

FIBRAS DE PLÁSTICO PRODUCTO DE RESIDUOS URBANOS, ¿ALTERNATIVA PARA REFORZAR EL CONCRETO?

Alejandro Meza de Luna¹

Resumen

La aplicación de concretos reforzados con fibras se ha incrementado en diferentes sectores constructivos, principalmente en países europeos. Su estudio estructural, con base en pruebas experimentales de compresión y flexión, ha demostrado que el concreto tiene una alta resistencia a la compresión, pero una baja respuesta cuando es sometido a flexión; debido a las fuerzas de tensión que se presentan, provocando el agrietamiento del concreto. En este contexto, el uso de fibras como refuerzo se presenta como una solución a este problema. Sin embargo, es importante considerar que el costo del uso de estos elementos de refuerzo es elevado. Por ello, es necesario el uso de materiales que permitan reducir en forma significativa sus costos, y que sean sustentables fortaleciendo la calidad del medio ambiente. De acuerdo a lo investigado, la generación de fibras a partir de envases plásticos, producto del desecho urbano, se perfila como una alternativa para mejorar el desempeño mecánico del concreto reforzado con fibras, fomentando la reducción de la contaminación y el nivel de relleno urbano; este tipo de proyectos impulsan el desarrollo de la denominada tecnología verde o tecnología sustentable.

Palabras claves: *concreto, fibras, desechos urbanos, reciclado, tecnología sustentable.*

1 TecNM Instituto Tecnológico de Aguascalientes, Departamento de Ingeniería Mecánica. alejandro.meza@mail.ita.mx

Abstract

The application of fiber reinforced concrete has increased in different construction sectors, mainly in European countries. Their structural study, based on compressive and flexural experimental tests, has shown that the concrete has a high compressive strength, but low flexural response. The study of cracking concrete occurs when there are forces that exceed their tensile concrete strength. In this context, the use of fibers as reinforcement is presented as a solution to this problem. However, it is important to consider the cost, in general the composite materials are costly. Therefore, it is important to use materials that significantly reduce their cost, and that they can be sustainable strengthening the quality of the environment. According to the research, the generation of fibers from plastic bottle, product of urban waste, is outlined as an alternative to improve the mechanical performance of fiber reinforced concrete, reducing the pollution and the level of urban landfill; this projects drive the development of the green technology or sustainable technology.

Keywords: *concrete, fibers, urban waste, recycled, sustainable technology.*

Introducción

El reciclaje se define como la operación que permite una recuperación, transformación y elaboración de un material a partir de residuos, ya sea que se utilice una pieza en forma total o parcial (Castells, 2012). Su finalidad es aprovechar los recursos materiales de los residuos con un fin útil, de tal manera que se puedan convertir en materia prima (Cabildo *et al.*, 2010); además el proceso de reciclar ayuda a mejorar la economía, y el desarrollo sostenible, así como reduce la contaminación y el volumen de residuos municipales (Pardavé, 2007; Gutiérrez y Cánovas, 2009).

Una de las mayores preocupaciones a nivel mundial, es el manejo de desechos sólidos urbanos, debido a la reducción de espacio para el relleno sanitario (Siddique, 2008). Los factores que más han afectado son la industrialización, la economía y el incremento de la población (Arabani 2016; Mansour, 2015; Dutta, 2016; Mastali, 2017). Otro de los problemas es que de la cantidad de residuos que se generan en forma cotidiana a nivel mundial, la sociedad tiene una baja percepción; pero existe una tendencia poblacional de estar a favor de una ciudad limpia y con menos contaminación (Alvarez, 2013).

Por otra parte, el desarrollo de los materiales compuestos (composites) se basa en una combinación de elementos, presentando heterogeneidad, anisotropía y alto costo; pero mejorando el comportamiento

mecánico y químico, reduciendo peso (Miravete, 1997). Un ejemplo de un material compuesto, es el concreto reforzado con fibras poliméricas industriales, el que ha comprobado que mejora su comportamiento (Meza, 2015). Su principal desventaja es costo de las fibras plásticas industriales, su efecto ha mermado su aplicación. El objetivo de este estudio es analizar los avances que se tienen en los materiales plásticos provenientes de residuos urbanos para reforzar las propiedades mecánicas del concreto, con la finalidad de percibir su viabilidad para ser substituidos por fibras poliméricas comerciales.

Desechos urbanos en el mundo

El plástico es un material que ha incrementado su aplicación en diferentes sectores. Posee baja densidad y resistencia comparada con su peso. En el mundo su uso se ha incrementado de 5 millones de toneladas en los 1950's a 100 millones de toneladas en el 2001 (Siddique, 2008).

En Europa, en el año 2012, se ha reportado una producción de plástico de 288 millones de toneladas (Borg, 2016; Gu, 2016). En India se tienen registros de 18.9 millones de toneladas en el año 2015 (Dutta, 2016); mientras que en Estados Unidos, se usaron 31.75 millones de toneladas (Gu, 2016); por su parte, en el Reino Unido en el año 2001, se reportó el empleo de 4.7 millones de toneladas de plástico (Siddique, 2008).

Las toneladas de plástico producido, una vez utilizado, son destinados al relleno sanitario, incineración y contaminación en los océanos. En el 2003, se estimó que el 80% del material se ubicó en el relleno sanitario, mientras que el 8% fue incinerado y sólo el 7% reciclado (Siddique, 2008). En México, el desecho de basura con materiales plásticos, supera valores de 800 mil toneladas anuales, del cual sólo el 15% se recicla (TV Zac S.A de C.V).

El concreto reforzado con fibras comerciales

Se sabe que el concreto tiene una alta resistencia a compresión, pero baja resistencia a la tensión. La falla del concreto se debe principalmente a este efecto, provocando la aparición de grietas aleatorias, las cuales deben ser controladas con técnicas como el refuerzo por varillas y/o fibras de diferentes materiales (Alcocer, 2006).

Las fibras no son un material nuevo o reciente. Su uso data desde hace 4000 años (Blanco, 2008). La aparición de nuevas fibras es debida a Chardonnet, quien a finales del siglo XIX inventó la seda artificial. Sin embargo, fue a partir de 1935 –con la producción de la primera fibra de nylon–, cuando surge una nueva etapa en el uso de fibras. Durante esos

años existió un gran interés por el desarrollo de fibras sintéticas que trataron de imitar a las fibras naturales y cuya aplicación principal es la fabricación de tejidos. Las fibras sintéticas han tenido una aplicación en el sector de la construcción más tardía que las fibras metálicas (Fernández, 2003).

Las formas más comunes en las que se producen las fibras comerciales son: rectilíneas, con ganchos, rizadas, irregulares y dentadas. Sus secciones transversales son: redondas, rectangulares e irregulares (Núñez, 2011). Además son caracterizadas por sus propiedades y geometría, donde incluye la longitud, diámetro equivalente, relación de aspecto y forma (CNR, 2006).

En la investigación de Pujadas (2008), sobre el uso de las fibras de polipropileno como refuerzo en el concreto, observa que las fibras poliméricas se empezaron a utilizar para reforzar el concreto en la primera mitad de los años 60. También indica que “los polímeros usados en ingeniería se basan en los hidrocarburos, que son moléculas formadas fundamentalmente a partir de átomos de hidrógeno y carbono, dispuestas en distintas formas estructurales” (p. 12). Asimismo menciona que estas fibras tienen alta resistencia a la corrosión, pero bajo punto de fusión (Pujadas, 2008).

El *American Concrete Institute* (ACI), clasifica las fibras poliméricas en micro-fibras y macro-fibras. Las primeras, se emplean en general para reducir el agrietamiento por retención plástica del concreto, especialmente en pavimentos, pero no asumen funciones estructurales. Además, son normalmente usadas en el rango de 0.44 a 1.8 kg/m³ y pueden incrementar la resistencia a la fractura de las losas. De la misma forma, las macro-fibras colaboran estructuralmente, reduciendo el agrietamiento y su propagación, usualmente se dosifican de 1.8 a 8.9 kg/m³ y proveen un incremento a la resistencia residual (ACI, 2010).

El estudio de Banthier (1993) postula que la fibra de polipropileno contribuye a la estabilidad del concreto en sus propiedades mecánicas en estado fresco y cuando obtiene su dureza contribuye a la cohesión y resistencia al corte.

En relación a la resistencia a flexión del concreto con fibras, hay una concordancia en que la adición de fibras mejora la resistencia a flexión del concreto y su comportamiento post-agrietamiento; pero hay un gran número de factores que influyen en el comportamiento y resistencia a flexión, como lo son: el tipo de fibra, su longitud, su relación de aspecto, el volumen porcentual de fibras, la orientación y la forma de las fibras, y las características mecánicas de éstas (T.F.H. Research Center, 1994).

En cuanto a la resistencia a compresión del concreto, ésta no se ve afectada de manera significativa por el contenido de fibras, y la falla por compresión se anuncia por la formación de grietas en la dirección de la compresión. Por lo que se ha concluido que la presencia de fibras no varía

el patrón de agrietamiento del concreto; por esta razón la pequeña variación de resistencia a compresión es ignorada (Blanco, 2008).

Ensayos de flexión en especímenes de concreto reforzado con fibras de polipropileno han demostrado su capacidad de soportar cargas después que el concreto se ha agrietado. Datos experimentales han analizado el comportamiento del concreto sin refuerzo (NF), con los del concreto reforzado con fibras plásticas comerciales de diferente compañía proveedora (PFRC 01, PFRC 03, PFRC 04). La figura 1 muestra los resultados de ensayos a flexión basados en la norma ASTM C78 (Meza, 2015).

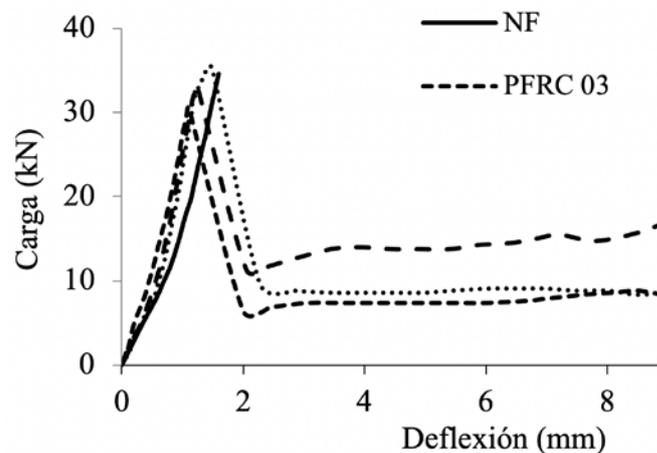


Figura 1. Gráfica carga-deflexión para concretos reforzados con fibras de polipropileno comerciales a 28 días (Meza, 2015).

Los datos provenientes de la campaña experimental demostraron que existen fibras que no generan ningún aporte como refuerzo. Asimismo, se manifestó que las características mecánicas de las fibras de polipropileno pueden ser comparadas con las del acero (Meza, 2015).

¿Por qué no se usan las fibras como refuerzo del concreto?

El concreto puede ser clasificado como: concreto simple, el cual consta de una matriz basada en cemento, arena y grava; el concreto armado, conformado por una mezcla del concreto simple con la incorporación de elementos estructurales de acero, como una solución en el incremento de la resistencia a la tensión; y el concreto reforzado con fibras, que consiste en la incorporación de fibras distribuidas aleatoriamente al concreto simple, como una alternativa en encontrar un material con menor

número de problemas de agrietamientos y alta resistencia a la tensión (Meza, 2015).

En el contexto del concreto reforzado con fibras, es importante considerar su costo, que incluye factores como: elaboración, colocación y mantenimiento, éstos son los grandes problemas con el concreto armado (Douglas, 1999). Por otra parte también se destaca una ventaja significativa en el tiempo de construcción, cuando se usa un concreto reforzado con fibras con respecto a un concreto armado (Barros, 2005).

Nacionalmente, el concreto reforzado con fibras es escasamente aplicado por su costo y desconocimiento. Encuestas realizadas al sector industrial de Aguascalientes mostraron que menos de un 3 % de los pisos de concreto utilizan fibras como refuerzo; asimismo, indicaron que el costo del mantenimiento en los pisos industriales va de 20,000 a los 180,000 pesos anuales, con un valor promedio de 300 pesos por metro cuadrado; las principales reparaciones se deben al agrietamiento (Meza, 2015).

Mundialmente, el concreto reforzado con fibras se ha aplicado en Alemania, se puede citar que el 25% de las losas industriales en el sector de manufactura son de concreto reforzado con fibras (Ackerman, 2008). Otras aplicaciones a nivel mundial son en tiendas de autoservicios, puentes, túneles y cubiertas de museos.

Estudios previos del plástico reciclado en el concreto

El reciclado de materiales provenientes de residuos urbanos ha sido un elemento central de diferentes investigaciones. Aunque sus avances han sido esporádicos como lo indica Yin (2016). Se pueden citar los trabajos de Choi *et al.* (2005), quien experimentó con agregados provenientes de botellas de plástico; sus resultados indican que la densidad de la matriz de concreto decrece con el incremento del material. Por otra parte, Soroushian *et al.* (2003) reporta una reducción del contenido de aire, de revenimiento y de resistencia a la compresión en el concreto cuando se usa plástico reciclado con respecto a un concreto reforzado con fibras de polipropileno comerciales. Mientras que Al-Manaseer & Dalal (1997) en sus experimentos concluye que el módulo de elasticidad y la resistencia a la fractura decrece con el aumento de agregados plásticos. En contraparte, Siddique (2008) puntualiza la viabilidad de utilizar plástico de desecho urbano para ser utilizado como agregado.

En otra alternativa del empleo de plástico reciclado, Foti (2013) utilizó cortes de botellas plásticas, con forma circular y con media sección longitudinal, sus resultados indican un aumento en la ductilidad del concreto y una buena adherencia entre los materiales.

Propuesta de aplicación de las botellas de plástico producto de residuos urbanos

De acuerdo con la información recopilada, se tiene la hipótesis de que fibras provenientes de botellas plásticas son viables para reforzar el concreto. Estudios previos han permitido evidenciar sus ventajas mecánicas; Meza y Ahmed (2020) demuestran que existe una buena adherencia entre el concreto y el PET reciclado. Meza y Siddique (2019) indican que la capacidad mecánica del concreto a flexión se incrementa con la adición de fibras recicladas de PET al concreto. En base a estas investigaciones, la adición de fibras recicladas de PET luce como una alternativa para generar ductilidad al concreto y mejorar sus propiedades mecánicas. La Figura 2 muestra uno de estos dispositivos empleados para la producción de fibras recicladas de PET a partir de botellas.

Por otra parte, es importante denotar que el costo de las fibras poliméricas de venta al público general oscila en 300 pesos el kilogramo. Este aspecto puede ser una oportunidad de desarrollo para la implementación de las fibras recicladas, reduciendo costo y fomentando el desarrollo de la Ingeniería Verde.



Figura 2. Dispositivo para la extracción de fibras plásticas recicladas, proveniente de botellas.

Conclusiones

En el presente trabajo se muestran las generalidades que caracterizan el proceso de reciclado, enfocado al plástico proveniente de botellas, indicando su consumo a nivel mundial y las tendencias del destino de estos materiales. También se demuestra que se han tenido avances donde se reconoce que las fibras de polipropileno son capaces de tener una buena adherencia con el concreto.

Se ha demostrado que el concreto reforzado con fibras comerciales de polipropileno es viable. Se destaca que la principal limitación de su uso es el costo.

En la actualidad, se tienen escasos avances del concreto reforzado con fibras plásticas recicladas. Las principales aplicaciones que se le ha dado a los plásticos reciclados son como agregados y materiales de refuerzo. Los resultados han indicado una reducción en su densidad y un aumento en la ductilidad.

La producción mundial del plástico se ha incrementado en forma exponencial en los últimos años, su principal problema es el tiempo que tarda en descomponerse, por lo que su destino final es el relleno sanitario. Si se demuestra su resistencia mecánica en el concreto, reduciría su costo en forma significativa comparada con la de un concreto reforzado con fibras de polipropileno comercial. Esto fortalecería su uso y la reducción de la contaminación.

Agradecimientos

Se extiende un agradecimiento al TecNM/Instituto Tecnológico de Aguascalientes, por el financiamiento del proyecto de investigación “Fibras de plástico producto de residuos urbanos para reforzar el concreto”, en la convocatoria de fomento a la investigación 2017, así como a los alumnos de la carrera de Ingeniería Mecánica y Diseño mecánico, por su activa participación.

Bibliografía

- ACI (2010). “Guide to Design of Slabs on Ground”, ACI 360R-10. Reported by Committee 360. Detroit, MI: American Concrete Institute.
- Alcocer Martínez, S. (2006). “Pisos de concreto sin grietas ¿cómo?”. *Materiales*, proyecto 6.1.
- Al-Manaseer A.A. & Dalal, T.R., (1997). “Concrete containing plastic aggregates. *Concrete International*”, vol. 19, pp. 47-52.

- Alvarez C.; (2013). "Tesis de grado reciclaje y su aporte en la educación ambiental", Universidad Rafael Landívar, Guatemala.
- Arabani, M. and Pedram, M., (2016). "Laboratory investigation of rutting and fatigue in glassphalt containing waste plastic bottle". *Construction and Building Materials*, vol. 116, pp. 378-383.
- Banthier, N.; Trottier, J.-F.; Beaupre, D.; and Wood, D., (1993). "Steel Fiber Reinforced Shotcrete: Influence of Fiber Geometry," Third Canadian Symposium on Cement and Concrete, Ottawa.
- Barros, J.A.O., Ventura A., Sena J.M., Antunes J.A.B., Azevedo A.F.M., (2005). *Design methods for steel fiber reinforced concrete industrial floors*. University of Minho, Portugal.
- Blanco Alvarez, Ana. (2008). "Durabilidad del hormigón con fibras de acero", Universidad Politécnica de Cataluña, España, tesis doctoral.
- Borg, R. P.; Baldacchino, O.; Ferrara, L., (2016). "Early age performance and mechanical characteristics of recycled PET fibre reinforced concrete". *Construction and Building Materials*, vol. 108, pp. 29-47.
- Cabildo, M. *et al*; (2010). *Reciclado y tratamiento de residuos*. Universidad Nacional de Educación a Distancia, España.
- Castells, E.; (2012). *Clasificación y gestión de residuos*. Colección Monografías. Editorial Díaz de Santos, España.
- Choi, Y.W.; Moon, D.J.; Chumg, J.S.; Cho, S.K., (2005). "Effects of waste PET bottles aggregate on the properties of concrete". *Cement and Concrete Research*, vol. 35, pp. 776-781.
- CNR, (2006), "Consiglio nazionale del lericerche, commissione di studio per la predisposizione el analisi di norme tecniche relative all ecos-truzioni", CNR.
- Douglas, James, (1999). "The development of ground floor constructions", *Structural Survey*, vol. 17, núm. 4, pp. 216-220.
- Dutta, S.; Nadaf, M. B.; Mandal, J.N., (2016). "An overview on the use of waste plastic bottles and fly ash in civil engineering applications". *Procedia Enviromental Sciences*, vol. 35, pp. 681-691.
- Fernández Cánovas, M. (2003). "Hormigones con fibras: tecnología y propiedades generales". *Hormigón y Acero*, núm. 228-229, 2º y 3er trimestre, pp. 167-176.
- Foti, D., (2013). "Use of recycled waste pet bottles fibers for the reinforcement of concrete". *Composite Structures*, vol. 96, pp. 396-404.
- Gu, L. and Ozbakkaloglu, T., (2016). "Use of recycled plastic in concrete: a critical review". *Waste Management*, vol. 51, pp. 19-42.
- Gutiérrez C. y Cánovas C.; (2009). *La actuación frente al cambio climático*. Universidad de Murcia, Edit. Um, España.
- Mansour, A.; Mansour, H.; Ali, S., (2015). "Reusing waste plastic bottles as an alternative sustainable building materials". *Energy for Sustainable Development*, vol. 24, pp. 79-85.

- Mastali, M.; Dalvand, A.; Sattarifard, A., (2017). "The impact resistance and mechanical properties of the reinforced self-compacting concrete incorporating recycled CFRP fiber with different lengths and dosages". *Composites Part B*, vol. 112, pp. 74-92.
- Meza A, Ortiz J.A., Peralta L, Pacheco J, Soto J.J., Rangel S., Padilla R., Alvarado J. (2014). "Estudio experimental de caracterización mecánica del concreto reforzado con fibras de acero y polipropileno". *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, vol. 37, núm. 2, pp. 106-115.
- Meza, A., Ahmed, F.U., 2020. Anisotropy and bond behaviour of recycled Polyethylene terephthalate (PET) fibre as concrete reinforcement. *Construction and Building Materials*, 265, 120331. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120331>
- Meza, A., Siddique, S., 2019. Effect of aspect ratio and dosage on the flexural response of FRC with recycled fiber. *Construction and Building Materials*, 213, pp. 286–291. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.04.081>
- Miravete, A. (1997). "Composite materials in building: Introduction". *Materiales de construcción*, vol. 47, núm. 247-248.
- Pardavé, W.; (2007). *Estrategias ambientales de las 3R a las 10R*. Colección Textos Universitarios, CEP, Colombia.
- Pujadas Alvarez, Pablo, (2008). *Durabilidad del hormigón con fibras de polipropileno*. UPC, tesis doctoral.
- Siddique, R.; Khatib, J.; Kaur, I., (2008). "Use of recycled plastic in concrete: A review". *Waste Material*, vol. 28, pp. 1835-1852.
- Soroushian, P.; Plasencia, J.; Ravanbakhsh, S., (2003). "Assessment of reinforcing effects of recycled plastic and paper in concrete". *ACI Materials Journal*, vol. 100, pp. 203–207.
- Yin, S.; Tuladhar, R.; Riella, J.; Chung, D.; Collister, T.; Combe, M.; Sivakungan, N., (2016). "Comparative evaluation of virgin and recycled polypropylene fibre reinforced concrete". *Construction and Building Materials*, vol. 114, pp. 134-141.