

EFFECTO DEL RECICLADO DE LAS FIBRAS DE LAS BOTELLAS PET EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO NORMAL

EFFECT OF RECYCLING FIBERS FROM PET BOTTLES ON NORMAL CONCRETE STRENGTH

Darwin Quenta Flores¹

¹Universidad Nacional del Altiplano, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Av. Sesquicentenario N° 1154 Ciudad Universitaria, Puno, Perú, darqfic07@gmail.com

RESUMEN

Hoy en día enfrentamos un problema sobre la protección ambiental, el estilo de vida moderno junto con las nuevas tecnologías causó más producciones de materiales de desecho para los cuales existe el problema de eliminación. Uno de ellos son las botellas PET que debe desecharse o reciclarse adecuadamente para mantener limpia el medio ambiente, ya que se clasifican como materiales no biodegradables. Para abordar este problema, se realizó un estudio experimental del efecto del reciclado de las fibras de botella PET en la resistencia del concreto normal, fibras obtenidas mediante un reciclado mecánico. Se elaboró una serie de mezclas de concreto con adición de fibras PET de 0 % a 8 % estimada respecto al peso del cemento. Los concretos resultantes se compararon con el concreto normal (0 % de PET). Se analizó la resistencia a la compresión y resistencia a la flexión del concreto respectivamente. Los resultados indican que para concreto con 2 % de PET alcanza su máxima resistencia a la compresión logrando un incremento de 2,6 % y el concreto con 4 % de PET disminuye en 6,3 %, no obstante, alcanza una resistencia superior a 210 kg/cm². La resistencia a la flexión para concreto con 4 % de fibras de PET aumenta a 24 %. Por lo tanto, hasta 4 % de fibras de PET es posible adicionar para lograr una resistencia adecuada del concreto, método muy útil para resolver algunos problemas de desechos de PET en el medio ambiente.

Palabras Clave: Fibras de las botellas PET, medio ambiente, reciclado, resistencia a la compresión, resistencia a la flexión.

ABSTRACT

Now day we a problem about environmental protection, the modern lifestyle along with the new technologies caused more waste material productions for which the disposal problem exists. One of them is PET bottles that must be disposed of or recycled properly to keep the environment clean, as they are classified as non-biodegradable materials. To address this problem, an experimental study of the effect of recycled PET bottle fibers on the resistance of the normal concrete, fibers obtained by mechanical recycled, was carried out. A series of concrete mixtures was prepared with the addition of PET fibers of 0 % to 8 % estimated with respect to the weight of the cement. The resulting concretes were compared with normal concrete (0 % PET). Were analyzed the compressive strength and flexural strength of concrete respectively. The results indicate that for concrete with 2 % PET it reaches its maximum compressive strength achieving an increase of 2.6 % and the concrete with 4 % PET decreases by 6.3 %, however, it reaches a resistance greater than 210 kg/cm². Flexural strength for concrete with 4 % PET fibers increases to 24 %. Therefore, up to 4 % of PET fibers can be added to achieve adequate a concrete strength, very useful method to solve some problems of PET waste in the environment.

Key Words: Compressive strength, environment, flexural strength, PET bottle fibers, recycled.

*Autor para correspondencia: darqfic07@gmail.com

122

Downloadable from : <http://revistas.unap.edu.pe/riepg>

Av. Floral N° 1153, Ciudad Universitaria, Pabellón de la Escuela de Posgrado, tercer piso oficina de Coordinación de investigación. Teléfono (051) 363543



INTRODUCCIÓN

En las últimas cinco décadas, la producción global de plástico ha aumentado enormemente, lo que ha generado una gran cantidad de residuos relacionados con el plástico (Gholampour & Ozbaakkaloglu 2018). A medida que la población mundial crece, el consumo de plástico aumenta debido a la rápida urbanización y el desarrollo económico (Aldahdooh *et al.* 2018). No obstante, los plásticos no son degradables y, en general, tardan mucho tiempo en descomponerse, posiblemente hasta cientos de años. Además, aumentar su producción también aumenta el espacio de relleno requerido para residuos plásticos, lo que contribuye significativamente a su impacto ambiental (Siddique *et al.* 2008).

Por otra parte, dado el aumento general del consumo de bebidas a nivel mundial y la sustitución de vidrio por el tereftalato de polietileno (PET) en la producción de botellas, existe una creciente preocupación por el destino final de las botellas de PET en todo el mundo (Choi *et al.* 2009). Esta producción industrial masiva de botellas de PET en cantidades grandes ha planteado un gran desafío ambiental, ya que estas botellas se usan una sola vez y se convierten en residuo de plástico, que a su vez es de lenta biodegradación en la naturaleza (Shubbar & Al-Shadeedi 2017). Los principales problemas de este nivel de producción de residuos genera inicialmente almacenamiento y eliminación (Frigione 2010).

Miles de materiales plásticos, particularmente botellas de plástico, son desechados de forma inadecuada cada día, lo que resulta en grandes volúmenes de desechos de plásticos que se acumulan en el ambiente natural, son arrojados a los ríos, enterrados y quemados, liberando contaminantes tóxicos al medio ambiente (Mansour & Ali, 2015). Estos desechos de plásticos están aumentando rápidamente y se están convirtiendo en una carga para muchos países (Bui *et al.* 2018). Estos plásticos, y en particular el PET, tienen la ventaja de ser 100% reciclado (Nováková *et al.* 2017).

Los problemas ambientales relacionados con la gestión son numerosos y diferentes tipos de residuos han llevado a evaluar la posibilidad de su uso como constituyentes en el concreto (Borg *et al.* 2016). En la industria de la construcción, el concreto es el material ampliamente utilizado en todos los países del mundo y es el segundo después del agua como la sustancia más disponible en el planeta tierra (Shubbar & Al-Shadeedi 2017). Durante las últimas dos décadas, los residuos plásticos se han estudiado como componentes de concreto y mortero. Se ha utilizado como agregado, como aglutinante del cemento y sustituir como refuerzo de fibras (Mahdi *et al.* 2010). Usar fibras de PET reciclado en concreto ayuda a mejorar su ductilidad, reduciendo así el agrietamiento debido a la contracción plástica, pero este método solo recicla una pequeña cantidad de residuos de PET (Ge *et al.* 2015).

Kim *et al.* (2010) presenta un método para reciclar botellas de PET desechadas, se utilizan fibras cortadas hechas de PET reciclado dentro del concreto estructural. Pereira De Oliveira & Castro-Gomes (2011) utiliza fibras de botellas de PET reciclada como refuerzo en mortero, fibras obtenidas por corte simple mecánico de las botellas, de la misma manera Foti (2011) descubrió que agregar poca cantidad

de fibras recicladas de botellas PET en concreto armado, puede tener una gran influencia en mejorar las propiedades mecánicas del concreto.

Pelisser *et al.* (2012) adiciona fibras de PET de 0,18 % y 0,3 % respecto al volumen. A los 28 días, la flexión del concreto aumentó a 19,2 % para un concreto con 0,3 % de fibras de PET con respecto al concreto de control. Nibudey (2013) adiciona fibra de PET de 0,5 % a 3 % respecto al peso del cemento. La resistencia máxima a la compresión se incrementó de 420,14 kg/cm² (0 %) a 438,19 kg/cm² (1 %) y luego se redujo a 323,34 kg/cm² (3 %). Las mejoras significativas en las resistencias se observaron con la inclusión de fibras de PET en el concreto. La resistencia óptima se observó al 1% del contenido de fibra, luego se observaron reducciones en la resistencia.

Asimismo, Marthong (2015) plantea el uso de fibras de PET de diferentes geometrías adicionando al concreto en fracciones de 0,5 % y 1,0 % de volumen del concreto. Los resultados en las propiedades de concreto fueron que la resistencia a la compresión mejora para las muestras hechas con fibras más pequeñas en comparación con las fibras más grandes. Sin embargo, al aumentar aún más el contenido de fibra más allá del 0,5 %, se observó una disminución en la resistencia a la compresión. La resistencia a la flexión aumenta en 22,96 % para concreto con 0,5 % de fibras de PET y para 1,0 % de PET empieza a disminuir, viendo que las fibras juegan un papel importante para lograr un concreto viable.

La reutilización de dichos residuos en la industria de la construcción parece ser una ruta viable para contribuir tanto a la prevención de la contaminación ambiental y el diseño de edificios económicos (Yesilata *et al.* 2009). Los materiales a base de mezclas de concreto polímero son relativamente nuevos en el campo de la construcción y tienen una gran importancia, (Albano *et al.* 2009). El concreto que contiene fibras de PET reciclado tiene un menor peso, lo que reduce el riesgo sísmico de un edificio, y puede ayudar en el diseño de edificios resistentes a los terremotos (Akçaözoglu *et al.* 2010). Finalmente Bui *et al.* (2018) manifiesta que una solución para reducir la cantidad de desechos de plásticos de PET es reciclar como fibras en el concreto.

Por lo mencionado, el objetivo de la investigación fue: Determinar la incidencia de las fibras de las botellas PET en la resistencia del concreto.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ámbito o lugar de estudio

La investigación fue realizada de la cantera de Cutimbo, distrito de Pichacani, provincia de Puno, región de Puno, localizada a una altitud de 3917 msnm latitud sur 16° 23'43.5" longitud oeste 60° 50'53.43" ubicado en el km 23 a un costado de la carretera Puno – Moquegua. Cantera que abastece de agregados a la ciudad de Puno y zonas aledañas, para la producción del concreto para

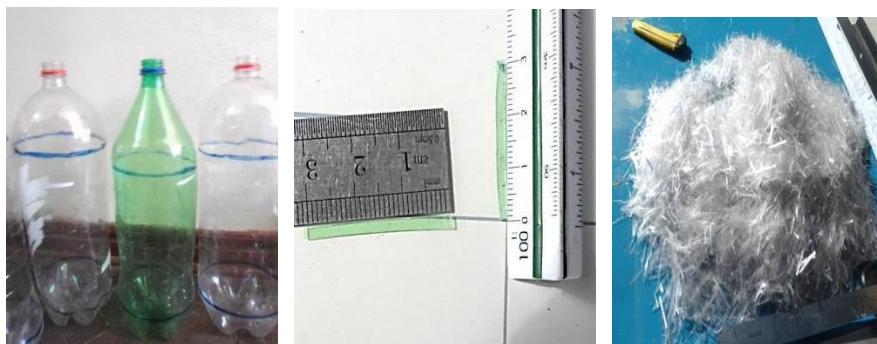
construcciones de viviendas. Las cuales fueron estudiadas en el laboratorio de construcciones de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Nacional del Altiplano.

Descripción de métodos

Determinación de la incidencia de las fibras de las botellas PET en la resistencia del concreto

Se consideró el cemento Portland tipo IP de acuerdo a la norma ASTM C 150 con un peso específico de 2,82 g/cm³. El tamaño máximo del agregado grueso fue de 25 mm, el módulo de fineza del agregado fino es 3,15. Los agregados utilizados cumplían con la norma ASTM C 33.

Marthong & Sarma (2016) indica que hasta el momento no hay pautas que definan el tamaño y las formas de las fibras de PET. Las dimensiones obtenidas fueron mediante el siguiente procedimiento: Se recolectaron envases de botellas PET de mismo tamaño, se retiraron las etiquetas, tapas y se lavó en un ambiente adecuado y luego se cortaron las botellas de PET. Para lograr un tamaño homogéneo y facilitar el corte, solo se usó el cuerpo, excluyendo el cuello y la parte inferior de ellos. En una tercera etapa se obtienen las fibras usando una guillotina, de tamaños 2 mm de ancho y una longitud de 30 mm (Figura 1).



a. Botellas PET b. Fibras de PET de 30 mm c. Fibras de PET

Figura 1. Producción de fibras de botellas PET.

Como referencia, algunas propiedades de PET se presentan a continuación (tabla 1).

Tabla 1. Propiedades de PET

Propiedades	Unidad	Valor
Densidad	g/cm ³	1,38
Absorción de agua, 24H	%	0,10
Resistencia a la flexión, 23°C	g/cm ²	1,05x10 ⁶

Fuente: adoptado de Ávila Córdoba *et al.* (2013).

Se realiza el diseño de mezclas mediante el método de comité 211 del ACI. Para el método del ACI se tendrá en cuenta los ensayos de los agregados de peso unitario (ASTM C 29), peso específico y absorción del agregado grueso y fino (ASTM C127; ASTM C128), análisis granulométrico (ASTM C136), contenido de humedad (ASTM C 566) (Tabla 2).

Tabla 2. Características de los agregados para la elaboración del concreto, 2019.

Descripción	Unidad	Agregados	
		Fino	Grueso
Tamaño máximo nominal	pulg	Nro 4	1
Peso específico	g/cm ³	2,43	2,48
Peso unitario suelto (seco)	kg/m ³	1545,00	1496,00
Peso unitario compactado (seco)	kg/m ³	1752,00	1679,00
Contenido de humedad	%	3,94	2,89
Absorción	%	4,59	2,94
Módulo de fineza		3,15	6,84

La resistencia a la compresión del concreto planteada es de 210 kg/cm² (a los 28 días), ya que es considerada como la resistencia mínima en elementos estructurales según el reglamento del ACI - 318 (2014) y con un asentamiento de 75 mm a 100mm que nos ofrece una trabajabilidad y consistencia plástica.

Los materiales obtenidos del diseño de mezclas para 1 m³ se muestran en la Tabla 3. Las fibras de botellas PET se agregaron a la mezcla de concreto normal en las siguientes relaciones diferentes: 0 %, 2 %, 4 %, 6 % y 8 % por peso del cemento (Tabla 3).

Tabla 3. Proporción de materiales para la mezcla de concreto con fibras de botellas PET

Cemento (kg/m ³)	Aggregado fino (kg/m ³)	Aggregado grueso (kg/m ³)	Relación agua – cemento (a/c)	(%) PET	Fibras de PET (Kg/m ³)
386	568,29	1096,96	0,5	0	0,0
386	568,29	1096,96	0,5	2	7,7
386	568,29	1096,96	0,5	4	15,4
386	568,29	1096,96	0,5	6	23,2

386	568,29	1096,96	0,5	8	30,9
-----	--------	---------	-----	---	------

Se han elaborado 90 especímenes cilíndricas (18 por categoría y 6 por periodo de curado) de dimensiones 10 cm de diámetro, 20 cm de altura y 20 especímenes prismáticas (4 por categoría) de dimensiones 15cm de base, 15 cm de altura y 50 cm de longitud respectivamente. Los especímenes permanecieron en los moldes por un periodo de tiempo de 24 horas, después fueron curados bajo agua hasta el momento del ensayo a una temperatura promedio de 10 °C.

Las muestras cilíndricas se analizaron a periodos de 7, 14 y 28 días de curado y las muestras prismáticas se analizaron a 28 días de curado respectivamente. Los instrumentos fueron equipos de laboratorio como: Una prensa modelo ADR 1500 y equipo a flexión. Los procedimientos de los ensayos se desarrollaron de acuerdo a la norma ASTM C39 (2018) y ASTM C78 (2002).

Los indicadores fueron la resistencia a la compresión y resistencia a la flexión del concreto en diversas mezclas planteadas con fibras de PET, los resultados fueron comparados con el concreto normal (0 % PET). Los datos se procesaron en Excel y software libre estadístico SigmaPlot.

El estadígrafo utilizado fue ANOVA para determinar las diferencias o igualdad entre grupos de tratamientos de resistencia del concreto, a un nivel de confianza de 95 %.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Determinación de la incidencia de las fibras de las botellas PET en la resistencia del concreto.

Para resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión se determinó mediante la expresión $f_t = \frac{PL}{bd^2}$, donde f_t es una resistencia a la compresión (kg/cm^2), P es la carga de aplastamiento máxima resistida por la muestra antes del falla (kg) y D es el diámetro de la muestra cilíndrica (cm) (Figura 2).



a. Equipo de compresión simple b. Espécimen sometido a ensayo a compresión

Figura 2. Ensayo de resistencia a la compresión.

Se observó que a los 7 días de curado no se presenta efecto de las fibras de botellas PET respecto al concreto normal, a los 14 días de curado se presenta un leve aumento en la resistencia a la compresión del concreto, al aumentar 2 % de fibras de botellas PET se incrementa 1,4 %, a los 28 días de curado para la adición de 2 % de fibras de botellas PET se incrementa 2,6 % y para los concretos con 4 % a 8 % de fibras de PET disminuyen de 6,3 % a 20,4 %; se aprecia que el concreto con 4 % de fibras de PET tiene una resistencia de $214,55 \text{ kg/cm}^2$, superior a la resistencia requerida la cual es de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ (Tabla 4).

Tabla 4. Resistencia promedio a la compresión del concreto con fibras de PET a 7, 14 y 28 días

%PET	7 días	14 días	28 días
	$f'c (\text{kg/cm}^2)$	$f'c (\text{kg/cm}^2)$	$f'c (\text{kg/cm}^2)$
0	181,91	202,19	228,90
2	175,73	204,97	234,84
4	144,69	173,46	214,55
6	129,27	154,31	188,48
8	119,54	147,46	182,29

Estadísticamente, el valor de p resultó ($p < 0,001$), valor- p es menor que 0,05, por lo que existe una diferencia estadísticamente significativa entre los promedios de las 5 variables con un nivel del 95 % de confianza, donde las fibras de PET tienen una incidencia en la resistencia a la compresión del concreto.

Nibudey (2013) indica que el óptimo fue la adición de 1 % de fibras de PET, logrando un incremento de 4,3 % respecto al concreto de control, luego se observó la reducción de resistencia. En la investigación el óptimo fue de 2 % de fibras de PET, logrando un incremento de 2,6 % respecto al concreto normal, posteriormente se vio la disminución de la resistencia. La adición de fibras de PET en pequeñas cantidades produce un aumento en la resistencia a la compresión, pero la adición de una gran cantidad de fibras de PET reduce la resistencia (Marthong 2015).

El factor que influye directamente son la adición de porcentajes de fibras de PET al concreto normal, cuando se tiene mayor porcentaje de fibras de PET como es el caso de 6 y 8 % de fibras de PET, esto se debe a la disminución de trabajabilidad del concreto, ya que las dosificaciones de cemento, áridos y agua se mantienen invariables para las diferentes mezclas analizadas. Se afirma que, para diversas calidades del concreto, tamaño y formas de fibras de botellas PET adicionados en el concreto en porcentajes menores produce un aumento en la resistencia a la compresión.

Para resistencia a la flexión

La resistencia a la flexión se calculó utilizando la ecuación, $f_f = \frac{P}{W^2}$ donde f_f es la resistencia a la flexión (kg/cm^2), P es la carga de flexión máxima (kg); L , b y d son la longitud soportada, el ancho y la profundidad del punto de falla de las muestras (cm), respectivamente (Figura 3).



a. Equipo de ensayo a flexion

b. Falla de la muestra en la base

Figura 3. Ensayo de resistencia a la flexión.

Se observó que a los 28 días de curado, los resultados fueron para concreto con adición de 2 % a 6 % de fibras de PET se incrementa de 16 % a 37 % respecto al concreto normal, y para 8 % de PET empieza disminuir, pero aún mantiene su valor de resistencia superior al concreto normal (Tabla 5).

Tabla 5. Efecto de fibras de botellas PET sobre la resistencia a la flexión a la edad de 28 días.

PET (%)	Resistencia Promedio (kg/cm^2)	Incremento (%)
0	23,84	100
2	27,62	116
4	29,60	124
6	32,62	137
8	28,58	120

Estadísticamente, el valor de p resultó ($p < 0,001$), valor- p es menor que 0,05, por lo que existe una diferencia estadísticamente significativa entre los promedios de las 5 variables con un nivel del 95 % de confianza, donde las fibras de PET tienen una incidencia en la resistencia a la flexión del concreto.

Se vio que la adición de fibras de PET al concreto incrementa la resistencia a la flexión, esto concuerda con lo que indica (Pelisser *et al.* 2012). Asimismo, se observó en la presente investigación que para concreto con 8% de PET empieza a disminuir, esto concuerda con Marthong (2015) donde la

resistencia a la flexión ese incrementa en 22,96 % para concreto con 0,5 % de fibras de PET y para 1,0 % de PET empieza a disminuir.

Relación entre la resistencia a la flexión y compresión

La relación entre la resistencia a la flexión y resistencia a la compresión, cuya expresión resulta $f_t =$

$2.02\sqrt{f_c}$ (kg/cm^2), esto concuerda con Martínez-Soto & Mendoza-Escobedo (2018) que indica que la resistencia a la flexión para un concreto de peso normal se considera como 2 veces la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión (Figura 4).

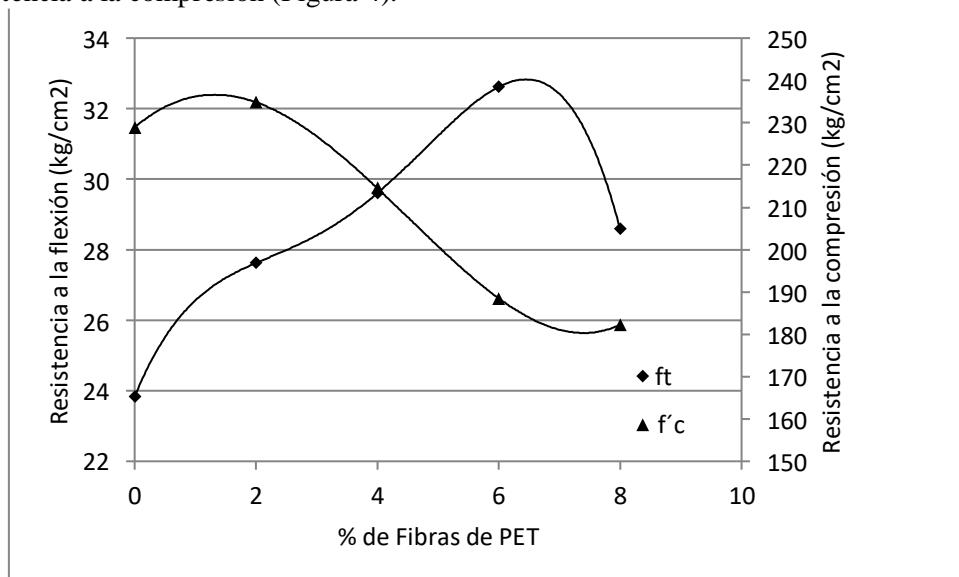


Figura 4. Relación entre la resistencia a la flexión y compresión del concreto

Por lo tanto, es posible adicionar hasta 4 % de fibras de PET, puesto que, la resistencia a la compresión es superior a $210 \text{ kg}/\text{cm}^2$ y aumenta la resistencia a la flexión; concretos con mayores a 4 % de fibras de PET disminuye la resistencia a la compresión. La poca cantidad de fibras recicladas de botellas PET puede tener una gran influencia en mejorar las propiedades mecánicas del concreto (Foti 2011).

CONCLUSIONES

La resistencia a la compresión del concreto a los 28 días de curado, al aumentar el 2 % de fibras de botellas PET se incrementó 2,6 % respecto al concreto normal y para 4 % de fibras de botellas PET se aprecia una reducción de 6,3 %, no obstante, esto supera la resistencia requerida de $210 \text{ kg}/\text{cm}^2$. Por lo cual, la adición de fibras de PET en pequeñas cantidades produce un aumento en la resistencia a la compresión.

La resistencia a la flexión para concreto con 4 % de fibras de PET aumenta a 24 %, puesto que, el concreto con 4 % de fibras de PET nos da una resistencia a la compresión superior a $210 \text{ kg}/\text{cm}^2$ y aumenta la resistencia a la flexión; concreto con fibras superiores a 4% de PET disminuye la

resistencia a la compresión, entonces se puede estimar la resistencia a la flexión en función de la resistencia a la compresión por la expresión de $f = 2.02\sqrt{f'c}$ (kg/cm²), Por lo tanto, se puede adicionar hasta 4 % de fibras de PET, método muy útil para resolver algunos problemas de desechos de PET en el medio ambiente.

CONFLICTO DE INTERÉS

El autor (DQF), no tiene conflictos de intereses con otros autores.

REFERENCIAS

- ACI - 318. 2014. Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-14) y Comentario. American Concrete Institute (ACI). https://civilshare.files.wordpress.com/2016/07/aci_318s_14_en_espanol.pdf
- Akçaözoglu S., Atış C. D., Akçaözoglu K. 2010. An investigation on the use of shredded waste PET bottles as aggregate in lightweight concrete. *Waste Management*, 30(2), 285–290. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.09.033>
- Albano C., Camacho N., Hernández M., Matheus A., Gutiérrez A. 2009. Influence of content and particle size of waste pet bottles on concrete behavior at different w/c ratios. *Waste Management*, 29(10), 2707–2716. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.05.007>
- Aldahdooh M. A. A., Jamrah A., Alnuaimi A., Martini M. I., Ahmed M. S. R., Ahmed, A. S. R. 2018. Influence of various plastics-waste aggregates on properties of normal concrete. *Journal of Building Engineering*, 17, 13–22. <http://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.01.014>
- ASTM C150. 2001. Standard specification for Portland cement. Annual Book of ASTM Standards 04.01, pp. 149–155. <https://www.astm.org/Standards/C150.htm>
- ASTM C33. 2016. Especificación normalizada para agregados para concreto. American Society for Testing and Materials (ASTM). <https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/C33C33M-16.htm>
- ASTM C39. 2018. Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto. American Society for Testing and Materials (ASTM). <https://www.astm.org/Standards/C39.htm>
- ASTM C78. 2002. Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (*Using Simple Beam with Third-Point Loading*). American Society for Testing and Materials (ASTM). <https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/C78-02.htm>
- Ávila L., Martínez-Barrera G., Barrera C., Ureña F., Loza A. 2013. Effects on Mechanical Properties of Recycled PET in Cement-Based Composites. *International Journal of Polymer Science*,

2013(1), 1–6. <http://doi.org/10.1155/2013/763276>

Borg P., Baldacchino O., Ferrara, L. 2016. Early age performance and mechanical characteristics of recycled PET fibre reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 108, 29–47. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.01.029>

Bui K., Satomi T., Takahashi H. 2018. Recycling woven plastic sack waste and PET bottle waste as fiber in recycled aggregate concrete: An experimental study. *Waste Management*, 78, 79–93. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.05.035>

Choi W., Moon J., Kim J., Lachemi M. 2009. Characteristics of mortar and concrete containing fine aggregate manufactured from recycled waste polyethylene terephthalate bottles. *Construction and Building Materials*, 23(8), 2829–2835. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.02.036>

Foti D. 2011. Preliminary analysis of concrete reinforced with waste bottles PET fibers. *Construction and Building Materials*, 25(4), 1906–1915. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.11.066>

Frigione M. 2010. Recycling of PET bottles as fine aggregate in concrete. *Waste Management*, 30(6), 1101–1106. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.01.030>

Ge Z., Yue H., Sun R. 2015. Properties of mortar produced with recycled clay brick aggregate and PET. *Construction and Building Materials*, 93, 851–856. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.05.081>

Gholampour A., Ozbaikkaloglu T. 2018. Recycled plastic. New Trends in Eco-efficient and Recycled Concrete. Elsevier Ltd. <http://doi.org/10.1016/b978-0-08-102480-5.00003-8>

Kim B., Yi H., Kim Y., Kim J., Song, C. 2010. Material and structural performance evaluation of recycled PET fiber reinforced concrete. *Cement and Concrete Composites*, 32(3), 232–240. <http://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2009.11.002>

Mahdi F., Abbas H., Khan A. 2010. Strength characteristics of polymer mortar and concrete using different compositions of resins derived from post-consumer PET bottles. *Construction and Building Materials*, 24(1), 25–36. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.08.006>

Mansour M., Ali A. 2015. Reusing waste plastic bottles as an alternative sustainable building material. *Energy for Sustainable Development*, 24, 79–85. <http://doi.org/10.1016/j.esd.2014.11.001>

Marthong C. 2015. Effects of PET fiber arrangement and dimensions on mechanical properties of concrete. *IES Journal Part A: Civil and Structural Engineering*, 8(2), 111–120. <http://doi.org/10.1080/19373260.2015.1014304>

Marthong C., Sarma K. 2016. Influence of PET fiber geometry on the mechanical properties of concrete: An experimental investigation. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 20(7), 771–784. <http://doi.org/10.1080/19648189.2015.1072112>

-
- Martínez-Soto E., Mendoza-Escobedo J. 2018. Comportamiento mecánico de concreto fabricado con agregados reciclados. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 7(3), 151–164. <http://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2006.07n3.012>
- Nibudey N. 2013. Strengths Prediction of Plastic fiber Reinforced concrete, 3(1), 1818–1825.
- Nováková K., Šeps K., Achten H. 2017. Experimental development of a plastic bottle usable as a construction building block created out of polyethylene terephthalate: Testing PET(b)rick 1.0. *Journal of Building Engineering*, 12, 239–247. <http://doi.org/10.1016/j.jobr.2017.05.015>
- Pelisser F., Montedo R., Gleize J., Roman R. 2012. Mechanical properties of recycled PET fibers in concrete. *Materials Research*, 15(4), 679–686. <http://doi.org/10.1590/s1516-14392012005000088>
- Pereira De Oliveira A., Castro-Gomes P. 2011. Physical and mechanical behaviour of recycled PET fibre reinforced mortar. *Construction and Building Materials*, 25(4), 1712–1717. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.11.044>
- Shubbar D., Al-Shadeedi S. 2017. Utilization of waste plastic bottles as fine aggregate in concrete. *Kufa Journal of Engineering*, 8(2), 132–146. Retrieved from <http://www.uokufa.edu.iq/journals/index.php/kje/article/view/6068>
- Siddique R., Khatib J., Kaur I. 2008. Use of recycled plastic in concrete: A review. *Waste Management*, 28(10), 1835–1852. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.09.011>
- Yesilata B., Isike Y., Turgut P. 2009. Thermal insulation enhancement in concretes by adding waste PET and rubber pieces. *Construction and Building Materials*, 23(5), 1878–1882. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.09.014>