloway T. Plastic bottles and moral codes. *Marine Pollution Bulletin*, volume 56 (issue 2), February, 2008. Doi: 10.1016/j.marpolbul.2007.11.012.
- 6 Ahmadinia E., Zargar M., Karim M.R., et al. Using waste plastic bottles as additive for stone mastic asphalt. *Materials & design*, volume 32 (issue 10), December, 2011. Doi: 10.1016/j.matdes.2011.06.016.
- 7 Ochi T., Okubo S. and Fukui K. Development of recycled PET fiber and its application as concrete-reinforcing fiber. *Cement & Concrete Composites*, volume 29 (issue 6), July, 2007. Doi: 10.1016/j.cemconcomp.2007.02.002.
- 8 Dutta S., Nadaf M.B., and Mandal J. N. An Overview on the Use of Waste Plastic Bottles and Fly Ash in Civil Engineering Applications. *Procedia Environmental Sciences, International Conference on Solid Waste Management, Mumbai, India*. Doi: 10.1016/j.proenv.2016.07.067.
- 9 Orset C., Barret N. and Lemaire A. How consumers of plastic water bottles are responding to environmental policies?. *Waste Management*, volume 61, March, 2017. Doi: 10.1016/j.wasman.2016.12.034
- 10 Hannawi K., Prince W., Bernard S.K. Strain Capacity and Cracking Resistance Improvement in Mortars by Adding Plastic Particles. *Journal of Materials in Civil Engineering*, volume 25 (issue 11), November, 2013. Doi: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000707.
- 11 Rebeiz K.S., Serhal S.P. and Fowler D.W. Structural behavior of polymer concrete beams using recycled plastic. *Journal of Materials in Civil Engineering*, volume 10 (issue 1), February, 1994. Doi: 10.1061/(ASCE)0899-1561(1994)6:1(150).
- 12 Modarres A. and Hamed H. Effect of waste plastic bottles on the stiffness and fatigue properties of modified asphalt mixes. *Materials & Design*, volume 6, September, 2014. Doi: 10.1016/j.matdes.2014.04.046.
- 13 Meza, A., Siddique, S., 2019. Effect of aspect ratio and dosage on the flexural response of FRC with recycled fiber. *Constr. Build. Mater.* 213, 286–291. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.04.081>
- 14 Yin S., Tuladhar R., Riella J., et al. Comparative evaluation of virgin and recycled polypropylene fibre reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, volume 114, July, 2016. Doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.03.162.

- 15 Borg R.P., Baldacchino O., and Ferrara L. Early age performance and mechanical characteristics of recycled PET fibre reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, volume 108, April, 2016. Doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.01.029.
- 16 Altoubat S.A., Roesler J.R., Lange D.A. et al. Rieder-Klaus A. Simplified method for concrete pavement design with discrete structural fibers. *Construction and Building Materials*, volume 22 (issue 3), March, 2008. Doi: 10.1016/j.conbuildmat.2006.08.008.
- 17 Soutsos M.N. and Lampropoulos A.P. Flexural performance of fibre reinforced concrete made with steel and synthetic fibres. *Construction and Building Materials*, volume 36, November, 2012. Doi: 10.1016/j.conbuildmat.2012.06.042.
- 18 Meza A., Moreno R., Beltrán C.A., et al. Mechanical behavior of urban plastic with tensional load. *Conciencia tecnológica*, volume 54, November, 2017. Available on: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94454631003>
- 19 Meza A., Ahmed F.U. Anisotropy and bond behaviour of recycled Polyethylene terephthalate (PET) fibre as concrete reinforcement. *Construction and Building Materials*, 265 (2020), 120331. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120331>
- 20 Euclid chemical. Technical sheet [on line] [Access: June 14, 2020]. Available on: <https://www.euclidchemical.com>.
- 21 Meza A., Ortiz J.A., Peralta L., et al. Experimental mechanical characterization of steel and polypropylene fiber reinforced concrete. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, volume 37 (issue 2), November, 2014.
- 22 ASTM C78, (2000). Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading), West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.
- 23 ASTM C-192. Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory, Annual Book of ASTM Standards, West Conshohocken, PA, United States, 2000.
- 24 ASTM C293/C293M. Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam With Center-Point Loading). West Conshohocken, PA: ASTM International, 2016.
- 25 ASTM C143. Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete. West Conshohocken, PA, United States, 2000.
- 26 Concrete Society. Concrete industrial ground floors – a guide to design and construction. 3rd ed., Technical Report 34, 2003.
- 27 Ding Y., Zhang F., Torgal F., et al. Shear behaviour of steel fibre reinforced self-consolidating concrete beams based on the modified compression field theory. *Composite Structures*, volume 94 (issue 8), July, 2012: Doi: 10.1016/j.compstruct.2012.02.025.
- 28 Meza A., Pujadas P., Meza L.M, et al. Mechanical Optimization of Concrete with Recycled PET Fibres Based on a Statistical-Experimental Study. *Materials*, 14, 240, 2021. <https://doi.org/10.3390/ma14020240>