

## Adición de PET reciclado al Mortero Portland como refuerzo: Estudio de las propiedades Mecánicas

### Addition of recycled PET to Portland Mortar as reinforcement: Study of Mechanical Properties

ESPINOSA-SOSA, Enrique Esteban\*†, PULIDO-BARRAGÁN, Eder Uzziel, LUGO-DEL ANGEL, Fabiola Erika, CRUZ-NETRO, Liz Del Carmen

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Enrique Esteban, Espinosa-Sosa*

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Eder Uzziel, Pulido-Barragán*

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Fabiola Erika, Lugo-Del Angel*

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Liz Del Carmen, Cruz-Netro*

Recibido 23 Julio, 2018; Aceptado 20 Septiembre, 2018

#### Resumen

El cemento es por hoy el material que sigue siendo vigente debido a las características físico-mecánicas que lo posiciona como uno de los materiales más requeridos para la construcción. Por otra parte, en materia de residuos, los desperdicios que más han afectado al planeta por carecer un programa específico de manejo y disposición son los envases fabricados con polímeros termoplásticos tales como el Polietileno Tereftalato conocido comúnmente como PET. Se pretende probar y establecer la siguiente hipótesis: La adición y mezcla del desperdicio PET al concreto Portland mantiene y/o mejora las propiedades mecánicas de Compresión y Flexión en las vigas de concreto. Se realizaron cinco mezclas de mortero: Mezcla N° 1 cemento, arena, agua, Mezcla N° 2 cemento, arena, agua y 0.5% de PET, Mezcla N° 3 cemento, arena, agua y 1.0% de PET Mezcla N° 4 cemento, arena, agua y 1.5% de PET, Mezcla N° 5 cemento, arena, agua y 2.0% de PET. Se concluye que las propiedades mecánicas de la mezcla de concreto con el PET se mejoran y/o se mantiene con respecto a la mezcla testigo siendo los resultados más altos en la mezcla No 2 con un agregado de PET del 0.5%. Estos resultados prueban la hipótesis establecida en este proyecto de investigación que aun no termina.

**PET, Concreto, compresión, Propiedades Mecánicas**

#### Abstract

Cement is today the material that remains in force due to the physico-mechanical characteristics that positions it as one of the most required materials for construction. On the other hand, in the matter of waste, the waste that has most affected the planet for lack of a specific program of management and disposal are the containers manufactured with thermoplastic polymers such as the Polyethylene Terephthalate commonly known as PET. It's intended to prove and establish the following hypothesis: The addition and mixing of PET waste to Portland concrete maintains and / or improves the mechanical properties of Compression and Flexion in concrete beams. Five mortar mixtures were made. Mixture No. 1 cement, sand, water, Mixture No. 2 cement, sand, water and 0.5% PET, Mixture No. 3 cement, sand, water and 1.0% PET Mixture No. 4 cement, sand, water and 1.5% PET, Mixture No. 5 cement, sand, water and 2.0% PET. It's concluded that the mechanical properties of the concrete mix with the PET are improved and / or maintained with respect to the control mixture, with the highest results in the No 2 mixture with a PET aggregate of 0.5%. These results prove the hypothesis established in this research project that has not yet ended.

**PET, concrete, compression, Mechanical properties**

**Citación:** ESPINOSA-SOSA, Enrique Esteban, PULIDO-BARRAGÁN, Eder Uzziel, LUGO-DEL ANGEL, Fabiola Erika, CRUZ-NETRO, Liz Del Carmen. Adición de PET reciclado al Mortero Portland como refuerzo: Estudio de las propiedades Mecánicas. Revista de Simulación y Laboratorio 2018, 5-16: 5-9.

\*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: enrique.espinosa@upalt.edu.mx)

†Investigador contribuyendo como primer Autor

## Introducción

Los materiales para la construcción han cobrado importancia cada vez más en la vida actual. El cemento es por hoy el material que sigue siendo vigente debido a las características físico-mecánicas que lo posiciona como uno de los materiales más requeridos para la construcción. El cemento es en nuestros días el material que más se produce en el mundo. Según la última estadística brindada por Index Mundi, en su reporte Hydraulic Cement: World Production, By Country. En dicho reporte se registra una producción de 2310 millones de toneladas de cemento. El crecimiento en el consumo de cemento está directamente relacionado con el incremento de la población mundial y con el desarrollo de los países (Industria de la construcción civil, infraestructuras, etc.). Por consiguiente es importante desarrollar opciones de materiales con características similares a las del cemento para contribuir a frenar el consumo del mismo. Estas opciones también tienen como meta la de mejorar las propiedades mecánicas del concreto tipo Portland.

Por otra parte, en materia de residuos o desperdicios, los desperdicios que más han afectado al planeta por carecer un programa específico de manejo y disposición son los envases fabricados con polímeros termoplásticos tales como el Polietileno Tereftalato conocido comúnmente como PET por sus siglas en inglés Polyethylene Terephthalate. En México se generan 800 mil toneladas de PET al año y solo el 15% se recicla según declaró el presidente de la Comisión Especial de Desarrollo Sustentable de la Cámara de Diputados el legislador René Fujiwara Montelongo. Siendo el PET un polímero sintético el cual se podría relacionar con el cemento y aprovechar sus características físico-químicas para obtener una mezcla que mantenga o contribuya a mejorar las propiedades mecánicas del concreto.

## Justificación

La demanda creciente del uso del cemento gris para la construcción es cada vez mayor, aunado que la fabricación del cemento se elabora usando la caliza y la arcilla como materias primas que se obtienen de la extracción de la tierra, es por ello que se busca explorar algunos otros materiales que se puedan combinar con el cemento manteniendo y/o mejorando sus propiedades mecánicas tales como compresión y flexión.

De esta forma, es decir integrando el PET con el cemento, se obtendría el reciclado de este residuo o desperdicio y por el otro lado se disminuiría el uso del cemento en la preparación del concreto.

## Problema

El PET como se mencionó es un desperdicio que su generación crece y contamina cada vez más el entorno de la naturaleza y afecta negativamente a la fauna. Siendo éste, el PET, un polímero artificial, se pretende darle un mayor uso en la preparación del concreto buscando reducir los consumos del cemento y mejorar las propiedades mecánicas del concreto estándar.

## Hipótesis

Se pretende probar y establecer la siguiente hipótesis:

La adición y mezcla del desperdicio PET al concreto Portland mantiene y/o mejora las propiedades mecánicas de Compresión y Flexión en las vigas de concreto.

## Objetivos

### Objetivo General

Mejorar las propiedades mecánicas del concreto Portland agregando material PET reciclado.

### Objetivos específicos

- Elaborar mezclas en proporción 1:2 (1 cemento : 2 arena) con relación agua/cemento  $Ra/c = 0.625$ , utilizando cemento Portland CPC-30R sin dosificación de PET.
- Elaborar mezclas en proporción 1:2 (1 cemento : 2 arena) con relación agua/cemento  $Ra/c = 0.625$ , utilizando cemento Portland CPC-30R con dosificación de PET: Cemento, arena, agua y 0.5 % de PET graduado por malla N° 4.
- Elaborar mezclas en proporción 1:2 (1 cemento : 2 arena) con relación agua/cemento  $Ra/c = 0.625$ , utilizando cemento Portland CPC-30R con dosificación de PET: Cemento, arena, agua y 1.0 % de PET graduado por malla N° 4.

- Elaborar mezclas en proporción 1:2 (1 cemento : 2 arena) con relación agua/cemento  $Ra/c = 0.625$ , utilizando cemento Portland CPC-30R con dosificación de PET:
- Cemento, arena agua y 1.5 % de PET graduado por malla N° 4.
- Elaborar mezclas en proporción 1:2 (1 cemento : 2 arena) con relación agua/cemento  $Ra/c = 0.625$ , utilizando cemento Portland CPC-30R con dosificación de PET:
- Cemento, arena agua y 2.0 % de PET graduado por malla N° 4.
- Realizar caracterización de todas las mezclas.

### Marco Teórico

#### Cemento

El cemento de aluminato de calcio (CAC) se produjo por primera vez en Francia durante la primera guerra mundial. La base fue una patente del químico francés Jules Bied, alumno de Le Chatelier, quien en 1908 descubrió que los fundidos cristalizados con la composición de aluminato monocálcico podían endurecer hidráulicamente y alcanzar una resistencia temprana muy elevada. Amasado con agua, el cemento fragua y endurece tanto en el aire como sumergido en agua. Se trata, por consiguiente, de un conglomerante hidráulico. El más conocido y el más utilizado de todos los cementos es el cemento portland.

#### Cemento Portland

Las teorías acerca de la constitución del cemento portland y de las combinaciones que lo integran han sido muchas y diversas. Con los medios actuales se han podido verificar algunas de estas teorías y rechazar otras. Le Chatelier sostenía que el elemento primordial del cemento portland era el silicato tricálcico  $3CaO \cdot SiO_2$  (C3S), viendo en dicho compuesto la causa del fraguado y considerando como impurezas a los aluminatos que lo acompañaban.

#### PET (polyethylene terephthalate)

El PET se produce predominantemente para la industria textil como 'poliéster', también se produce en la forma más pura utilizada en el envasado.

Principalmente utilizado en botellas de bebidas plásticas, es reconocible por la "mancha" en la base de la botella, compuesta de plástico moldeado. Químicamente, el PET es un polímero termoplástico y está compuesto de unidades repetitivas polimerizadas de  $C_{10}H_8O_4$ .

#### Propiedades y Aplicaciones del PET

El PET tiene una amplia gama de aplicaciones y se usa ampliamente en muchos productos que contienen plástico. Como el PET es un termoplástico, dentro de una cierta banda de temperatura, el polímero se vuelve extremadamente flexible, lo que facilita el moldeado de las formas. Esto ocurre entre la temperatura de transición vítrea y el punto de fusión, que para el PET son de  $75\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $255\text{ }^{\circ}\text{C}$ , respectivamente. Una vez que se haya enfriado, el PET volverá a su forma sólida, haciendo que el polímero plástico sea extremadamente útil para botellas de bebidas. También es casi completamente impermeable.

Otros usos típicos del tereftalato de polietileno incluyen:

- Envasado de alimentos (comidas para microondas)
- Película delgada
- Células solares
- Aislamiento térmico
- Cinta adhesiva
- Cinta magnética
- Poliéster y productos textiles asociados

#### Metodología de Investigación

Para esta investigación se utilizó el PET como un cohesivo para el concreto para mejorar o mantener las propiedades mecánicas de la mezcla por retracción autógena, haciéndolo más resistente a la compresión y flexión, con la utilización adecuada de cantidad y tamaño del PET.

#### Tipo de Investigación

Se realizaron cinco mezclas de mortero:

Mezcla N° 1 cemento, arena, agua.

Mezcla N° 2 cemento, arena, agua y 0.5% de PET graduado por la malla N° 4

Mezcla N° 3 cemento, arena, agua y 1.0% de PET graduado por la malla N° 4

Mezcla N° 4 cemento, arena, agua y 1.5% de PET graduado por la malla N° 4

Mezcla N° 5 cemento, arena, agua y 2.0% de PET graduado por la malla N° 4 tomando como base la proporción 1:2 cemento: arena con relación agua/cemento  $Ra/c = 0.625$  (cemento portland CPC 30R).

Se procedió a la fabricación de las probetas cilíndricas de 5 cm de diámetro por 10 cm de altura por duplicado para cada ensayo a 7,14 y 28 días de fraguado, para las pruebas de compresión.

### Métodos Teóricos

Las pruebas de compresión se hicieron de acuerdo a la norma mexicana NMX-C-155. Las pruebas de compresión se realizaron en una Máquina Universal marca FORNEY modelo LT-1150, la cual cuenta con diferentes rangos de capacidad de carga utilizándose en este caso el de 30,000 kg con apreciación mínima de 50 kg, un marco de carga marca ALCON con capacidad de 4.5 ton. con apreciación de 5 kg y un marco de carga SOILTEST con capacidad de 3 ton con una resolución de 4.6 kg.

### Resultados

Los resultados de las pruebas mecánicas de compresión se muestran en la Tabla 1 y los de esfuerzo de flexión se muestran en la Tabla 2.

Mezclas	Edad Día	Carga Kg	Deformación vertical mm	Esfuerzo de Compresión $kg/cm^2$
No 1	7	3125	1.425	154.8
	14	3500	1.15	174.0
	28	3950	1.425	196.4
No 2	7	3875	1.475	190.4
	14	3900	1.525	190.5
	28	4375	1.5	215.4
No 3	7	3325	1.6	164.1
	14	3450	1.725	170.2
	28	3900	2.0	193.2
No 4	7	3175	1.4	156.0
	14	3425	1.25	167.3
	28	3950	1.75	197.2
No 5	7	3125	1.5	153.6
	14	3500	1.65	169.3
	28	3900	1.9	193.5

**Tabla 1** Tabla de Resultados de Compresión  
Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar la compresión se vio aumentada sensiblemente en cada tiempo (7, 14 y 28 días) de fraguado con la adición del 0.5% de PET en la mezcla No 2, esto con respecto a la mezcla No 1. Este incremento en términos de porcentaje va desde 9.5% hasta 23% en los diferentes tiempos de fraguado. En cambio, la compresión se mantiene o disminuye ligeramente en las mezclas No 3, 4 y 5 cuyo contenido de PET agregado fue de 1.0%, 1.5% y 2.0% respectivamente.

Ahora observemos los resultados de las pruebas de la flexión mostrados en la Tabla 2. Aquí se puede ver que los valores de flexión son también más altos en la mezcla No 2, en cada uno de los tiempos de fraguado. También se observa valores altos comparados con la mezcla testigo (No 1) en la mezcla No 3 cuyo contenido de PET es del 1%.

Mezclas	Edad Día	Carga (P) Kg	Distancia entre apoyos (L) cm.	Esfuerzo de flexión $Kg/cm^2$
No 1	7	330.5	15	39.6
	14	455.7	15	54.7
	28	465.0	15	55.8
No 2	7	404	15	48.5
	14	444	15	53.27
	28	490.5	15	58.86
No 3	7	369.5	15	44.34
	14	453.5	15	54.42
	28	476.5	15	57.18
No 4	7	379	15	45.48
	14	397	15	47.64
	28	420	15	50.40
No 5	7	367.5	15	44.10
	14	383.5	15	46.02
	28	421	15	50.52

**Tabla 2** Tabla de Resultados de flexión  
Fuente: Elaboración Propia

### Conclusiones

Se concluye que las propiedades mecánicas de la mezcla de concreto con el PET se mejoran y/o se mantiene con respecto a la mezcla testigo siendo los resultados más altos en la mezcla No 2 con un agregado de PET del 0.5%. Estos resultados prueban la hipótesis establecida en este proyecto de investigación que aun no termina.

Se asume que el tamaño de la malla y la cantidad de PET agregada fueron los factores fundamentales para que la mezcla de concreto incrementara sus propiedades mecánicas arriba de los valores convencionales. Por lo que se analizará las condiciones en que se harán las mezclas en función de variación en el tamaño de malla y la cantidad de PET.

**Referencias**

<https://www.azocleantech.com/article.aspx?ArticleID=254> By G.P. ThomasJ

[http://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Desarrollo\\_Urbano\\_y\\_Sustentable/vol3num7/Revista\\_del\\_Desarrollo\\_Urbano\\_y\\_Sustentable\\_V3\\_N7\\_4.pdf](http://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Desarrollo_Urbano_y_Sustentable/vol3num7/Revista_del_Desarrollo_Urbano_y_Sustentable_V3_N7_4.pdf)

<http://ntrzacatecas.com/2015/01/14/en-mexico-se-recicla-15-anual-de-800-mil-toneladas-de-pet/>

J. Robayo R., Matthey P., Delvasto S., Revista de la Construcción. Vol. 12, Num 2, 2013.