

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO CON  
ADICIÓN DE FIBRAS DE POLITERAFTALATO DE ETILENO (PET)**

**Monografía para optar por el título de:**

**INGENIERO CIVIL**

**Investigadores:**

**ALDAIR COAVAS TEJADA**

**VALERIA DEL CARMEN SEGRERA LEÓN**



**Universidad  
de Cartagena**  
Fundada en 1827

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
CARTAGENA DE INDIAS D.T. y C.**

**2020**

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO CON  
ADICIÓN DE FIBRAS DE POLITERAFTALATO DE ETILENO (PET)**

**Investigadores**

**ALDAIR COAVAS TEJADA**

**VALERIA DEL CARMEN SEGRERA LEÓN**

**Monografía para optar por el título de:**

**INGENIERO CIVIL**

**Línea de investigación:**

**MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

**Grupo de investigación:**

**MODELACIÓN AMBIENTAL (GIMA)**

**Director**

**ING. ÉDGAR QUIÑONES BOLAÑOS, PhD**

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

**CARTAGENA DE INDIAS D.T. y C.**

**2020**

## CONTENIDO

<b>LISTADO DE GRAFICOS.....</b>	<b>5</b>
<b>LISTADO DE ILUSTRACIONES.....</b>	<b>6</b>
<b>LISTADO DE TABLAS.....</b>	<b>7</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>8</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>9</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>10</b>
<b>1. CAPITULO I. EVOLUCIÓN DEL CONCRETO .....</b>	<b>14</b>
<b>2. CAPITULO II: FIBRAS SINTETICAS .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1. TIPOS DE FIBRAS .....</b>	<b>19</b>
Microfibras:.....	19
Macrofibras: .....	19
<b>2.2. FIBRAS SINTÉTICAS.....</b>	<b>20</b>
Nylon.....	20
El polietileno tereftalato (PET), .....	21
<b>3. CAPITULO III: INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE POLITERAFTALATO DE ETILENO EN LA MATRIZ DEL CONCRETO .....</b>	<b>22</b>
<b>3.1. ANTECEDENTES.....</b>	<b>22</b>
<b>3.2. ESTADO DEL ARTE.....</b>	<b>26</b>
<b>1. CAPITULO IV: ANALISIS COMPARATIVO Y ALTERNATIVAS .....</b>	<b>36</b>
<b>4.1. ALTERNATIVAS DEL USO DEL PET COMO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.....</b>	<b>39</b>
4.1.1.Construcción con botellas plásticas PET con relleno de tierra. ....	39
4.1.2.Botellas de PET como material de construcción sostenible.....	40
4.1.3.EcoARK.....	42

<b>2. CONCLUSIONES</b> .....	44
<b>3. REFERENCIAS</b> .....	46

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE POLITERAFTALATO DE ETILENO (PET)**

**LISTADO DE GRAFICOS**

<b>Gráfico 1.</b> Resistencia a compresión con adición de fibras PET.....	24
<b>Gráfico 2.</b> Resistencia a compresión con adición de fibras de PP.....	24
<b>Gráfico 3.</b> Resistencia a la tracción vs porcentaje de adición de fibra.....	24
<b>Gráfico 4.</b> Porcentaje óptimo de fibras PET.....	25
<b>Gráfico 5.</b> Porcentaje óptimo de fibras de PP.....	25
<b>Gráfico 6.</b> Resistencia a la compresión de las fibras PET, bagazo de caña de azúcar y papel. .....	27
<b>Gráfico 7.</b> Comportamiento en el tiempo de los distintos tipos de mezcla.....	28
<b>Gráfico 8.</b> Resistencia vs Edad del cilindro.....	29
<b>Gráfico 9.</b> Resistencia a compresión para cada porcentaje de fibra.....	30
<b>Gráfico 10-</b> Resistencia a flexión para cada porcentaje de fibra.....	30
<b>Gráfico 11.</b> Resistencia a la compresión y tracción con adición de fibra de PET a los 28 días de curado.....	32
<b>Gráfico 12.</b> Resistencia a la compresión a los 7 días.....	34
<b>Gráfico 13.</b> Resistencia a la compresión a los 28 días.....	34
<b>Gráfico 14.</b> Resistencia a la tensión a los 28 días.....	35

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS  
DE POLITERAFTALATO DE ETILENO (PET)**

**LISTADO DE ILUSTRACIONES**

<b>Ilustración 1.</b> Fibras de PET y PP. ....	22
<b>Ilustración 2.</b> Muestra de porosidad en cilindros por porcentaje agregado. ....	23
<b>Ilustración 3.</b> Pellets de plástico.....	26
<b>Ilustración 4.</b> Fibras de PET en forma de escamas. ....	32
<b>Ilustración 5.</b> Escamas de envases de PET. ....	33
<b>Ilustración 6.</b> Ensayo compresión simple. ....	39
<b>Ilustración 7.</b> Prueba aplicada en botellas de PET llena de desechos. ....	41
<b>Ilustración 8.</b> Fachada edificio eco Ark en Taiwán.....	43

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS  
DE POLITERAFTALATO DE ETILENO (PET)**

**LISTADO DE TABLAS**

<b>Tabla 1.</b> Composición de la mezcla.....	33
<b>Tabla 2.</b> Matriz comparativa.....	36
<b>Tabla 3.</b> Relación de concreto con adición de fibras de PET respecto a la muestra patrón.	37
<b>Tabla 4.</b> Resultado de las cargas máxima soportadas.....	40
<b>Tabla 5.</b> Resultados compresión simple. ....	42

# ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE POLITERAFTALATO DE ETILENO (PET)

## RESUMEN

En el presente documento, se estudian las características mecánicas del concreto y su comportamiento al incorporar fibras de politeraftalato de etileno, teniendo en cuenta variables como la resistencia a la compresión, flexión, retracción plástica, exudación, resistencia al impacto, entre otras; esto con el fin de seleccionar la alternativa que mejor favorece dichas propiedades, además de estudiar estrategias actuales de aprovechamiento de materiales residuales como los envases plásticos o botellas de PET.

Para llevar a cabo la investigación se hizo necesario elaborar una matriz que permitiera realizar una comparación de los estudios previos acerca de la incorporación de fibras de PET reciclado en la matriz de concreto, permitiendo seleccionar la que mejor favorece. En la investigación se encontró que las botellas de PET no solo tienen potencial para ser usados como fibras, sino que también pueden ser usados en forma de escamas o pellets, y que dichas fibras mejoran la resistencia a flexión de un 10 a un 30%, pero producen una ligera caída en la resistencia a compresión. Es por esto que no pueden ser usada bajo ningún criterio como elemento estructural.

**Palabras claves:** Politeraftalato de etileno, fibras, concreto reforzado con fibras de PET reciclado, resistencias a la compresión.

# ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE POLITERAFTALATO DE ETILENO (PET)

## ABSTRACT

The present document is intended to study concrete's mechanical characteristics and its behavior when PET fibers are incorporated, taking into consideration variables such as the compressive strength, bending, plastic shrinkage, exudation, impact resistance between others. The aim is to select the alternative that best integrates the variables mentioned before. Additionally, it studies current reuse strategies of residual materials like plastic containers or bottles made out of PET.

To conduct this investigation, it was needed to develop a matrix that allow us to make a comparison between previous studies about the incorporation of residual PET fibers in the concrete, to enable the selection of the best alternative. We found, during the research, that bottles made out of PET not only have potential to be used as fibers, but they also can be shaped in scales or pellets. Furthermore, these fibers can improve the resistance to bending between 10% to 30%. However, they cause a small fall in the resistance to compression. This is why they cannot be used as an structural element.

**Keywords:** Polyethylene terephthalate, fibers, concrete reinforced with recycled PET fibers, compressive strength.

# ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE POLITERAFTALATO DE ETILENO (PET)

## INTRODUCCIÓN

Desde el comienzo de la vida sedentaria, el hombre ha mostrado su capacidad para desarrollar grandes obras de ingeniería, como sistemas de drenajes, edificaciones, carreteras, entre otras obras civiles; investigando e innovando en busca de mejorar los procedimientos y materiales usados para la construcción.

El concreto u hormigón, es producto de uno o varios conglomerados áridos con cemento, generalmente grava, arena y agua, y en ocasiones se utilizan aditivos para un mejor rendimiento. Una de las características más destacadas del concreto es su capacidad de ser sometidos a altos esfuerzos de compresión; sin embargo, bajo las mismas condiciones ofrece baja resistencia a la tracción, siendo esta un 10% de la resistencia a la compresión. Por esta razón, es que siempre que se piensa en concreto se asocia con acero, dando cabida a la idea de concreto reforzado, quedando una matriz monolítica donde el acero se encarga de los esfuerzos de tracción y el concreto de compresión.

Este material es el más utilizado en las obras de construcción por su resistencia y trabajabilidad. En Colombia, según cifras publicadas por el DANE en el año 2019, la producción de concreto premezclado alcanzó los 7.246 miles de metros cúbicos, dicho de esta manera es importante realizar estudios e investigaciones que permitan adicionar o sustituir materiales en la matriz de concreto, con el fin de mejorar su capacidad portante.

En la actualidad las botellas de plástico de desecho son la principal causa de depósito de basura. El politeraftalato de etileno (PET) se usa comúnmente para bebidas carbonatadas y botellas de agua. Este es un problema medioambiental, ya que las botellas de plástico de desecho son difíciles de biodegradar e implica procesos para reciclar o reutilizar; En la presente propuesta de investigación se han recopilado investigaciones de los residuos antes mencionados, enfocados a su uso en obras de ingeniería civil (Ramadevi & Manju, 2012).

A continuación, se presenta un resumen de las publicaciones que han servido a esta investigación.

Estudios realizados por estudiantes de decimo semestre de la universidad de Cartagena, en la elaboración de bloques en cemento reutilizando el plástico polietilen-tereftalato (pet) como alternativa sostenible para la construcción. Los resultados demuestran que es factible la

## **ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE POLITERAFTALATO DE ETILENO (PET)**

sustitución de agregados en la matriz del concreto por materiales obtenidos de residuos sólidos como el PP y PET; los bloques con PET triturado mostraron una reducción de peso por unidad, se redujo en un 2% la masa en comparación a los bloques convencionales, para la sustitución de 37.5% de arena. Se obtuvieron resistencias superiores a la prueba patrón (2.83 MPa) para la sustitución de 12.5% y 25% del agregado, de 3.5 y 3.2 MPa respectivamente, pero son menores a la resistencia requerida según la NTC, el porcentaje óptimo para la sustitución del agregado fino debe ser del 10% de PET. Además, obtuvieron que el porcentaje de absorción del agua de 11,9% no cambio respecto a los bloques convencionales, gracias a los resultados obtenidos en los ensayos concluyeron que los bloques fabricados no pueden ser utilizados para mampostería estructural, pero pueden ser utilizados en muros divisores. (Flores & Caballero, 2016)

Otra investigación fue el estudio realizado en la Universidad de Cartagena, sobre el concreto aligerado con adicionando fibras de Tereftalato de Polietileno y Polipropileno, utilizando como agregados arena de rio y piedras caliza Universidad de Cartagena. El cual tiene como objeto la determinación de los efectos producidos en la matriz de concreto y su peso unitario al incorporar fibras de polipropileno y tereftalato de polietileno para un diseño de 21 MPA, por medio de muestras y ensayos con diferentes dosificaciones de fibras en la mezcla de concreto, para su posterior uso en construcciones civiles obteniendo un impacto positivo al medio ambiente, por la reutilización de material reciclado y de igual forma disminución del peso unitario de los elementos.

Se logró apreciar en los ensayos y resultados obtenidos que las fibras plásticas PET (tereftalato de polietileno) y PP (polipropileno) logran reducir el peso unitario del concreto; a medida que aumenta la cantidad de fibras en porcentaje, el peso unitario del concreto disminuye; además se pudo notar un aumento de la resistencia a flexión del concreto al momento de la adición de las fibras PET y PP. Por otro lado se notó una reducción en la manejabilidad del concreto, a medida que se aumentaba el porcentaje de fibras plásticas el concreto se hacía menos manejable, obteniendo un asentamiento máximo para la mezcla sin fibras de 3.3cm y un asentamiento mínimo para el concreto con fibras de 2.cm, logrado con una adición de 12% de polipropileno. (Bermejo Paredes & Bru Rivera, 2018)

## ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE POLITERAFTALATO DE ETILENO (PET)

Como se pudo observar, es posible incorporar fibras naturales y sintéticas recicladas que mejoran la capacidad portante del concreto, dicho de esta manera es preciso mencionar que en Cartagena se produce una gran cantidad de residuos que pueden ser usados como material de construcción, mitigando el impacto ambiental que producen dichos residuos. Según cifras entregadas por la empresa encargada Pacaribe (2019), en la ciudad de Cartagena-Bolívar se recolectaron en una labor de limpieza alrededor de 13.500 toneladas de residuos sólidos en 16 kilómetros lineales de conductos, lo cual genera un problema ambiental,

*“Aquí encuentras hasta bicicletas, cuerpos de motos, llantas, mucha basura y mucho plástico. Lastimosamente, siempre que llueve a gran escala en la ciudad, si no limpiamos esto, termina en la Ciénaga de la Virgen”, (Pacaribe, 2019)*

Si no se controla esta problemática puede ser causante de inundaciones, propagación de enfermedades, entre otros. (Secretaría de planeación del distrito de Cartagena, 2019)

Esta investigación estará basada en el diseño de estrategias que permitan mitigar el impacto ambiental que tienen los residuos sólidos, más específicamente los PET y que a su vez puedan ser aprovechados como una adición en la matriz del concreto, que son los envases plásticos, que se utilizan una o dos veces y son desechados lo cual genera un impacto ambiental, ya que estos tardan de 100 a 150 años en biodegradarse. Haciendo la respectiva revisión bibliográfica se encontró que dichos residuos tienen un arduo potencial para ser usados como fibras en la matriz de los concretos, si se logra aumentar la resistencia a la tracción de los concretos con el uso de fibras de PET, se podría lograr la reducción del acero de refuerzo, lo que impactaría positivamente en el presupuesto de construcción.

Esta monografía investigativa será realizada en la Ciudad de Cartagena de Indias, Colombia, apoyado en bibliografía nacional e internacional con apoyo de la base de datos de la Universidad De Cartagena y tesis realizadas por compañeros de la institución.

La investigación propuesta tiene como finalidad, Analizar la evolución y el comportamiento mecánico del concreto con adición de fibras sintéticas, a través de una matriz comparativa, basada en investigaciones previas, teniendo en cuenta dimensiones y dosificación, con el fin de seleccionar las mejores alternativas de adición de fibra de material reciclado de politeraftalato de etileno, lo cual está directamente relacionado a la línea de investigación de

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE POLITERAFTALATO DE ETILENO (PET)**

Material es y manejo de residuos sólidos, que hace parte del grupo de investigación GIMA, ya que se busca conocer la posibilidad de incorporar fibras obtenidas a partir de residuos de PET en el concreto para validar su uso en obras de construcción.

## **1. CAPITULO I. EVOLUCIÓN DEL CONCRETO**

En este capítulo se hablará de la evolución del concreto y como llego hacer lo que se es hoy en día. El hormigón o concreto es la mezcla de cemento, agua, arena y grava, que al endurecer presenta buena resistencia a la compresión y durabilidad.

**5600 a.C.** El primer hallazgo en la construcción fue el suelo de la cabaña de Lepensky Vir en Serbia (IECA, 2017)

**2600 a.C.** Para este siglo los egipcios construyeron la pirámide de Guiza utilizando mortero hecho en yeso calcinado impuro y arena para poder unir los bloques de piedra. (Sánchez de Guzmán, 2001)

**450 a.C.** En Grecia y Roma se producía un mortero con pasta de caliza calcinada, agua y arena para unir bloques de piedra y ladrillos. Posteriormente se le agregaron a la mezcla piedra triturada o tejas rojas. También se descubrió que materiales como la arena volcánica, mezclada con la caliza, arena y agua, producía un mortero de mayor resistencia, capaz de resistir la acción del agua dulce y salada. (Sánchez de Guzmán, 2001) (IECA, 2017)

**100 a.C.** En Roma se utilizaba el hormigón para la construcción de redes de agua potable y la evacuación de las aguas residuales. (IECA, 2017)

**1200** Se comenzó a mejorar la calidad de los morteros debido a una perfecta calcinación de la cal y del uso de un material similar a las tobas volcánicas (Sánchez de Guzmán, 2001).

Se dio inició a la construcción de la Catedral de Salisbury en Inglaterra, cuyos cimientos están hechos de hormigón (IECA, 2017).

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE POLITERAFTALATO DE ETILENO (PET)**

**1756** Durante muchos siglos, no se presentaron avances sobre el mortero, sino hasta que John Smeaton se le encomendara la construcción del faro de Eddyston. Se hicieron estudios para encontrar un mortero que soportara el azote continuo del agua y se dedujo que la cal hidráulica se podía obtener de una caliza que tuviera alto contenido de impurezas tipo arcilloso. (Sánchez de Guzmán, 2001)

**1824** Al cabo de pocos años, se mejora la calidad de los morteros dando inicio al desarrollo del concreto.

Joseph Aspdin patentó el cemento Portland, calcinando en un horno una mezcla de partes de piedra caliza por una de arcilla, la cual molió y pulverizó. Su nombre se debe Este método no fue demasiado empleado, fue conservado en secreto, puesto que nadie fue capaz de imitar a causa de su complejo procedimiento de fabricación, que encarecía su producción (Sánchez de Guzmán, 2001).

**1838** Se emplea por primera vez el cemento de Aspdin, este se había logrado una parcial sinterización por elección de la temperatura de cocción. El proceso de fabricación del cemento Portland no estaba suficientemente pulido por lo que no se podía producir a grandes escalas. (Palacios Santillán, 2014)

Este cemento se usó en la construcción del túnel bajo río Támesis, Londres.

**1845** El inglés Isaac Johnson perfeccionó el cemento quemando caliza y arcilla hasta formar Clinker, este fue pulverizado y se obtuvo un compuesto fuertemente cementante. También halló que la temperatura de calcinación debe elevarse al máximo (Sánchez de Guzmán, 2001).

## ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE POLITERAFTALATO DE ETILENO (PET)

- 1850** Lambot construyó una barca de cemento reforzado con alambres de hierro (Sánchez de Guzmán, 2001).
- 1861** El ingeniero Coignet innovó su utilización estableciendo normas para fabricar bóvedas, vigas, techos, entre otros (Palacios Santillán, 2014).
- 1892** François Hennebique patentó el hormigón armado (Sánchez de Guzmán, 2001).
- 1894** En Francia, se publicó un método que complementa Edmond Coignet y Tédesco, agregando el concepto de elasticidad del hormigón. Como factor en los ensayos (Palacios Santillán, 2014).
- 1900** Empezó un crecimiento notable del cemento Portland imponiéndose en las obras de ingeniería, sustituyendo por completo al cemento natural (Palacios Santillán, 2014).
- 1911** Graham utilizó fibras de acero para incrementar la resistencia del concreto (Mármol, 2010).
- 1960** Se comienza a utilizar fibras de vidrio, acero y polipropileno como refuerzo del concreto (Mármol, 2010).
- 1970** Se sustituye el asbesto por las fibras de vidrio y sintéticas, debido a que este produce cáncer (Martínez, Monsó, & Quero, 2004).
- 1980** A pesar de las mejoras técnicas introducidas, el cemento Portland continúa siendo, muy parecido al primero que se patentó, aunque su impacto y prestaciones han mejorado muy significativamente (IECA, 2017).

## **ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE POLITERAFTALATO DE ETILENO (PET)**

- 2000** Gracias a los ingenieros y múltiples investigadores, la tecnología del concreto nació en este siglo alcanzando el estudio del concreto reforzado (Sánchez de Guzmán, 2001).
- 2005** Joel Sosa y Sergio Galván, estudiantes mexicanos, patentaron el concreto translucido, que está compuesto por un aditivo llamado Ilum, permitiéndole el paso de luz en un 70% y es 15 veces más resistente y 30% más liviano que el concreto convencional (Sosa & Galván, 2005).

## **2. CAPITULO II: FIBRAS SINTETICAS**

En la actualidad, el uso de fibras de refuerzo como adición en el concreto ha tenido un impacto importante en los diseños y producciones de mezcla, cabe destacar, que esta técnica no es nueva en construcción, puesto que antes de la aparición del cemento Pórtland y del concreto, cuando se utilizaba adobe se le adicionaba pasto, hilo, vara, e inclusive, pelo animal, con el fin de evitar la fisuración y mejorar la resistencia a tensión. Sin embargo, con la llegada de la industria se han desarrollado nuevas técnicas, así como también nuevos materiales para la elaboración de fibras destinadas a la incorporación en la matriz de concreto, estas se caracterizan principalmente por su resistencia a los álcalis, por esta razón los materiales más usados para su producción son: polietilenos, acero, polipropileno, carbono, entre otros. (Antillón, 2016)

Las ventajas de usar fibras

1. Permite una reducción en las fisuras por asentamiento
2. Disminución de la fisuración por contracción plástica
3. Concretos menos permeabilidad
4. Aumento de la resistencia al desgaste y el impacto.

La propiedad mecánica más importante del concreto reforzado con fibras es el aumento en los esfuerzos de tensión de la matriz, puesto que el concreto por si solo tiene un mal comportamiento bajos los efectos de tracción. No obstante, resulta complejo la realización de ensayos uniaxiales donde solo mida la resistencia a la tensión de los concreto, siendo un material quebradizo resulta difícil conocer la respuesta después de aplicar las cargas máximas. Otra propiedad importante al momento de construir es la trabajabilidad, está demostrado que esta dependerá de la dosificación en volumen y la forma de las fibras, el estado superficial, el enlace entre ellas, las dimensiones de los agregados y su cantidad relativa. Para realizar ensayos de fluidez en este concreto, se hace estrictamente necesario aplicar la técnica del cono invertido, en el cual se utiliza una vibración interna. No se recomienda el tradicional ensayo de revenimiento, con el cono de Abrams al concreto reforzados con fibras, puesto que se pueden presentar algunas dificultades, debido a que los

## ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE POLITERAFTALATO DE ETILENO (PET)

concretos con fibras se caracteriza porque en la mayoría de casos son muy cohesivos y no hay flujo libre para la correcta realización del ensayo. (Antillón, 2016)

### 2.1. TIPOS DE FIBRAS

**Microfibras:** Mayormente son fibras de plásticos como, polipropileno, polietileno nylon; estas ayudan a disminuir la segregación de la mezcla de concreto y previenen la formación de fisuras durante la construcción. Las longitudes de las fibras oscilan entre los 12 mm y los 75 mm. (Antillón, 2016)

**Macrofibras:** Normalmente son de acero, vidrio, materiales sintéticos o naturales, los cuales se utilizan como refuerzo distribuido de manera aleatoria en todo el espesor del elemento. Estas fibras actúan como pequeñas celdas semejantes a las mallas electrosoldada y varillas de refuerzo, aumentando la tenacidad del concreto y agregando ductilidad y capacidad al material pos-agrietamiento. Entre los beneficios del uso de concreto reforzado con fibras - CRF- se encuentran el aumento de la resistencia al impacto y a la fatiga. El diámetro oscila entre los 0.25 mm y 1.5 mm con longitud variable entre 13 mm y 70 mm. (Antillón, 2016)

Según investigaciones realizadas, Johnston (1994) habla del efecto que tiene la orientación de la fibra en la mezcla. La orientación de una fibra relativa al plano de rotura, o fisura, influye fuertemente su habilidad en transmitir cargas. Las fibras paralelas al plano de falla no tienen ningún efecto sobre la rotura. mientras que aquellas posicionadas de manera perpendicular tiene efecto máximo. A continuación, veremos algunas de las propiedades más relevantes para el estudio de fibras. (Johnstonc, 1994)

a) Dosificación de fibra. Una alta dosificación de fibras otorga una mayor resistencia post-fisuración y menor dimensión de fisuras, siempre y cuando las fibras puedan absorber cargas adicionales por el fisuramiento.

b) Módulo de elasticidad de la fibra. Un valor elevado del módulo de elasticidad logra el mismo efecto que la dosificación fibra, pero, en la práctica, cuanto mayor es el módulo, mayor será la probabilidad de que haya una falla por adherencia.

c) Adherencia entre la fibra y la matriz. Lograr una alta adherencia entre la fibra y los agregados de la pasta reduce la aparición de fisuras y mejora la distribución de esfuerzo en la matriz.

## ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE POLITERAFTALATO DE ETILENO (PET)

d) Deformidad de la fibra. Esto permite tener mejor ductilidad además el un alto grado de deformación permite una mejor disipación de energía.

e) Longitud de la fibra. Está relacionada con la longitud de desarrollo de la fibra cuanto menor sea la longitud de la fibra, mayor será la posibilidad de que sean arrancadas. En realidad, no basta solo con la longitud de la fibra hay que tener en cuenta superficie y diámetro. Puesto que de esto dependerá la capacidad para desarrollar resistencia a la cizalladura y tracción. (Johnstonc, 1994)

### 2.2. FIBRAS SINTÉTICAS.

García (2007) define las fibras sintéticas como aquellas obtenidas a través de químicos de polirreacción, iniciando con sustancias de bajo peso molecular por vía puramente sintética, es decir, in vitro. Sin intervención de la naturaleza. dichas fibras, junto con las llamadas fibras artificiales (semisintéticas o regeneradas), son obtenidas por transformación química de productos naturales fibrosos, se engloban bajo la designación general de fibras químicas.

Las fibras sintéticas son fibras artificiales que resultan de investigaciones de industrias petroquímicas y textiles. Existen dos formas de fibras sintéticas: las de multifilamentos y las producidas de cinta de fibrilla, estas se caracterizan principalmente por su alta resistencia a la tensión. Actualmente, las utilizadas para reforzamiento de concretos y morteros son las fibras de polipropileno (Castro , 2016). La mayoría de las aplicaciones de las fibras sintéticas están en el nivel entre 0.1 – 0.2 % por volumen, la cantidad de fibras añadidas a una mezcla de hormigón se mide como un porcentaje del volumen total del material compuesto (concreto y fibras), al existir un mayor porcentaje de fibras en la mezcla, estas tienden a "agruparse" y crean problemas de trabajabilidad (Mestanza, 2016).

**Nylon**, estas fibras son utilizadas normalmente para el control del fisuramiento por retracción plástica, cabe resaltar que estas no aportan capacidad estructural al concreto. Las microfibras en el mercado en general tienen un diámetro entre 0.02 mm y 0.05 mm, y regularmente se ofrecen en longitudes desde 6 mm (1/4 in) hasta 25.4 mm (1 in). Actualmente la mayoría de proveedores de microfibras recomiendan dosificaciones de 0.6 Kg/m<sup>3</sup>. Para facilitar su dosificación se están usando bolsas hidrosolubles de 0.6 Kg. (Toxement, 2018)

## **ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE POLITERAFTALATO DE ETILENO (PET)**

Las fibras de nylon, son aplicables en la mayoría de los elementos de concreto, sobre todo aquellas que tienen grandes superficies, puesto que durante su proceso constructivo están expuestas a las condiciones ambientales desfavorables, por presencia de humedad, cambios de temperatura e inclusive fuertes ventiscas de aire. Este tipo de ambientes son muy comunes en placas de concreto puesto que están a la intemperie mientras se concluye la obra, en las grandes superficies recubiertas con morteros de bajo espesor especialmente el pañete, además se pueden usar en la construcción de tanques y estructuras enterradas, con refuerzo convencional (Toxement, 2018).

El **polietileno tereftalato (PET)**, para la industria es una de las fibras más importante. Por a su alto rendimiento y bajo costo; en cuanto a el reciclado de estas, es una de las opciones más apetecibles para la elaboración de fibras de alta resistencia. Existen una variedad de técnicas experimentales que han sido investigadas para la mejora de PET incluyendo coextrusión en estado sólido, calentamiento por microondas, entre otras. Sin embargo, su mayor uso hoy en día es en contenedores. En esta área, las botellas de bebidas son el número uno. De este modo, el PET es la estrella de reciclaje de plásticos. (Kusumocahyo, y otros, 2020)

Teniendo en cuenta las propiedades del PET, es válido estudiar el comportamiento que esta desempeña en la matriz de concreto puesto que las fibras de este material son poco corrosivas por ser polimérica, además de la mejor la resistencia a la tracción, cabe resaltar que estas pueden ser tratadas como micro-macro fibras según sus dimensiones descritas anteriormente, obteniendo buenos resultados en la retracción, resistencia al impacto y ductilidad. (Naser, Hawileh, & Abdalla, 2019)

## ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE POLITERAFTALATO DE ETILENO (PET)

### 3. CAPITULO III: INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE POLITERAFTALATO DE ETILENO EN LA MATRIZ DEL CONCRETO

En este capítulo se estudiará el uso de fibras de politeraftalato de etileno (PET) en la matriz del concreto a nivel local, nacional e internacional, sin embargo, este estudio no presenta muchos antecedentes, por lo que se trabajará con información en el ámbito nacional e internacional.

#### 3.1. ANTECEDENTES

Primero tenemos a Bermejo & Bru (2018), estudiantes de la Universidad de Cartagena, ellos se plantearon como objetivo principal determinar la incidencia del uso de fibras de Politeraftalato de etileno (PET) y Polipropileno, para disminuir el peso unitario del concreto de 3000 psi. Esto se hizo mediante ensayos de compresión, tracción, flexión, slump y peso unitario; para hacer la comparación entre las muestras con diferentes adiciones de fibras de PET (4%, 6%, 8%, 12% y 15%) y la muestra patrón.

Los materiales usados en esta investigación fueron cemento, triturado calizo, arena, agua fibras PET y PP. Las fibras de plástico fueron tomadas de desechos de tiendas y hogares, estas fueron lavadas para no tener afectaciones en la mezcla y se cortaron mecánicamente estableciendo un tamaño entre 3 a 5 mm de largo y 3 a 5 mm de ancho. (Bermejo Paredes & Bru Rivera, 2018)



*Ilustración 1. Fibras de PET y PP.  
Fuente. (Bermejo Paredes & Bru Rivera, 2018)*

## ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE POLITERAFTALATO DE ETILENO (PET)

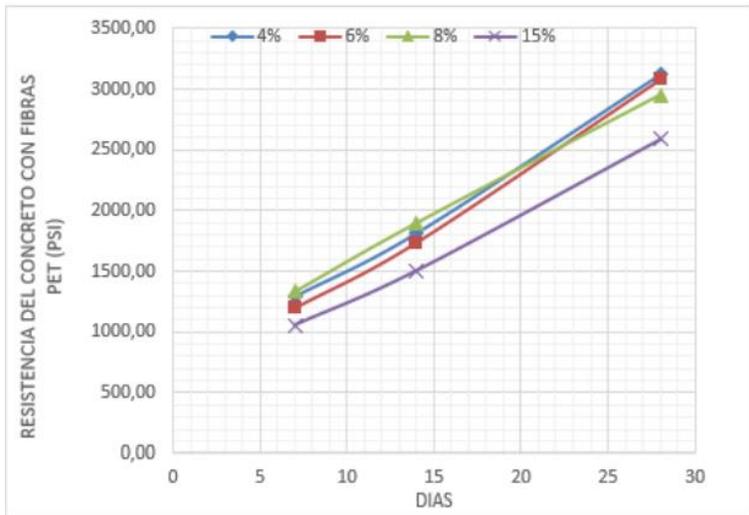
Se hicieron muestras de cilindros para los ensayos de compresión y tracción indirecta, y viguetas para los ensayos a flexión, con el fin de tener una precisión en los resultados se realizaron tres muestras de cilindros y dos de viguetas por cada porcentaje de fibra.



*Ilustración 2. Muestra de porosidad en cilindros por porcentaje agregado.  
Fuente. (Bermejo Paredes & Bru Rivera, 2018)*

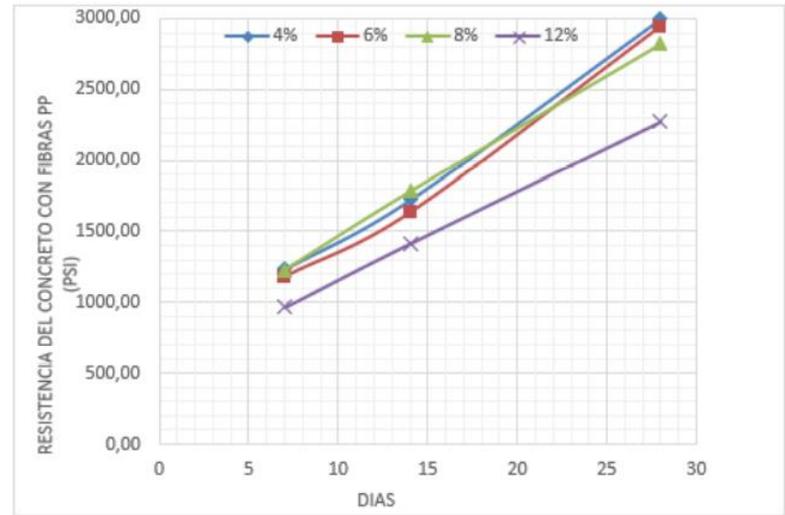
Como se puede notar en la **Ilustración 2**, a mayor adición en porcentaje de fibra, mayor es la porosidad en la mezcla, hasta un 6% de adición de fibras las muestras presentan un aspecto muy parecido a las muestras sin fibras, pero del 8% en adelante las alteraciones eran más notables, por lo que a medida que se aumentaba el porcentaje de fibra se presentó una baja manejabilidad del concreto (Bermejo Paredes & Bru Rivera, 2018).

## ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE POLITERAFTALATO DE ETILENO (PET)



**Gráfico 1.** Resistencia a compresión con adición de fibras PET.

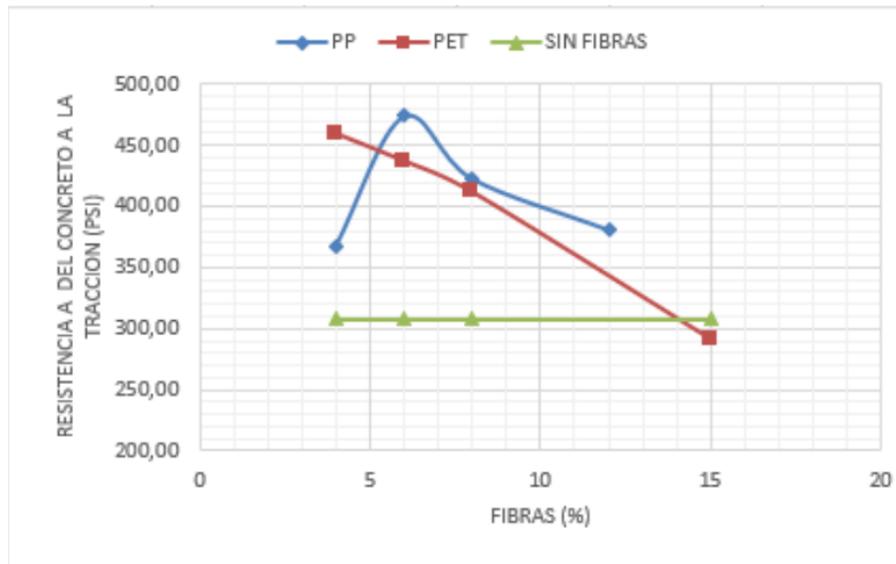
*Fuente.* (Bermejo Paredes & Bru Rivera, 2018)



**Gráfico 2.** Resistencia a compresión con adición de fibras de PP.

*Fuente.* (Bermejo Paredes & Bru Rivera, 2018)

Luego de evaluar todos los ensayos y sus resultados, se puede decir según el **Gráfico 1** y **2** que las fibras de PET y PP disminuyen la resistencia a compresión del concreto a medida que aumenta el porcentaje de adición de estas.



**Gráfico 3.** Resistencia a la tracción vs porcentaje de adición de fibra.

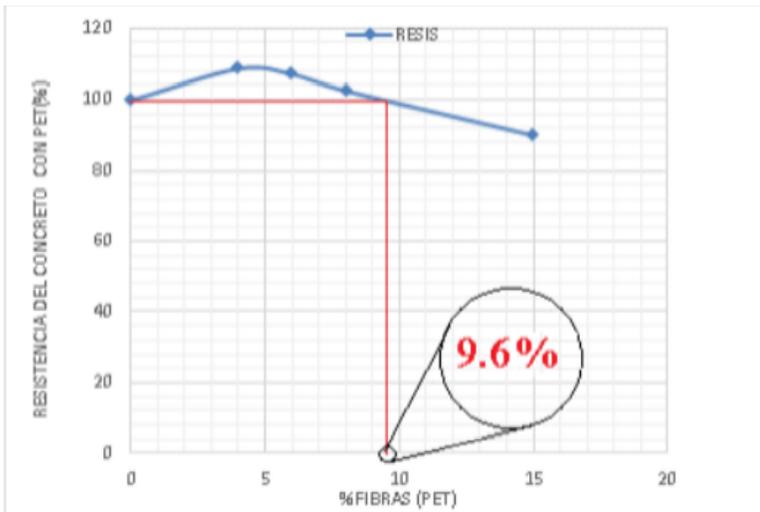
*Fuente.* (Bermejo Paredes & Bru Rivera, 2018)

Como se puede observar en el **Gráfico 3**, se logra un aumento en la resistencia a flexión del concreto con adición de fibras de PET y PP. La fibra de PP mostró un mayor aumento para los porcentajes de 4% y 6%, y a medida que fue aumentando el porcentaje de fibra disminuía

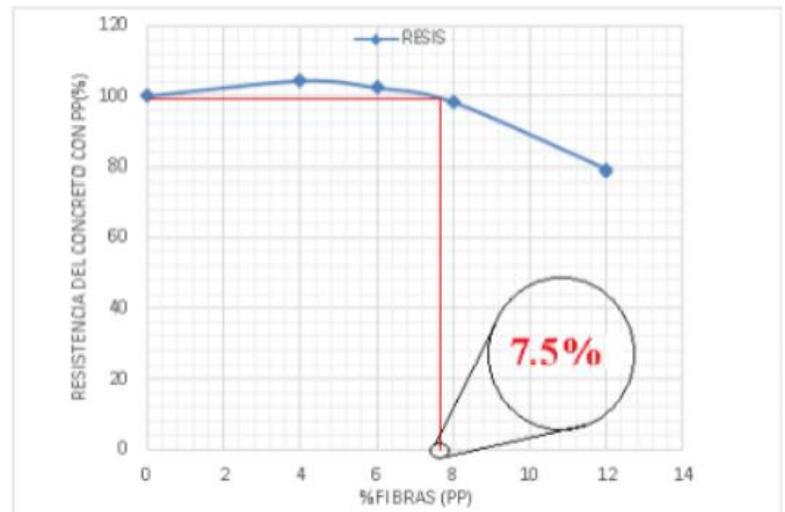
## ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE POLITERAFTALATO DE ETILENO (PET)

la resistencia, sin embargo, la resistencia con el porcentaje más alto de adición de fibra fue mayor que la obtenida sin adición; en el caso de la fibra PET, se notó una disminución de la resistencia a medida que aumentaba la adición de fibra, pero al alcanzar la adición del 15% la resistencia a la flexión resultó ser inferior a la muestra patrón.

Por último, para poder decir el porcentaje óptimo de adición de fibra los autores expresaron la resistencia a compresión y el porcentaje de fibra adicionada en porcentajes respecto a la muestra patrón, como se muestra a continuación.



**Gráfico 4.** Porcentaje óptimo de fibras PET.  
*Fuente.* (Bermejo Paredes & Bru Rivera, 2018)



**Gráfico 5.** Porcentaje óptimo de fibras de PP.  
*Fuente.* (Bermejo Paredes & Bru Rivera, 2018)

Como se puede ver en el **Gráfico 4** y **5**, el porcentaje óptimo de fibras de PET es 9.7% y 7.6% para PP, estos mostraron un mejor comportamiento en las propiedades mecánicas (Bermejo Paredes & Bru Rivera, 2018).

Caballero & Flórez (2016), se plantearon la alternativa de sustituir fibras de plástico de PET triturado por un porcentaje en volumen de agregado fino para la fabricación de bloques de hormigón de 6 pulgadas, aportando a la sostenibilidad del medio ambiente y ser usados en la construcción.

Se evaluaron las propiedades físicas y mecánicas de los bloques y si cumplían con los requisitos de la NSR-10 y la NTC; los bloques deben tener una medida de 15 cm x 20 cm x 39.5 cm y se le reemplazó la arena por proporciones de 12.5%, 25% y 37.5% de fibras de PET (Flores & Caballero, 2016).

## **ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE POLITERAFTALATO DE ETILENO (PET)**

Los resultados mostraron que los bloques fabricados no cumplieron con la resistencia mínima establecida en la NTC, por tal razón, estos bloques no pueden ser utilizados en la mampostería estructural, pero si como muros divisores no portantes. Por último, en cuanto a los costos resulta más económico los bloques con fibras de PET que un bloque convencional con diferencia de precios hasta de \$113.17 para sustitución del 37.5% de arena (Flores & Caballero, 2016).

### **3.2. ESTADO DEL ARTE**

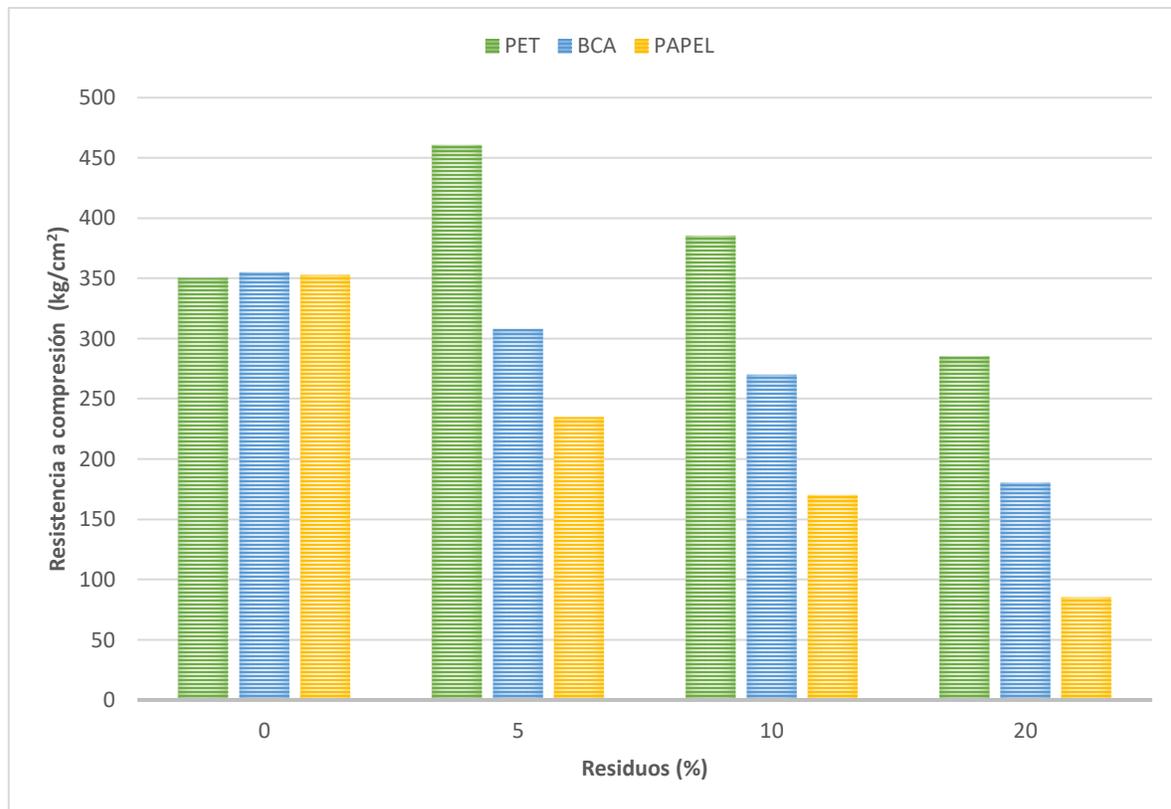
En Perú, Elías et al. (2019), determinaron los resultados al reutilizar residuos de plástico PET, papel y bagazo de caña de azúcar, como materia prima para la elaboración de concreto ecológico en la construcción de viviendas de bajo costo.

El plástico PET, se utilizó en forma de pellets de diámetro de 5 mm, estos se lavaron para eliminar toda impureza. El bagazo de caña de azúcar, se le realizó un lavado previo para eliminar la presencia de carbohidrato, luego se puso a secar para evitar hongos, estos se cortaron en fibra entre 15 y 25 mm. Y para el papel reciclado, primero se trituró mediante una máquina industrial, se puso en remojo y se arruga formando bolas de papel. Los porcentajes adicionados al hormigón son del 5%, 10% y 20% para cada residuo. (Elías , Sichez, & Reyna , 2019)



*Ilustración 3. Pellets de plástico.  
Fuente. (Baño Martí, 2020)*

## ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE POLITERAFTALATO DE ETILENO (PET)



**Gráfico 6.** Resistencia a la compresión de las fibras PET, bagazo de caña de azúcar y papel.

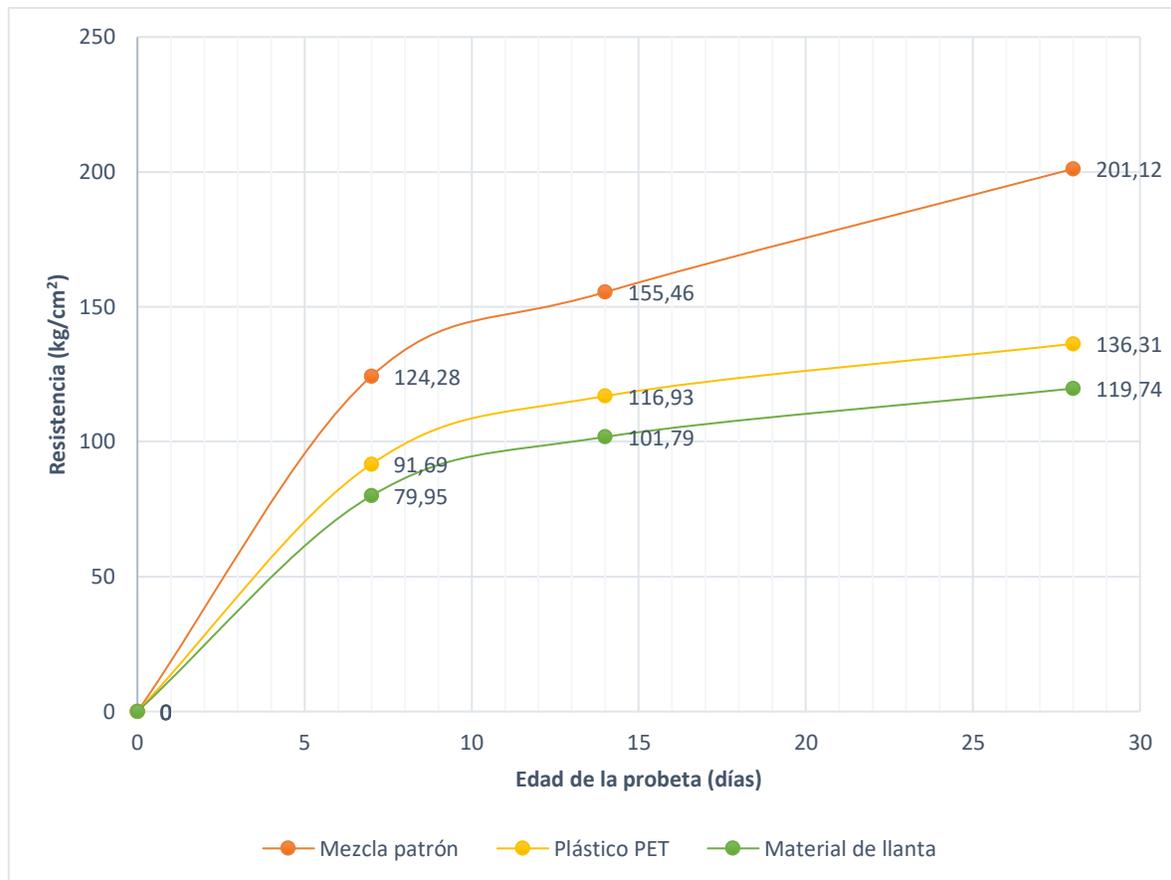
**Fuente.** (Elías , Sichez, & Reyna , 2019)

Gracias a los ensayos de resistencia a compresión se determinó que, si es posible reutilizar los residuos de plásticos de PET, bagazo de azúcar y papel. También se pudo observar que la resistencia disminuye conforme aumenta el porcentaje de residuos, en el porcentaje óptimo es del 5% de plástico de PET. (Elías , Sichez, & Reyna , 2019)

Otro estudio fue hecho en la universidad de San Carlos de Guatemala por Hernández Billy (2011), aquí se estudió la resistencia a la compresión de un concreto que contiene materiales reciclaje de plásticos de botellas PET y llantas.

Esto se hizo mediante una comparación de dichos resultados con una muestra patrón. La obtención de fibra de PET se hizo mecánicamente dando trozos de 12 mm<sup>2</sup> y las llantas se formaron en cubos de 4 mm por cada lado. Gracias a los ensayos de resistencia a compresión se pudo ver el comportamiento como se muestra a continuación. (Hernández , 2011)

## ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE POLITERAFTALATO DE ETILENO (PET)

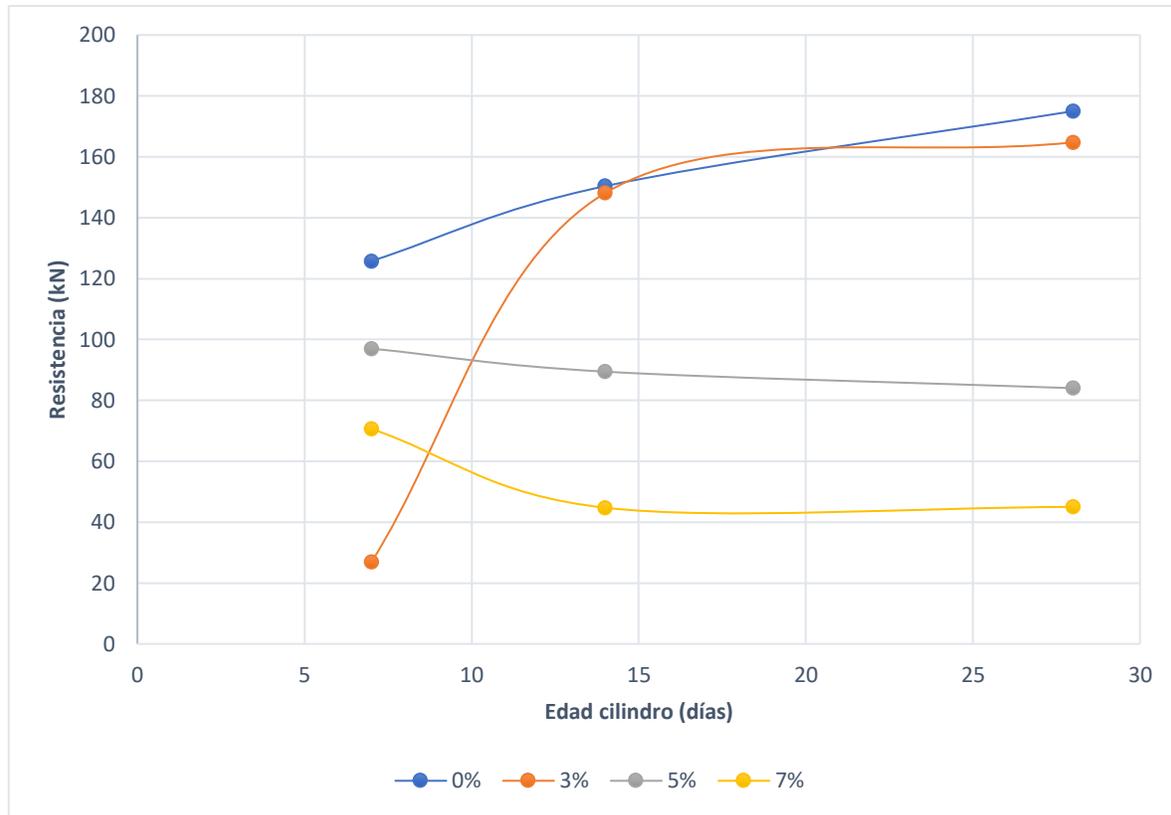


**Gráfico 7.** Comportamiento en el tiempo de los distintos tipos de mezcla.  
*Fuente.* (Hernández, 2011)

En el **Gráfico 7** se pudo observar que la adición de ambos residuos disminuyó la resistencia de compresión, pero se observó que entre los 7 y 28 días hubo un aumento de 38.2% de su resistencia. Por último, las mezclas estudiadas presentan características aptas para usos no estructurales, sin embargo, poseen una ventaja para la mitigación de daños ambientales. (Hernández, 2011)

Silvestre (2015), planteo como objetivo en su trabajo de investigación el análisis del uso del PET como material aligerante dentro de una mezcla de concreto, se determinó mediante ensayos de compresión y módulo de elasticidad variando la adición de fibra en 3%, 5% y 7% y comparándola con una muestra patrón.

## ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE POLITERAFTALATO DE ETILENO (PET)



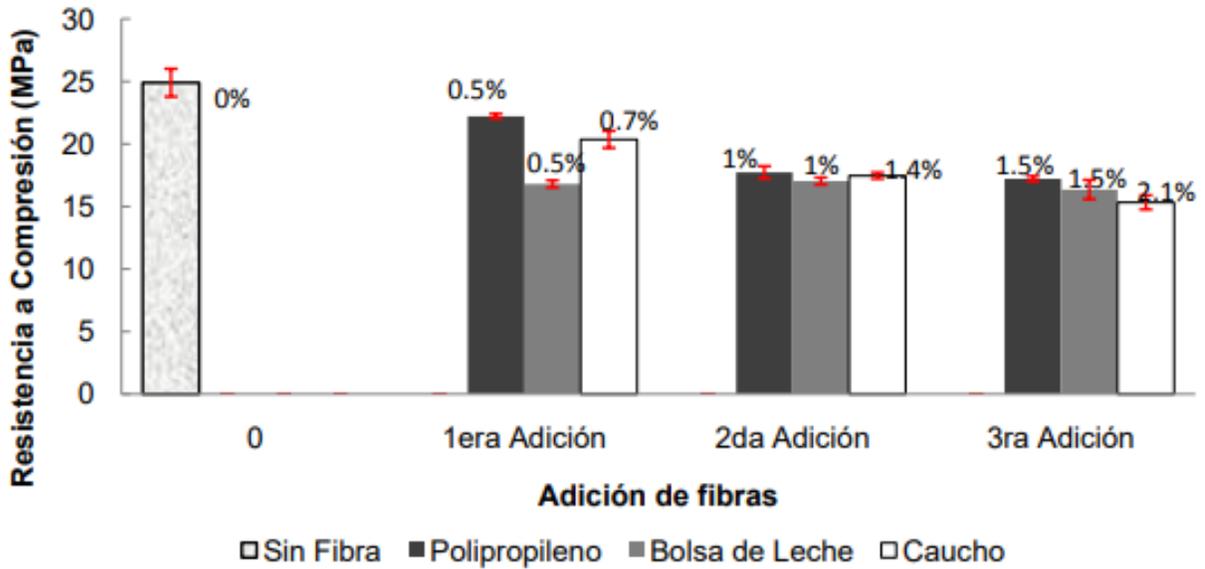
**Gráfico 8.** Resistencia vs Edad del cilindro.  
*Fuente.* (Silvestre , 2015)

En el **Gráfico 8** se observa que no se cumple el objetivo debido a la disminución de la resistencia conforme se aumenta el porcentaje de fibra. Por último, la deformación elástica crece en menor proporción que los esfuerzos y los cilindros con adición de PET presentan fallas debido a su poca adherencia entre la fibra y el concreto. (Silvestre , 2015)

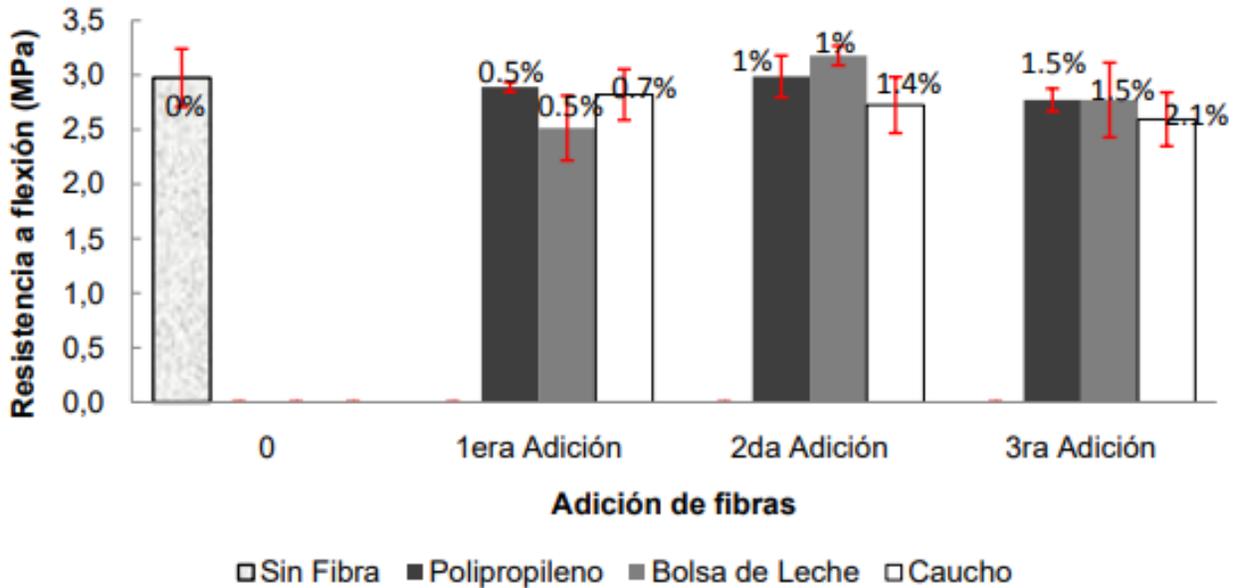
Boada & Pérez (2011), tienen como objetivo principal determinar la resistencia de una mezcla de concreto MR-3.5MPa para pavimento con adición de fibras reciclables e industriales. Se emplearon fibras de polipropileno de 18  $\mu\text{m}$  de diámetro y largo de 12 mm, también se usó caucho de llantas, estas fueron cortadas en tiras de 5cm de largo x 0.4 cm de ancho x calibre de 2mm y bolsas de leche, en forma de tiras de 2 mm de ancho x 40 mm de largo.

Al diseño de mezcla se le adiciono 0.5%, 1% y 1.5% de fibras de polipropileno y bolsas de leche, y para el caucho se le adiciono 0.7%, 1.4% y 2.1%.

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE POLITERAFTALATO DE ETILENO (PET)**



*Gráfico 9. Resistencia a compresión para cada porcentaje de fibra.  
Fuente. (Boada & Pérez , 2011)*



*Gráfico 10- Resistencia a flexión para cada porcentaje de fibra.  
Fuente. (Boada & Pérez , 2011)*

Teniendo en cuenta los **Gráficos 9 y 10**, se puede inferir que el porcentaje óptimo para las fibras de polipropileno y tiras de bolsa de leche es de 1% y para las tiras de caucho es de 0.7%, debido a que poseen una buena resistencia a flexión, pero no aportan en la resistencia a compresión (Boada & Pérez , 2011).

## **ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE POLITERAFTALATO DE ETILENO (PET)**

En la investigación llevada a cabo por Morales y León (2017), se concentró en abordar el delicado tema de la preservación del medio ambiente y la deficiente disposición de los residuos sólidos que han sido el producto de muchos años de trabajo de los sectores responsables del deterioro ambiental. Mostrándose afectado el municipio recibiendo críticas por los problemas que generan los desechos en las fuentes hídricas, en base a estas afirmaciones diseñaron y elaboraron bloques de ladrillo con adición de PET, tratando útilmente el material reciclado proveniente de los residuos sólidos generados en los núcleos rurales. Es decir, se formuló una solución de como reutilizar y aprovechar los envases plásticos, con el objetivo de llevar a un futuro la implementación de un nuevo sistema resistente a base de material reciclado, teniendo como resultado que la sociedad pueda tener un desarrollo sostenible que vaya en armonía con la naturaleza.

De acuerdo con lo anterior, el objeto de este trabajo investigativo, fue “evaluar las propiedades de resistencia y absorción del ladrillo macizo tipo tolete adicionándole fibras plásticas reciclables e industriales (polietileno tereftalato–PET)”, dichos filamentos reemplazarían parte del agregado. Para su posterior evaluación y comparación de muestras con diferentes porcentajes de adición con una variación del 20% hasta el 40%, tomando como referencia la muestra sin adición (muestra patrón). Según los resultados obtenidos, se pudo afirmar que al incorporar fibras de PET, se logra una mejor trabajabilidad en la elaboración de toletes, además de mejorar su absorción, sin embargo al comparar con el bloque patrón se demostró que al adicionar PET en los ladrillos se genera una caída en la resistencia, puesto que todos los resultados estuvieron por debajo de la muestra con 0% de fibras. (León Téllez & Di Marco Morales, 2017)

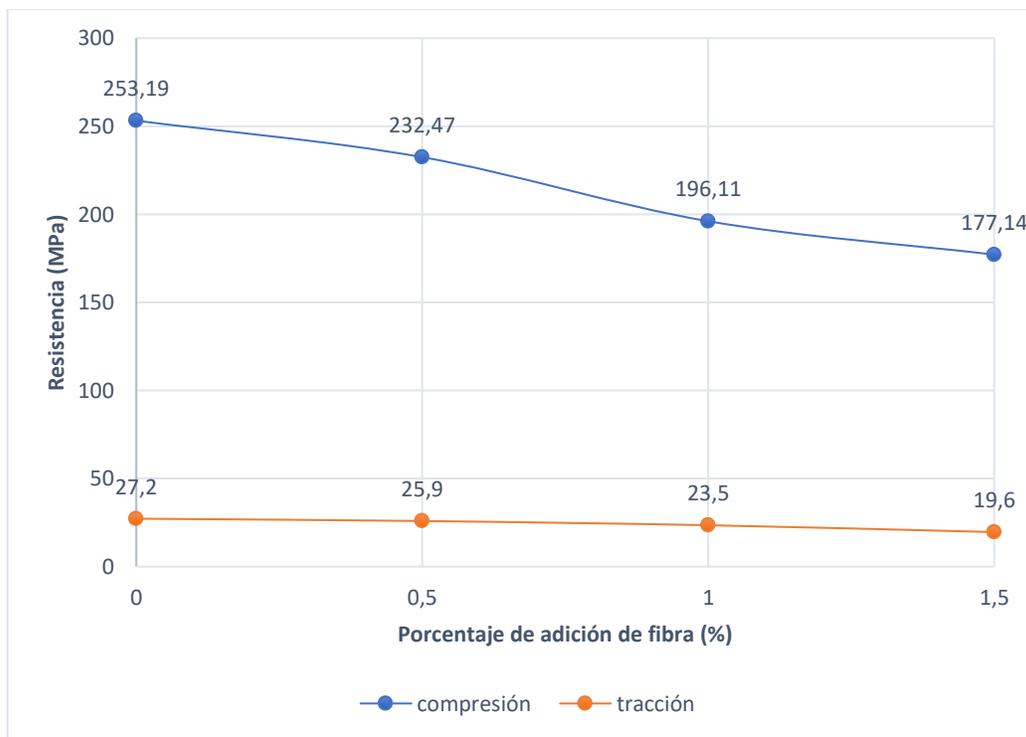
Aguilera & Diestra (2017), nos habla del “la influencia de las fibras de PET reciclado como refuerzo en una matriz de concreto”, para este estudio se utilizó PET en forma de escamas en diferentes porcentajes de adición, 0%, 0.5%, 1%, 1.5%.

## ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE POLITERAFTALATO DE ETILENO (PET)



**Ilustración 4.** *Fibras de PET en forma de escamas.*  
**Fuente.** (Tecnología de los plásticos, 2012).

Para poder comparar los diferentes porcentajes de adición de PET los autores hicieron ensayos de resistencia a la compresión y a la tracción, y debía cumplir la resistencia requerida para elementos prefabricados de  $210 \text{ kg/cm}^2$ .



**Gráfico 11.** *Resistencia a la compresión y tracción con adición de fibra de PET a los 28 días de curado.*  
**Fuente.** (Aguilera & Diestra, 2017)

Los resultados mostraron que a mayor aumento de fibra la resistencia a compresión y tracción disminuían, sin embargo, se calculó un porcentaje máximo de adición de fibra de PET el cual presentó el rendimiento deseado, el cual fue del 0.5%, donde la resistencia a compresión dio  $232.47 \text{ kg/cm}^2$  y la tracción  $25.9 \text{ kg/cm}^2$  (Aguilera & Diestra, 2017).

## ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE POLITERAFTALATO DE ETILENO (PET)

Vali & Asadi (2017), hicieron un estudio para decidir “la calidad ideal y el impacto de la reutilización de botellas de PET como sustitución fraccional del agregado fino en el concreto”. Esto se hizo sustituyendo el 5%, 10%, 15% y 20% de arena por escamas de PET para diferentes grados de concreto (M20, M25 y M30).



*Ilustración 5. Escamas de envases de PET.  
Fuente. (Vali & Asadi, 2017)*

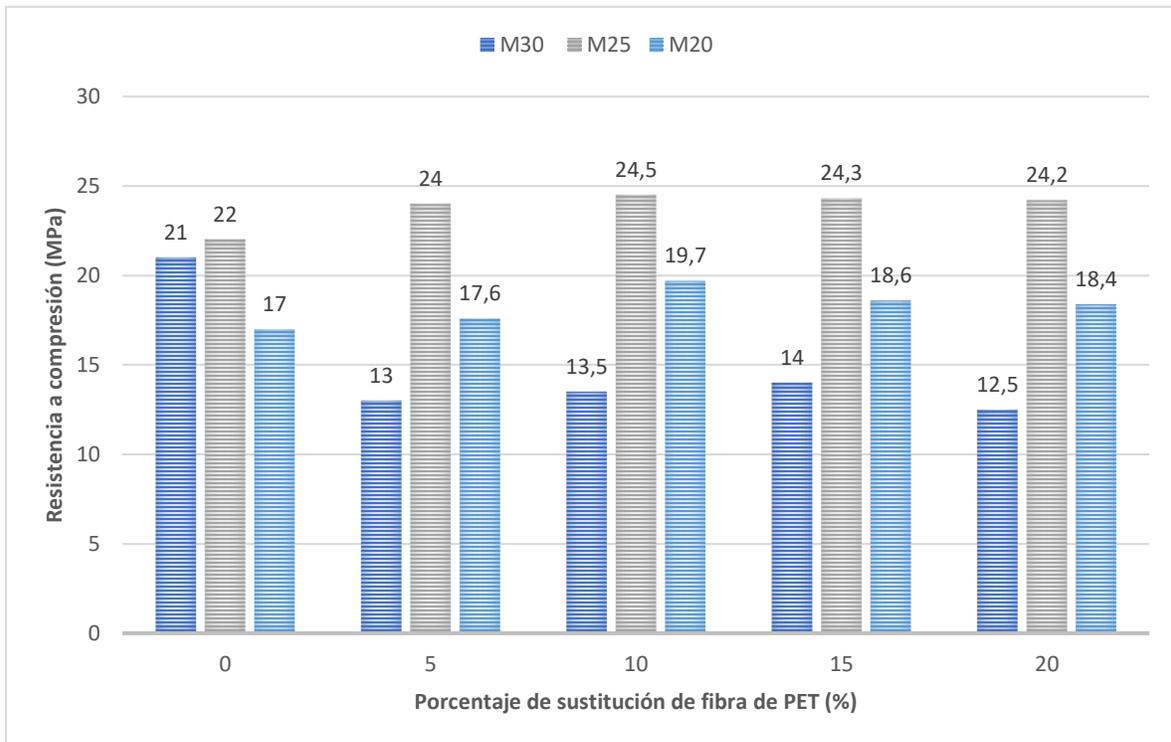
*Tabla 1. Composición de la mezcla.*

Material	Porcentaje de residuos de PET (%)			
	5	10	15	20
Agua	187	187	187	187
Cemento (kg/m <sup>3</sup> )	413	413	413	413
Agregado fino (kg/m <sup>3</sup> )	703	666	629	592
Agregado grueso (kg/m <sup>3</sup> )	1092	1092	1092	1092

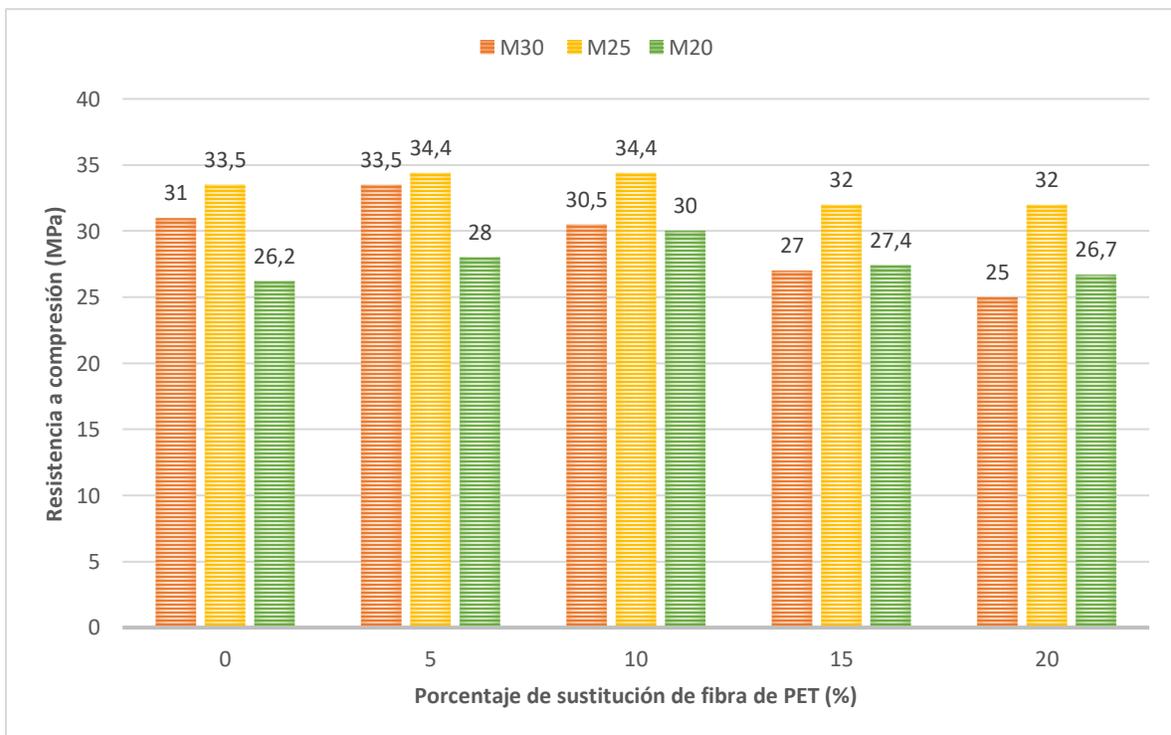
*Fuente. (Vali & Asadi, 2017)*

Para poder hacer el análisis de esta investigación se hicieron ensayos de compresión y tensión a los 7 y 28 días, a continuación, se mostraron los resultados para los diferentes grados de concreto.

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE POLITERAFTALATO DE ETILENO (PET)**



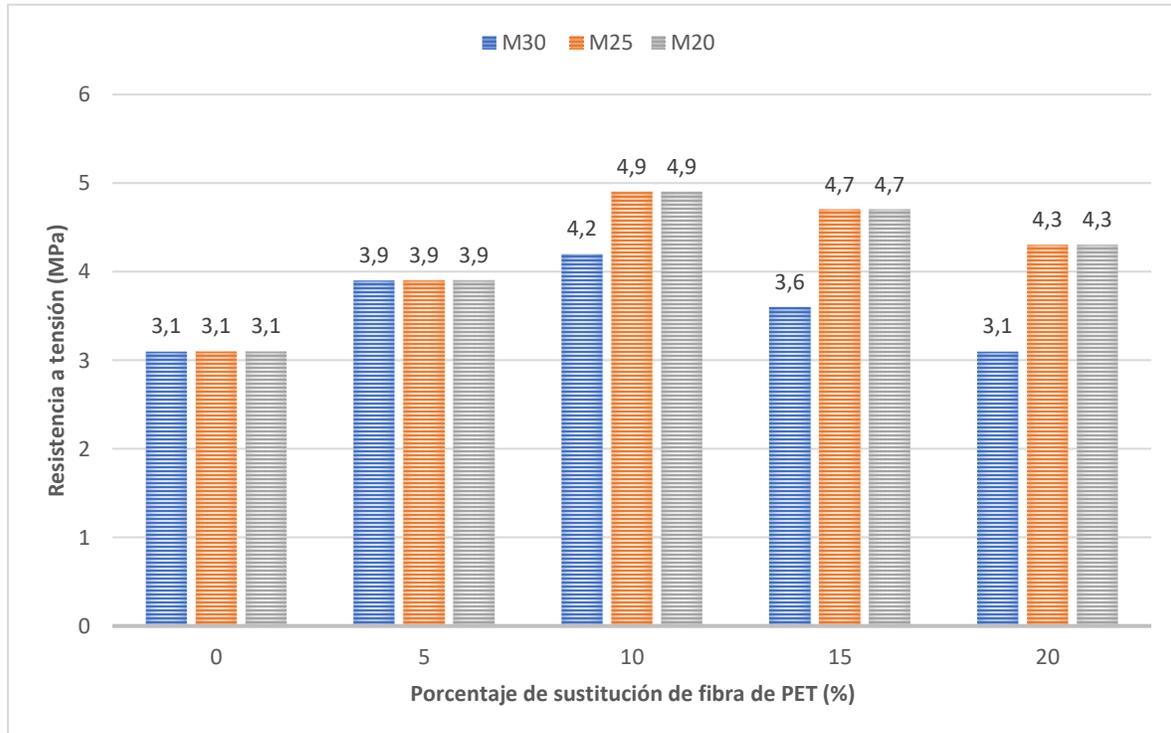
**Gráfico 12.** Resistencia a la compresión a los 7 días.  
Fuente. (Vali & Asadi, 2017)



**Gráfico 13.** Resistencia a la compresión a los 28 días.  
Fuente. (Vali & Asadi, 2017)

## ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE POLITERAFTALATO DE ETILENO (PET)

Se puede observar del **Gráfico 12** y **13**, que para la mayoría de los diferentes grados de concreto hubo un incremento en la resistencia a compresión hasta un 10% de sustitución del agregado fino y a medida que se aumenta el porcentaje de PET esta va disminuyendo.



**Gráfico 14.** Resistencia a la tensión a los 28 días.  
**Fuente.** (Vali & Asadi, 2017)

De la resistencia a tensión también podemos observar que esta aumenta hasta un 10% de sustitución de arena por PET y luego va a disminuyendo a medida que aumenta el porcentaje de la fibra.

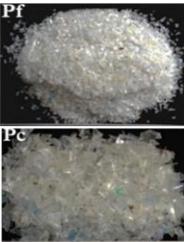
De esto podemos concluir que, si se puede utilizar residuos de envases de plástico para mejorar la calidad del concreto, resulta más económico que el agregado y el porcentaje óptimo de sustitución del agregado fino por residuos de PET es el 10%. (Vali & Asadi, 2017)

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE POLITERAFTALATO DE ETILENO (PET)**

**1. CAPITULO IV: ANALISIS COMPARATIVO Y ALTERNATIVAS**

En el siguiente cuadro comparativo se muestra la recopilación de información obtenida a partir de artículos y revistas indexadas, al igual que investigaciones realizadas tanto a nivel local como mundial, donde se estudió las propiedades mecánicas del concreto al adicionar fibras de PET en la matriz de concreto en cada investigación, adicionalmente se reporta la resistencia a compresión y tensión.

*Tabla 2. Matriz comparativa.*

Autor(es)	Lugar	Observación	Forma	Imagen	Dosificación	Compresión (Mpa)			Tracción (Mpa)		
						7 días	14 días	28 días	7 días	14 días	28 días
Fraternali et al. (2011)	Italia	Adición	Tira lisa de 1.1 mm x 40 mm		1%	-	-	42.57	-	-	-
			Tira lisa 0.7 mm x 52 mm		1%	-	-	38.44	-	-	-
			Tira corrugada 0.7 mm x 52 mm		1%	-	-	31.51	-	-	-
Mahyar et al. (2016)	Irán	Sustitución de agregado por PET	Escamas de 2 mm a 4.9 mm		0%	19	21	35	2.2	2.3	2.5
					5%	21	32	51	3.5	2.9	3.1
					10%	17	31	38	2.3	2.8	3.3
			Escamas 0.05 mm a 2 mm		15%	14	27	31	1.7	2.6	2.9
					20%	13	23	29	1.6	2.1	2.8
					25%	12	18	22	1.5	2	2.2
30%	9	11	19	1.0	1.4	1.6					
Azad Mohammed (2017)	Iraq	Adición	Escamas cuadradas de 3 mm – 6mm y 12 mm (revueltas)		0%	-	-	33.07	-	-	-
					5%	-	-	27.05	-	-	-
					10%	-	-	31.82	-	-	-
					15%	-	-	32.57	-	-	-
Alfahdawi I. (2019)	Malasia	Sustitución de agregado por PET	Rectangular de 2 mm x 12 mm		0.25%	-	-	67	-	-	-
Nikbin (2020)	Irán	Sustitución de agregado por PET	Escamas 7 mm de diámetro		0%	-	-	26.2	-	-	6.93
					5%	-	-	26.1	-	-	6.62
					10%	-	-	24.4	-	-	6.10
					15%	-	-	22.7	-	-	5.59
Sabanaria (2016)	Uruguay	Adición	Rectangulares 4 mm x 50 mm		0%	-	-	25	-	-	3.63
					0.3%	-	-	20.9	-	-	4.5
Bermejo & Bru (2018)	Cartagena	Adición	Rectangulares 3 a 5 mm x 3 a 5 mm		0%	8.37	13.55	19.8	-	-	1.5
					4%	8.9	12.5	21.8	-	-	2.2
					6%	8.4	12.14	21.5	-	-	2.1
					8%	9.32	13.27	20.6	-	-	1.96
					15%	7.4	10.5	18.1	-	-	1.8

*Fuente. Autores.*

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE POLITERAFTALATO DE ETILENO (PET)**

En la **Tabla 3**, para obtener un mejor análisis, se muestra la relación de las resistencias con adición de las fibras de PET con sus diferentes porcentajes de adición, respecto a la resistencia de la muestra patrón.

*Tabla 3. Relación de concreto con adición de fibras de PET respecto a la muestra patrón.*

Autores	Lugar	Observación	Forma	Dimensión			Dosificación	Compresión (Mpa)			Tracción (Mpa)		
				Diámetro (mm)	Ancho (mm)	Largo (mm)		7 días	14 días	28 días	7 días	14 días	28 días
Mahyar et al. (2016)	Irán	Sustitución de agregado por PET	escamas	2 - 4.9	-	-	0%	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
							5%	1.11	1.52	1.46	1.59	1.26	1.24
							10%	0.89	1.48	1.09	1.05	1.22	1.32
			escamas	0.5 - 2	-	-	15%	0.74	1.29	0.89	0.77	1.13	1.16
							20%	0.68	1.10	0.83	0.73	0.91	1.12
							25%	0.63	0.86	0.63	0.68	0.87	0.88
							30%	0.47	0.52	0.54	0.45	0.61	0.64
Azad Mohammend (2017)	Iraq	Adición	Escamas cuadradas	-	-	3 - 6 - 12	0%	-	-	1.00	-	-	-
							5%	-	-	0.82	-	-	-
							10%	-	-	0.96	-	-	-
							15%	-	-	0.98	-	-	-
Nikbin (2020)	Iran	Sustitución de arena por pet	escamas	7	-	-	0%	-	-	1.00	-	-	1.00
							5%	-	-	1.00	-	-	0.96
							10%	-	-	0.93	-	-	0.88
							15%	-	-	0.87	-	-	0.81
Bermejo & Bru (2018)	Cartagena	Adición	Rectangulares	-	3 a 5	3 a 5	0%	1.00	1.00	1.00	-	-	1.00
							4%	1.06	0.92	1.10	-	-	1.47
							6%	1.00	0.90	1.09	-	-	1.40
							8%	1.11	0.98	1.04	-	-	1.31
							15%	0.88	0.77	0.91	-	-	1.20

*Fuente. Autores.*

## ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE POLITERAFTALATO DE ETILENO (PET)

Según lo observado en la **Tabla 3**, la resistencia a compresión no se tendrá en cuenta para efectos de selección de fibra que mejor se incorpora a la matriz de concreto puesto que se puede observar cierta caída de esta propiedad cuando se adicionan las fibras, por este hecho no se tendrá en cuenta como parámetro al escoger la resistencia a tensión teniendo en cuenta la que mayor valor adquiere basados en la muestra patrón de cada investigación.

La investigación realizada por Mahyar et al. (2016), donde se usaron escamas con diámetros de 2 a 4.9 mm obtuvieron que el porcentaje que mejor favorece la resistencia a compresión es de 5%, logrando una resistencia de 1.4 veces la muestra patrón (0% de fibras), de igual forma se observa que para la resistencia a tensión mejora inicialmente a los 7 días alcanzando 1.6 veces con respecto a la muestra referente (patrón) y luego cae hasta un 1.24 a los 24 días, cabe mencionar que estas escamas se agregan como sustitución de un agregado fino. Por otro lado Nikbin (2020), también experimentó con escamas pero con un diámetro de (7mm) más del doble que Mahyar, con porcentajes de 5%, 10% y 15%, donde coincidieron que el porcentaje que mejor favorece es del 5%, sin embargo los resultados de esta investigación arrojaron que no hay aumento en la resistencia a la compresión a los 27 días y hay una ligera caída de la resistencia a tracción de 0.96 de la muestra patrón por lo anterior se puede concluir que diámetro de las escamas tienen efectos sobre la incidencia en las propiedades mecánicas como lo es la resistencia a tracción.

Para las adiciones realizadas por Bermejo & Bru (2018) en la adición de fibras es de 5mm a 3mm y porcentajes de 4%,6%,8%, según la Tabla 3 muestra que la que mayor resistencia ofrece a los 7 días es la del 8% (1.11) más de la muestra patrón, sin embargo al cabo de los 14 días obteniendo así como mejor porcentaje el 4%, mientras que para la tracción quien mejor se comporta en la matriz es del 4% en el orden de los 1.47 por encima de la muestra patrón, también observamos que para esta investigación la resistencia a la tracción aumento para todos los porcentajes.

De esta manera queda que los porcentajes que mejor favorecen a la matriz de concreto están el orden del 4 a 6 para fibras de adición y del 5% para las escamas como sustitución del agregado fino, a manera de recomendación para investigaciones futuras estudiar el comportamiento interno de las fibra de PET en la matriz de concreto, teniendo en cuenta la adherencia, y longitud de desarrollo entre los filamentos y la pasta con los agregados, de

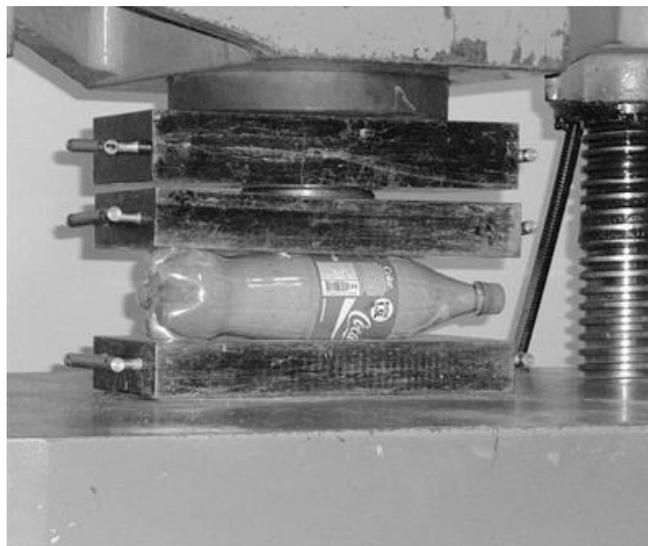
## ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE POLITERAFTALATO DE ETILENO (PET)

igual forma el estudio de la resistencia la impacto, la ductilidad y la duración a edades lejanas y ambientes corrosivos.

### 4.1.ALTERNATIVAS DEL USO DEL PET COMO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

#### 4.1.1. Construcción con botellas plásticas PET con relleno de tierra.

Los grupos GRIME y Construcción de la Pontificia Universidad Javeriana, asociados con Eco-Tec Soluciones, realizaron una investigación, donde evidencian factores tener en cuenta cuando se quiere construir con botellas de platico desechables de igual forma se llevaron a cabo ensayo con el finde determinar las cargas máximas a las que puede ser sometidas las botellas de PET llenas de tierra, escombros, relleno sanitario y vacías. (Ruíz et al, 2012)



*Ilustración 6. Ensayo compresión simple.  
Fuente. (Ruíz et al, 2012).*

En este artículo se presenta los avances de la investigación en la que se realizaron pruebas para evaluar la resistencia a la compresión de botellas de PET rellenas de escombros y arcilla arenosa, aplicándole una carga perpendicular a la superficie, para realizar las pruebas se tomaron botellas de diferentes tamaños, 600 ml, 1.500 ml y 2.000 ml y con diferentes rellenos: escombros, tierra arenosa, con mini relleno sanitario y vacías; en la siguiente tabla se muestra resumen de los resultados. (Ruíz et al, 2012)

## ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE POLITERAFTALATO DE ETILENO (PET)

*Tabla 4. Resultado de las cargas máxima soportadas.*

<b>Probeta</b>	<b>Relleno</b>	<b>Tamaño (ml)</b>	<b>Carga máxima soportada (kN)</b>
1	Escombros	600	310
2	Escombros	1500	192
3	Mini relleno sanitario	2000	50
4	Tierra arenosa	600	101
5	Tierra arenosa	1500	70
6	Vacía	600	5
7	Vacía	600	4

*Fuente: (Ruíz et al, 2012).*

De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede observar que la mejor que se comporta ante la aplicación de carga son las botellas rellanas con escombros seguido de las rellenas con tierra arenosa, de igual forma, las botellas de menor tamaños 600 ml presentan mayor resistencia a la compresión, estas botellas llenas de escombros están en el orden de magnitud de las fuerzas resistentes de un ladrillo de arcilla cocido con perforaciones horizontales (Ruíz et al, 2012).

### **4.1.2. Botellas de PET como material de construcción sostenible.**

Donde se buscaba evaluar la posibilidad de reciclar botellas de PET de desecho. Para realizar estudio, lo primero fue la recolección de residuos de botellas de PET en tiendas, centros de acopio y otros posibles recursos. Una vez recolectadas las botellas, deben llenarse con tierra local disponible para que tengan la resistencia estructural. El trabajo experimental, tomaron la tierra de relleno de tamaño de malla 60, 100 y PAN, que primero se tamiza con un tamiz agitador adecuadamente para eliminar cualquier partícula extraña de gran tamaño no deseada. Una vez que todas las botellas recolectadas se llenan con esta tierra preparada y se apisonan en cuotas, se tapan y sellan herméticamente. Ahora, para comprobar la resistencia estructural, se realizan varias pruebas y se comparan con las de un ladrillo. También se realiza un análisis económico comparativo (Singh & Kansal, 2014).

## ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE POLITERAFTALATO DE ETILENO (PET)



*Ilustración 7. Prueba aplicada en botellas de PET llena de desechos.  
Fuente. (Ruíz et al, 2012).*

Los ensayos realizados resistencia a la compresión simple para cada botella se determinó en una máquina de prueba universal y el valor promedio se consideró para el análisis. Se anotó el peso de las botellas de PET vacías y las botellas de PET completamente llenas y se calculó la cantidad de tierra utilizada para las mismas. De manera similar, la resistencia a la compresión del ladrillo se calculó tomando el valor promedio y los resultados se compararon y analizaron (Singh & Kansal, 2014).

Donde se usó la fórmula de esfuerzo,

$$\sigma = \frac{P(N)}{A(mm^2)}$$

En la siguiente tabla se muestra el resumen de los resultados máximos de las cargas aplicado a 8 muestras rellenas con tierra, cada botella presenta una ligera variación en el peso y el área.

## ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE POLITERAFTALATO DE ETILENO (PET)

*Tabla 5. Resultados compresión simple.*

Carga (kN)	Área (mm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
130	14202.5	8.99
130	14205	8.99
130	14201.9	8.99
130	14201.6	8.99
130	14202.5	8.99
130.1	14202.1	9.00
130.05	14201.9	8.99
130.23	14212.8	9.00

*Fuente. (Ruíz et al, 2012).*

Al realizar la comparación económica con un ladrillo convencional usar block de PET reciclado arroja un ahorro total de 4.4 rupias. Que representa un ahorro de 220 peso colombianos por bloque (Singh & Kansal, 2014).

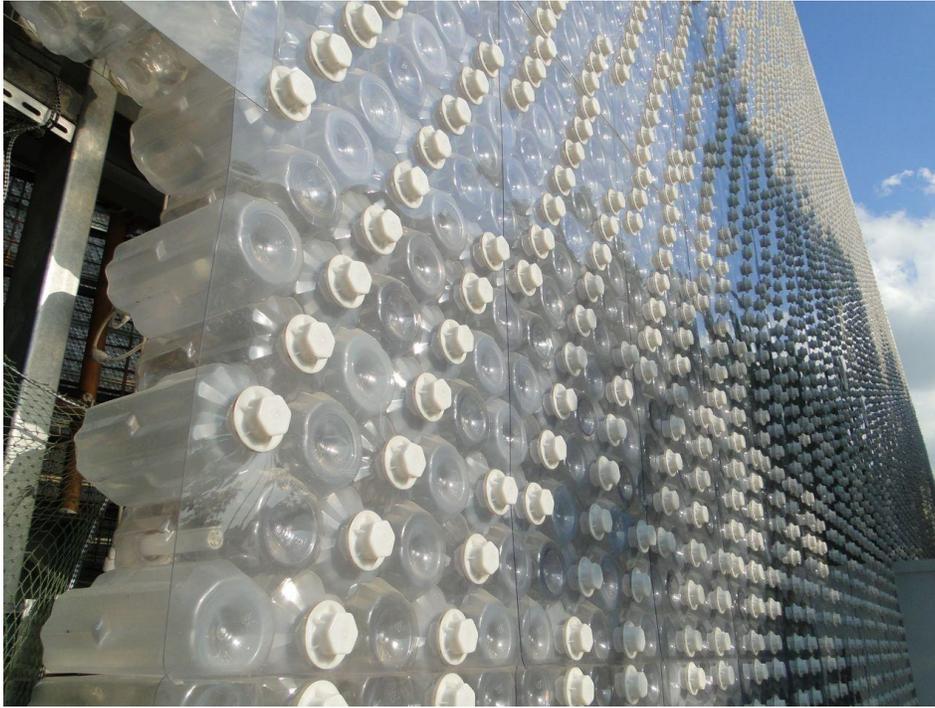
### 4.1.3. EcoARK

Anteriormente se habló de la reutilización y reciclaje de las botellas plásticas (envases de PET), sin embargo, no se le hace ninguna modificación a las mismas. Estas son empleadas en construcciones muy básicas puesto que es cortar, moler estirar. Pero el arquitecto Arthur Huang quiso ir más allá, y se preguntó, ¿se podría reutilizar este material de desecho para una arquitectura más innovadora y de vanguardia?, se respondió, y si diseñó un edificio ecológico hecho con botellas PET, o con “ladrillos ecológicos”, como él lo llama. Huang siempre se preocupa por la protección ambiental por lo que pensó en reutilizar las botellas de PET. Esta idea se le ocurrió estando en su estudio cuando se dio cuenta que había muchas botellas, aprovechando que se tiene la tecnología y los equipos para poder convertir esa basura en materiales útiles, dio paso a construir el edificio llamado EcoARK, llamado así por el nombre de la empresa Far Eastern, patrocinadora de este pabellón de la Feria Flora Taipéi 2010. (Bartolomé, 2018)

Es el primer edificio construido con paredes exteriores de botellas de agua elaboradas en plástico. Este edificio tiene un área de 2.186 m<sup>2</sup> y el punto más alto llega a los 28 m. Una botella PET al uso es estructuralmente débil, por lo que Huang se preguntó ¿qué pasa si se

## ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE POLITERAFTALATO DE ETILENO (PET)

unen? Después de varios intentos el arquitecto creó un bloque de botellas, de forma hexagonal, de 30 cm de largo y 17 cm de ancho, con lados alternadamente cóncavos o convexos de forma que se trabaran entre sí, se inspiró en los juegos Lego y las colmenas de abejas, como se muestra en la **Ilustración 8**. (Bartolomé, 2018).



*Ilustración 8. Fachada edificio EcoArk en Taiwán.  
Fuente. (Bartolomé, 2018)*

Estos bloques de botellas requieren de un proceso antes de ser utilizados, primero la botella de PET es lavada para ser triturada en forma de escamas y posteriormente se derriten para así poder formar los ladrillos del material reciclado. Para la construcción del edificio, Huang opta por dejar las botellas vacías, puesto que el aire es el mejor aislante natural y además deja pasar la luz, reduciendo la iluminación artificial. Gracias a que este edificio fue construido reutilizando las botellas de desecho, modificándolas obteniendo un nuevo producto, se puede contribuir a la mejorar en el medio ambiente. (Bartolomé, 2018)

## **2. CONCLUSIONES**

El uso de fibras data de muchos años atrás cuando se le agregaba al adobe fibras naturales e inclusive pelo animal, con el fin de prevenir el cuarteo producto de la expansión y retracción de las arcillas utiliza. Hoy en día se usa las fibras de refuerzo para controlar el fisuramiento inicial del concreto, con el análisis de datos existentes se encontró que la fibra que mejor favorece el comportamiento mecánico del concreto, tiene la siguiente dimensión 2 a 5 mm y en porcentajes de 5% al 6% con relación al volumen de concreto, dichas fibras pueden obtener por cortes mecánicos de las botellas de PET recicladas.

Según la matriz de comparación es posible incorporar residuos sólidos en la matriz de concreto, también es válido aclarar que las escamas y fibras de adición generan una caída en la resistencia a compresión de los concretos cuando estas superan en 8% de adición, sin embargo, aumentan en rangos que van desde el 10% al 50% de la resistencia a tracción, dicho de esta manera se pueden implementar PET reciclado en formas de fibras siempre y cuando esta no exceda el 8% del peso total de la mezcla. Cabe aclarar que bajo ningún criterio es válido el uso de fibras como sustituto del acero de refuerzo.

También se encontró que hay otro tipo de estrategias de aprovechamiento de residuos sólidos como el politeraftalato de etileno (PET) en obras de construcción, como muestra se tiene el edificio **ECO ARK**, construido con paredes exteriores de botellas, que encajan como si se tratase de un lego. Estas botellas fueron pensada y diseñadas para que aun siendo parte de los plásticos de un solo uso tuviesen un destino de aprovechamiento por mucho tiempo. Cabe resaltar que, por la caída de la resistencia a compresión, no es válido el uso de fibras como sustituto del acero de refuerzo.

Es importante mencionar que las botellas de PET usadas en la actualidad generan un problema ambiental, ya que estos residuos son difíciles de biodegradar y los procesos para la reutilización de este material en su mayoría implican el uso de calor lo que significaría un aumento en la emisión de gases en el proceso de reciclaje, sin embargo como se observó en el desarrollo de esta investigación, es posible incorporar dicho material en la matriz de concrete obteniendo resultados que cumplen con la normativa y además disminuir la huella ecológica causada por los residuos. Allí la importancia de esta investigación, fundamentada

## **ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE POLITERAFTALATO DE ETILENO (PET)**

en la obtención de nuevos materiales ecológicos que además puedan ser usados bajo ciertas condiciones en obras civiles.

Para futuras investigaciones evaluar el comportamiento interno de las fibras de PET en la matriz de concreto, teniendo en cuenta la adherencia, y longitud de desarrollo entre filamentos y la pasta con los agregados, de igual forma el estudio de la resistencia la impacto, la ductilidad y la duración a edades lejanas y ambientes corrosivos.

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE POLITERAFTALATO DE ETILENO (PET)**

**3. REFERENCIAS**

- Aguilera, G., & Diestra, V. (2017). *Influencia de la fibra de PET a partir de botellas recicladas sobre el comportamiento mecánico en un concreto aplicado en prefabricados*. Perú: Universidad Nacional de Trujillo.
- Alfahdawi, I., Osman, S., Hamid, R., & Ismail, A. (24 de July de 2019). Influence of PET wastes on the environment and high strength concrete properties exposed to high temperatures. *Construction and Building Materials*, 225, 358-370. doi:10.1016/j.conbuildmat.2019.07.214
- Antillón, J. (2016). Uso de fibras en concreto. *Construcción y tecnología en concreto*. Recuperado el Julio de 2020, de <http://www.revistacyt.com.mx/pdf/enero2016/experto.pdf>
- Arteaga Caspitrán , M. I. (6 de Julio de 2017). *Fibras de PET reciclado para materiales de construcción*. México. Obtenido de <http://www.cienciamx.com/index.php/tecnologia/materiales/16185-fibras-pet-construccion>
- Azad, M. (30 de November de 2017). Flexural behavior and analysis of reinforced concrete beams made of recycled PET waste concrete. *Construction and Building Materials*, 155, 593-604. doi:10.1016/j.conbuildmat.2017.08.096
- Baño Martí, E. (17 de Marzo de 2020). *Producción de pellets ¿Cómo realizarlo correctamente y detectar defectuosidades?* Obtenido de <https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/266861-Produccion-de-pellets-Como-realizarlo-correctamente-y-detectar-defectuositades.html>
- Bartolomé, M. (2018). *Reciclado de botellas PET para su aplicación en el campo de la construcción y las instalaciones*. España: Universidad de Valladolid.
- Bermejo Paredes, E., & Bru Rivera, R. (2018). *Concreto aligerado por medio de la inclusión de fibras de terafleto de polietileno y polipropileno con agregados calizo y arena de río*. Cartagena : Universidad de Cartagena.

## ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE POLITERAFTALATO DE ETILENO (PET)

Boada, M., & Pérez, E. (2011). *Comportamiento a la fatiga de una mezcla de concreto MR-3.5MPa para pavimento con adición de fibras plásticas*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.

Castro, C. (2016). *Las fibras de vidrio, acero y polipropileno en forma de hilachas, aplicadas como fibras de refuerzo en la elaboración de morteros de cemento*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.

DANE. (2019). *Boletín técnico - Estadísticas de concreto premezclado (EC)*. Bogotá.

Elías, J., Sichez, J., & Reyna, C. (2019). Reutilización del plástico pet, papel y bagazo de caña de azúcar, como materia prima en la elaboración de concreto ecológico para la construcción de viviendas de bajo costo. *Pueblo Continente*, 169-187.

Flores, O., & Caballero, B. (2016). *ELABORACIÓN DE BLOQUES EN CEMENTO REUTILIZANDO EL PLÁSTICO POLIETILEN-TEREFTALATO (PET) COMO ALTERNATIVA SOSTENIBLE PARA LA CONSTRUCCIÓN*. Cartagena.

Fraternali, F., Ciancia, V., Chechile, R., Rizzano, G., Feo, L., & Incarnato, L. (August de 2011). Experimental study of the thermo mechanical properties of recycled PET fiber-reinforced concrete. *Composite Structures*, 93(9), 2368-2374. doi:10.1016/j.compstruct.2011.03.025

Hernández, B. (2011). *ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN MEZCLAS DE CONCRETO ELABORADAS CON MATERIALES DE RECICLAJE: PLÁSTICO Y LLANTAS*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.

Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones. (28 de Diciembre de 2017). *IECA*. Recuperado el Julio de 2020, de Historia del Cemento: <https://www.ieca.es/historia-del-cemento/#:~:text=La%20mezcla%20de%20cemento%20con,fue%20el%20origen%20del%20hormigón>.

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE POLITERAFTALATO DE ETILENO (PET)**

- Johnston, C. (1994). Fibre-reinforced cement and concrete. En V. Malhorta, *Advances in concrete technology* (2da ed., págs. 603-673). Ottawa: Gordon and Breach Publishers.
- Kusumocahyo, S., Ambani, S., Kusumadewi, S., Sutanto, H., Widiputri, D., & Kartawiria, I. (2020). Utilization of used polyethylene terephthalate (PET) bottles for the development of ultrafiltration membrane. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. doi:10.1016/j.jece.2020.104381
- León Téllez, H. A., & Di Marco Morales, R. O. (2017). *Ladrillos con adicción de PET. Una solución amigable para núcleos rurales del municipio del Socorro*. Bucaramanga: Universidad de Santander.
- Mahyar, A., Reza, M., & Taheri, M. (15 de April de 2016). The effect of using polyethylene terephthalate particles on physical and strength-related properties of concrete; a laboratory avaluation. *Construction and Building Materials*, 109, 55-62. doi:10.1016/j.conbuildmat.2016.01.056
- Mármol, P. (2010). *Hormigones con fibras de acero, caraterísticas mecánicas*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Martínez, C., Monsó, E., & Quero, A. (2004). Enfermedades pleuropulmonares asociadas con la inhalación de asbesto. Una patología emergente. *Archivos de Bronconeumología*, 40(4), 166-177. doi:10.1016/S0300-2896(04)75497-6
- Naser, M., Hawileh, R., & Abdalla, J. (2019). Fiber-reinforced polymer composites in strengthening reinforced concrete structures: A critical review. *Engineering Structures*, 198. doi:10.1016/j.engstruct.2019.109542
- Nikbin, I., & Ahmadi, H. (20 de November de 2020). Fracture behaviour of concrete containing waste tire and waste polyethylene terephthalate: An sustainable fracture design. *Construction and Building Materials*, 261. doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.119960

## ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE POLITERAFTALATO DE ETILENO (PET)

- Pacaribe. (3 de Septiembre de 2019). *Noticias Caracol*. Obtenido de <https://noticias.caracol.com/caribe/bicicletas-llantas-y-partes-de-motos-fueron-encontradas-durante-limpieza-en-canos-de-cartagena>
- Palacios Santillán, A. (2014). *Elaboración de PET-Concreto, buscando mejorar sus propiedades mecánicas de tensión y flexión*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ramadevi, K., & Manju, R. (June de 2012). Experimental investigation on the properties of concrete with plastic PET (bottle) fibres as fine aggregates. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering (IJETA)*, 2(6).
- Ruíz, D., López, C., Cortes, E., & Froese, A. (2012). Nuevas alternativas en la construcción: botellas PET con relleno de tierra. *Apuntes*, 25(2), 292-303.
- Sanabaria, S. (2016). *Hormigón fibro-reforzado. Fibras obtenidas de envases post-consumo vs fibras sintéticas comerciales. Estudio preliminar*. Uruguay: Universidad de la República Uruguay.
- Sánchez de Guzmán, D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Silvestre, A. (2015). *Análisis del concreto con tereftalato de polietileno (PET) como aditivo para aligerar elementos estructurales*. Pereira: Universidad Libre Seccional Pereira.
- Singh, A., & Kansal, R. (August de 2014). PET bottles as sustainable building materials: A step towards green building construction. *Journal of Civil Engineering and Environmental Technology*, 1(6), 1-3.
- Sosa, J., & Galván, S. (2005). *Concreto translúcido*. Recuperado el Agosto de 2020, de <https://noticias.arq.com.mx/Detalles/9839.html#.X0YflqJR3IU>
- Tecnología de los plásticos*. (27 de Diciembre de 2012). Obtenido de <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/>

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE POLITERAFTALATO DE ETILENO (PET)**

Toxement. (2018). *Guía para el uso de fibras sintéticas de Toxement en el concreto*. Tocancipá. Obtenido de [http://www.toxement.com.co/media/3381/fibras\\_sinteticas.pdf](http://www.toxement.com.co/media/3381/fibras_sinteticas.pdf)

Vali, M., & Asadi, S. (January de 2017). PET bottle waste as a supplement to concrete fine aggregate. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, 8, 558-568.