

# Uso de los agregados PET en la elaboración del concreto: revisión de la literatura

## Use of PET Aggregates in Making Concrete: Literature Review

Jhon Alexander Saucedo Rodriguez<sup>1</sup>, Jorge Junior Atoche Zamora<sup>2</sup>, Sócrates Pedro Muñoz Pérez<sup>3</sup>

<sup>1</sup> orcid.org/0000-0002-1585-8718, Universidad Señor de Sipán, Chiclayo, Perú, srodriguezjhon@crece.uss.edu.pe

<sup>2</sup> orcid.org/0000-0002-3241-9856, Universidad Señor de Sipán, Chiclayo, Perú, junior7458jaz@gmail.com

<sup>3</sup> orcid.org/0000-0003-3182-8735, Universidad Señor de Sipán, Chiclayo, Perú, msocrates@crece.uss.edu.pe

Fecha de recepción: 25/11/2020 - Fecha de aceptación del artículo: 28/06/2021



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-No comercial-SinObraDerivada 4.0 internacional.

DOI: <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.2.6942>

Cómo citar: Saucedo Rodríguez, J. A., Atoche Zamora, J. J., & Muñoz Pérez, S. P. Uso de los agregados PET en la elaboración del concreto: Revisión de la literatura. Avances: Investigación En Ingeniería, 18(2). <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.2.6942>

## Resumen

El impacto socioambiental que provoca la generación impulsiva de residuos orgánicos e inorgánicos sin destino final adecuado es alarmante en la actualidad. Por lo anterior, se propone un uso más técnico de las fibras polietileno tereftalato (PET) en la construcción. Este artículo tuvo como objetivos revisar la literatura de 50 artículos científicos de diversas revistas y analizar los diferentes efectos en las propiedades del concreto por la incorporación de agregados PET. La metodología corresponde a la búsqueda, selección y análisis de diferentes estudios. La revisión permitió observar mejores resultados con respecto al rendimiento de flexión posterior al agrietamiento y su ductilidad que mejoran debido al uso de fibra de PET. Por otra parte, los valores de resistencia a compresión axial y a tracción por compresión diametral del compuesto se ven disminuidos cuando se incorpora mayor porcentaje de fibras PET. Estas últimas llegan a ser un gran aliado en la reducción de fisuras, la deflexión de elementos estructurales, la resistencia a la abrasión del concreto; aumentó con el incremento de residuos de PET como remplazo, de agregado grueso; en el ensayo de resistencia al desgaste por abrasión disminuyó en 0,42 mm a 0,23 mm. Así, se demuestra que las fibras PET constituyen una alternativa sostenible como agregado que dan beneficios en las diferentes propiedades del concreto, pero no se debe incorporar una cantidad mayor al 5% del volumen total, ya que no existiría ningún beneficio a la mezcla endurecida.

**Palabras clave:** propiedades del concreto, fibras PET, agregados ecológicos.

## Abstract

Currently, the socio-environmental impact caused by the impulsive generation of organic and inorganic waste with no proper final destination is alarming today. Therefore, the use of polyethylene terephthalate (PET) fibers in construction proposes to be more technical, this article aimed to review the literature of 50 scientific articles from various journals, and analyze the different effects on the properties of concrete due to the incorporation of PET aggregates. The methodology corresponds to the search, selection and analysis of different studies. The literary review allowed to observe better results with respect to the flexural performance after cracking and its ductility that are improved due to the use of PET fiber. On the other hand, the values of resistance to axial compression and to diametral compression traction of the compound are decreased when a higher percentage of PET fibers is incorporated. PET fibers become a great ally in reducing cracks, deflection of structural elements, resistance to abrasion of concrete; it increased with the increase of PET

waste as a replacement, of coarse aggregate; in the abrasive wear resistance test it decreased by 0.42 mm to 0.23 mm. It is shown that PET fibers are a sustainable alternative as an aggregate, giving benefits in the different properties of concrete, but should not incorporate an amount greater than 5% of the total volume since there would be no benefit to the hardened mixture.

**Keywords:** properties of concrete, PET fibers, ecological aggregates.

---

## Introducción

El tereftalato de polietileno, politereftalato de etileno, polietilenotereftalato o polietileno tereftalato (PET) es una materia prima utilizada para producir botellas o envases plásticos de uso común. Es claro que esta materia es de uso común, pero conduce a un gran problema ambiental [1].

Dado que los residuos plásticos tienen una baja biodegradabilidad y están presentes en grandes cantidades, la eliminación de residuos plásticos en un ambiente abierto se considera un gran problema [2].

Una gran cantidad de PET consumido se convierte en desperdicio y necesita una extensa área para su almacenamiento. Muchas de estas toneladas de material no se pueden reciclar por completo. Con respecto a este tema, existe la posibilidad de reciclar residuos como el PET residual para producir concreto y evitar el contacto directo de los plásticos con el medio ambiente, debido a una vida útil más larga del concreto [3].

El uso de diferentes fibras de refuerzo, como fibras de acero, poliméricas, entre otras, sirve para mejorar la resistencia a la tracción, a la flexión, la ductilidad del concreto y materiales a base de cemento; además, es una práctica común en el ámbito de la construcción. Una solución al problema de la contaminación por plásticos consiste en reciclar elementos de PET como fibra para reforzar el concreto [4].

En este contexto, el uso de residuos de PET posconsumo como sustitutos de agregados minerales en el concreto se muestra como una alternativa viable para darles un destino más eficiente, al agregarles valor y reducir su impacto ambiental [5].

Uno de los métodos de reciclaje es el uso de residuos plásticos triturados como agregado o especialmente cortado para hacer una fibra plástica que se utilizará para producir concreto reciclado [6]. El éxito de este material se debe a su excelente relación entre las propiedades mecánicas, térmicas y el costo de producción [7]-[9].

Existe una gran conciencia sobre la necesidad de proporcionar un uso alternativo para los materiales reciclados, sobre todo en el campo de la construcción. Esto dio lugar a la transformación de uno de los plásticos de consumo más habituales, como el PET en la producción de concreto con fibra [10].

El concreto es fuerte cuando se somete a esfuerzos de compresión, pero es débil al someterse a tracción. Para mitigar este problema, la introducción de fibras fue traída como una alternativa al desarrollo del concreto, con el fin de mejorar su resistencia a la tracción; así como mejorar su propiedad dúctil [11].

Usar fibras de PET en el concreto ayuda a mejorar su ductilidad porque minimiza el agrietamiento. Este método solo recicla una pequeña cantidad de residuos de PET [12], y la adición de fibras de PET presentará una resistencia mecánica a la compresión cercana a la de las fibras. En relación con el ensayo de resistencia a la tracción, todos los compuestos fibrosos muestran una mejora en el comportamiento posfisuración [13].

Cuando se usó fibras PET en el concreto, los resultados demostraron que estas se pueden utilizar como refuerzo de probetas añadidas a las vigas de concreto [14]. Al observar el comportamiento del concreto que contiene fibras de PET, se ha evidenciado una alta adherencia y una mayor ductilidad en el concreto-PET [15].

Las características de impacto y resistencia del concreto autocompactante con diversos contenidos de fibras de PET mostraron una mejora significativa en la resistencia a la compresión y flexión, resistencia al impacto, capacidad de absorción de energía y máxima defección, debido a la adición de fibras de PET recicladas [16], [17].

El uso de concreto confinado con PET FRP (polímeros reforzados con fibra) mostró un rendimiento significativamente mejor bajo cargas de impacto. El confinamiento de los compuestos de PET FRP utilizado en columnas de concreto como revestimientos externos no solo mejoró la fuerza máxima de impacto, sino que también prolongó el proceso de impacto [18], [19].

El peso específico de los desechos de construcción con PET es más bajo que los del concreto, al punto que han evidenciado ligereza en los elementos constructivos con este material. Entre otras características, muestra resistencia a la humedad e intemperie, facilidad para clavar, aserrar y buena adherencia de revoques (aplanados); así como un costo de producción parecido al tabique tradicional [20].

Tenemos en cuenta que el concreto no armado es un material frágil, quebradizo y tiene baja resistencia a los esfuerzos de tracción [21]. Por lo anterior, al añadir fibras ya sea discontinuas y aleatorias al concreto, se tiende a lograr una mejora en su resistencia, porque actúan sobre las fisuras que se produjeron por la exposición de la humedad o cambios de temperatura del ambiente [22].

Una investigación que usó desechos plásticos como remplazo del agregado grueso convencional resultó en una mejora de las propiedades físicas y mecánicas de las mezclas de concreto. Se informó que tanto la resistencia a la compresión como la resistencia a la flexión y tracción del concreto se incrementaron en un 8%, 5% y 3%, en comparación con la del concreto de control al

nivel de remplazo del 15%. A medida que el porcentaje de remplazo aumentó más allá del 15%, todas las propiedades del concreto mostraron una tendencia a la baja. Este hecho se debió a la presencia excesiva de agua en la mezcla de concreto, porque los desechos plásticos tienen una absorción de agua muy baja en relación con los agregados gruesos convencionales [23].

También se ha evaluado la influencia de la sustitución parcial de la arena por los agregados PET en un 10% en función de su volumen. A los 28 y a los 90 días de curado dio como resultado en la resistencia a la compresión axial del concreto una reducción del 20%; esto ocurrió debido a la resistencia y la masa específica del polímero, la cual es menor que el de la arena [24], [25].

Por ello, una forma eficaz para reciclar los residuos de plástico PET es utilizándolos en el concreto [5], [26]. De esta manera, este residuo plástico no regresa directamente al medio ambiente y también actúa como una alternativa para el agregado natural en la mezcla de concreto, al convertirlo en una alternativa al agregado natural en la mezcla de concreto [27].

Las cantidades de agregado fino y grueso en la mezcla de concreto disminuyen al adicionar PET, debido a que rempazan en un porcentaje a los agregados; pero es recomendable utilizarlos en trabajos menos importantes. Esto es darle un uso a este material de desecho que se produce en grandes cantidades [28].

Por la anterior razón, este artículo es una revisión bibliográfica con relación a la incorporación de fibras de PET para la realización de concreto, que busca verificar la mejora en sus propiedades mecánicas con la adición de esta fibra.

## 1. Metodología

Para la presente revisión de la literatura sobre el tema, se buscó en las siguientes bases de datos: Taylor & Francis Online, Science Direct, Capes, Researchgate, SpringerLink, Scientia Iranica, Periodikos, DSPACE y LatinDex con las palabras clave propiedades del concreto, fibras PET, agregados ecológicos, properties of concrete, PET fibers y ecological aggregates. Así, se encontraron 50 artículos científicos indexados y distribuidos de la siguiente manera: 3 de SciELO, 2 de Taylor & Francis Online, 19 de ScienceDirect, 1 de Capes, 18 de Researchgate, 3 de SpringerLink, 1 de Scientia Iranica, 1 de Periodikos, 1 DSPACE, 1 de LatinDex. Respecto a la elaboración de concreto se encontraron 30 artículos del 2016 al 2020, 13 del 2011 al 2015 y 7 del 2006 al 2010. La tabla 1 muestra los artículos distribuidos según base de datos y año de publicación.

**Tabla 1.** Distribución de los artículos usados como referencia según base de datos y año de publicación

Base de datos	Año de publicación			Total
	2006-2010	2011-2015	2016-2020	
SciELO	0	1	2	3
Taylor & Francis Online	0	1	1	2
ScienceDirect	5	5	9	19
CAPES	0	1	0	1
Researchgate	2	4	12	18

Base de datos	Año de publicación			Total
	2006-2010	2011-2015	2016-2020	
SpringerLink	0	0	3	3
Scientia Iranica	0	0	1	1
Periodikos	0	0	1	1
DSPACE	0	1	0	1
LatinDex	0	0	1	1
Total	7	13	30	50

Fuente: elaboración propia.

El criterio de inclusión para los artículos obtenidos fue el uso de agregados PET en la elaboración del concreto. El criterio de exclusión fue que las investigaciones no estuvieran relacionadas con el uso de PET en el concreto. Se descartaron aquellas investigaciones publicadas en idiomas distintos al inglés, al español y al portugués.

Con respecto al desarrollo de la investigación, se encontraron los siguientes documentos: una publicación relacionada con la propiedad física de la trabajabilidad del concreto incorporado con fibras PET. Se hallaron un estudio en durabilidad, dos estudios en permeabilidad, un estudio en absorción, cuatro estudios en temperatura, cuatro estudios en resistencia a la tracción, cuatro estudios en resistencia a la compresión, un estudio en resistencia a la abrasión y cuatro estudios en módulo de elasticidad.

## 2. Características físicas y mecánicas del concreto con fibra de PET

### 2.1. Trabajabilidad

Singh y Goel [29] definen la trabajabilidad como la resistencia de mezcla deseada, que ayuda en la colocación y compactación del concreto fresco en el sitio.

Para obtener los efectos de la fibra de PET en el concreto, se elaboró uno sin fibras y otro adicionando la fibra de polipropileno en un 0,25%, un 0,5% y un 0,75% por volumen de concreto. El ensayo de trabajabilidad se llevó a cabo con una prueba de cono de asentamiento (cono de Abrams) y con el factor de compactación. Se encontró que el concreto elaborado con fibras de PET al 1% y al 0,75% tenía un asentamiento de mezcla del 70% y del 60%. Esto muestra que es más trabajable en comparación con las otras muestras [29].

### 2.2. Durabilidad

En su estudio, Krishnamoorthy et al. [30] estudiaron cómo reacciona la durabilidad del concreto incorporando PET. Los autores obtuvieron las siguientes conclusiones: la mezcla con fibra de PET de fracción de volumen del 1,00% y relación de aspecto de 0,45 funciona mejor tanto en ataque de ácido como de cloruro. La relación de pérdida de resistencia de todas las mezclas estuvo en el rango del 10,3% al 15,5%. El rango de deterioro de la resistencia fue por debajo del límite aceptable para todas las mezclas en condiciones severas; por lo tanto, fue un óptimo resultado.

## 2.3. Permeabilidad

Saxena et al. [31] observaron que la profundidad de penetración del agua para una relación de 0:45 a/c sin residuos de PET después de 28 días de curado era de 24 mm y aumentaba con el incremento de residuos PET en el concreto. También observaron que eran de 24 mm, 28 mm, 42 mm, 71 mm y 105 mm en remplazos del 0%, 5%, 10%, 15% y 20% de agregado. Los autores atribuyen este aumento en la profundidad de penetración del agua al hecho de que los residuos de PET aumentan en la zona de transición interfacial, lo que puede actuar como un puente entre los poros, provocando un aumento del número de huecos en la estructura del concreto. Los residuos de PET, debido a la forma irregular y la menor adherencia con la pasta de cemento, aumentan todavía más el número de huecos en el concreto, lo que resulta en una mayor permeabilidad al agua. [31], [32].

## 2.4. Absorción

Nibudey et al. [33] estudiaron la relación entre la resistencia a la compresión y las propiedades de sorptividad de dos diseños de mezcla de concreto, nombradas M-20 y M-30.

Ambos se reforzaron con fibra de PET y se agregaron fibras de botella PET residual de dos tipos de relaciones entre la longitud y el diámetro de la fibra, cuyo cociente es llamado relación de aspecto, y las más favorables fueron 35 y 50, en una proporción de 0%, 0,5%, 1%, 1,5%, 2,0%, 2,5% y 3% por volumen en la mezcla. La absorción de agua disminuyó hasta un 1% en la proporción de fibras y aumentó en porcentajes más altos para ambos diseños de concreto y ambos tipos de fibras de PET. Se vieron mejores resultados en las pruebas realizadas en el concreto M-20, donde la sorptividad inicial y secundaria con un 1% de fibra de relación de aspecto 50 se reduce en un 11,85% y un 16,83%, respectivamente. La adición de fibras de PET en el concreto tiende a restringir la propagación del agua en el concreto, lo cual provoca una reducción de la capacidad de absorción [33].

## 2.5. Temperatura

Para Matesová et al. [34], el efecto de las altas temperaturas sobre las propiedades mecánicas del concreto se investiga desde 1940. A partir de ahí se ha comprobado su influencia en el comportamiento de estos materiales. Cuando se exponen a altas temperaturas, los materiales a base de cemento sufren cambios físico-químicos que perjudican sus propiedades mecánicas y comprometen su resistencia a la transferencia de calor.

Cuando el concreto es expuesto a altas temperaturas, se producen dos tipos de procesos: el termomecánico, asociado con la expansión térmica o gradientes de expansión que ocurren dentro del elemento expuesto a altas temperaturas, y el de termoagua, relacionado con la transferencia de masa en la red de poros (aire, vapor y agua líquida) y que se traduce en el desarrollo de altas presiones [35].

Para Noumowe [36], la incorporación de fibras altera la microestructura de un concreto. Las propiedades inherentes de diferentes tipos de fibras también influyen en las propiedades de estos materiales bajo fuego. Los efectos de la fusión y degradación de las fibras contribuyen al aumento del volumen de los poros.

Castro et al. [37] mencionan los posibles mecanismos para aliviar la presión producida en los poros del concreto calentado, inducidos por la presencia de fibras de polipropileno, que pueden ser de dos formas: los depósitos discontinuos (burbujas de aire y microfisuras) para acomodar el vapor en expansión y los canales continuos para la migración del vapor de humedad. La eficiencia de los mecanismos de alivio de presión depende no solo de las características del material de polipropileno, sino también de las características de la fibra en sí relacionadas con sus dimensiones. Consideraciones importantes incluyen el uso de monofilamentos lisos de pequeños diámetros y longitud adecuada para permitir una buena dispersión de las fibras y la interconectividad entre ellas [37].

## 2.6. Resistencia a la tracción

El análisis de concreto reforzado con fibra de PET reciclada sugiere que mejoran tanto el rendimiento de flexión posterior al agrietamiento como su ductilidad [38].

La capacidad de una fibra para reforzar el concreto está relacionada con la interfaz fibra-matriz y con la resistencia a la tracción de la fibra. Por lo general, las pruebas de extracción (diamantina) se utilizan para analizar el comportamiento de unión de una interfaz fibra-matriz [39].

Subramani y Rahman [11] realizaron una investigación experimental para encontrar el comportamiento de la fibra de PET en el concreto. En esta se añadieron los siguientes porcentajes de fibras de PET: 0%, 2%, 4% y 6%. Cuando se agrega hasta un 4%, aumenta la resistencia a la flexión en comparación con la viga de concreto convencional. Para los resultados de cubos y vigas con un 6% de fibra, la resistencia del concreto disminuyó en comparación con el concreto convencional. Para cilindros con hasta un 6% de fibra agregada, la resistencia a la tracción dividida aumentó en comparación con el concreto convencional. La deflexión de la viga de concreto disminuyó con un 4% de fibra. Así, la fibra es compatible como material de construcción hasta en un 4% como muestran los resultados. El porcentaje óptimo del 4% de fibras de PET se puede utilizar como material de construcción.

Las fibras de PET se utilizan generalmente como un refuerzo discreto en la sustitución de la fibra de acero para mejorar la resistencia a la tracción y la propiedad dúctil del concreto. Se incorporaron fibras de PET al 0,5% y se obtuvo una mejora del 10%-20% a la resistencia a la tensión de la tracción en comparación con las muestras patrón [40].

## 2.7. Resistencia a la compresión

El creciente contenido de PET en forma de fibra o agregado con un volumen de más del 10% como material de remplazo disminuye la resistencia del concreto [41].

Schembri [42], en su estudio, empleó dos geometrías de fibra diferentes: recta y deformada. Además, examinó dos longitudes de fibra de 50 mm y 30 mm y elaboró muestras adicionando fibras de PET al 0% (mezcla control), al 0,5%, al 1% y al 1,5% para cada perfil de fibra. La adición de fibras de PET recicladas condujo a una reducción de entre un 0,5% y un 8,5% en la resistencia a la compresión en comparación con la mezcla de control. Las muestras que contienen fibras más cortas se comportaron ligeramente mejor, en contraste con las que contienen fibras más largas. Respecto al agrietamiento por retracción, la mezcla reforzada con un 1% en volumen de fibras

deformadas de 50 mm de largo exhibió el mejor desempeño, ya que no se observaron grietas después de 28 días [43], [44].

Estudios realizados por Patil et al. [45] demostraron que la mezcla de concreto modificado con la adición de agregado plástico que reemplaza el agregado convencional hasta un 20% da resistencia a la compresión dentro del límite permisible. La densidad del concreto se reduce notablemente después de un 20% de sustitución de agregado.

## 2.8. Resistencia a la abrasión

La resistencia a la abrasión se determinó en términos de la profundidad del desgaste de la superficie. Saikia y De Brito [46] observaron que la profundidad de desgaste del concreto de control era de 0,42 mm para una relación a/c de 0:45. Con el aumento de los desechos de PET como remplazo de agregado fino y agregado grueso, la profundidad de desgaste disminuyó en todos los niveles. Los autores anotaron que la profundidad de desgaste era de 0,42 mm, 0,38 mm, 0,33 mm, 0,32 mm y 0,27 mm en remplazos del 0%, 5%, 10%, 15% y 20% de agregado, respectivamente.

Además, documentaron que la profundidad de desgaste era de 0,42 mm, 0,31 mm, 0,26 mm, 0,25 mm y 0,23 mm en remplazos de agregado grueso de 0%, 5%, 10%, 15% y 20%, respectivamente. Esto indica que la resistencia al desgaste se incrementa con el aumento en el remplazo de agregado fino y agregado grueso por desechos de PET. Este aumento de la resistencia a la abrasión puede deberse a que los residuos de PET tienen una buena resistencia a la abrasión y una alta tenacidad [46].

## 2.9. Módulo de elasticidad

El módulo de elasticidad estático del compuesto cementoso de ultraalto rendimiento y los compuestos cementosos ecológicos de ultraalto rendimiento con fibras de PET y sin estas se calculó sobre la base de las curvas de tensión-deformación. La adición de fibras de PET al concreto disminuyó el módulo de elasticidad en el compuesto de ultraalto rendimiento y en el compuesto cementoso ecológico de ultraalto rendimiento resultantes, en comparación con las del concreto sin fibras. Esto podría atribuirse a la capacidad de las fibras de PET para distribuir y absorber tensiones bajo carga de compresión aplicada [47], [48].

El módulo de elasticidad del PET es considerablemente menor que el de los agregados naturales; por lo que un mayor contenido de agregado de PET reduce el módulo de elasticidad del concreto resultante [49]. Además, el módulo de elasticidad disminuye gradualmente porque los residuos de PET son menos resistentes que la arena natural y se deforman menos cuando se aplica una tensión equivalente [50].



### 3. Conclusiones

El objetivo de esta investigación fue indagar por el uso de fibras de PET recicladas tanto rectas como deformadas en el concreto como material de desecho, mediante la evaluación de su efecto sobre las propiedades mecánicas y el rendimiento a edades tempranas y tardías en muestras de concreto.

Se obtuvieron mejores resultados en cuanto al rendimiento de flexión posterior al agrietamiento y su ductilidad, debido al uso de fibra de PET.

Se analizaron los efectos de incorporar diferentes porcentajes de fibra de PET en el concreto. Además, la producción de este compuesto orientó el análisis de mejoras en su capacidad de deformación y brindó un destino correcto para los envases de PET en desuso.

Las fibras de PET pueden llegar a ser un gran aliado en la deflexión de elementos estructurales y aumento de la resistencia final a la tracción del concreto, donde la fibra es compatible como material óptimo de construcción hasta en un 4% de su volumen total.

Se encontró que los valores de resistencia a la compresión axial y a la tracción por compresión diametral del compuesto se ven disminuidos cuando se incorpora fibras de PET mayores al 5% de su volumen total.

La resistencia a la abrasión del concreto aumentó con el incremento de residuos de PET como remplazo del agregado grueso. En un estudio se observó que la profundidad de desgaste del concreto patrón era de 0,42 mm para una relación a/c de 0:45 y el desgaste disminuyó a 0,23 mm, al remplazar un 20% del volumen del agregado grueso por fibras de PET.

Se demostró que la incorporación de fibras de PET al 1% y al 0,75% tuvo como efecto una mejora en la trabajabilidad del concreto fresco, porque dio un asentamiento de mezcla del 70% y del 60%, lo cual es óptimo.

### 4. Recomendaciones

Evitar la incorporación de fibras de PET a una cantidad mayor al 5% del volumen, si se busca una mejora en la resistencia a la compresión del concreto, ya que no habría ningún beneficio.

El tamaño de la fibra sí influye en los efectos que se pueden producir en el concreto. Se ha demostrado que hay mejores resultados cuando la fibra es de menor tamaño.

## Referencias

- [1] E. Rahmani, M. Dehestani, M. H. A. Beygi, H. Allahyari e I. M. Nikbin, "On the mechanical properties of concrete containing waste PET particles", *Constr. Build. Mater.*, pp. 1302-1308, 2013.
- [2] P. S. Patil, J. R. Mali, G. V. Tapkire y H. R. Kumavat, "Innovative techniques of waste plastic used in concrete mixture", *Int. J. Res. Eng. Tech.*, vol. 3, n.º 9, pp. 29-31, 2014.
- [3] I. M. Nikbin, S. Rahimi, H. Allahyari y F. Fallah, "Feasibility study of waste Poly Ethylene Terephthalate (PET) particles as aggregate replacement for acid erosion of sustainable structural normal and lightweight concrete", *J. Clean Prod.*, vol. 26, pp. 108-117, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.143>
- [4] A. Meza de Lunay F. U. Ahmed Shaikh, "Anisotropy and bond behaviour of recycled Polyethylene terephthalate fibre as concrete reinforcement", *Constr. Build. Mater.*, vol. 26, 120331, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120331>
- [5] B. Yesilata, Y. Isiker y P. Turgut, "Thermal insulation enhancement in concretes by adding waste PET and rubber pieces", *Constr. Build. Mater.* Vol. 23, pp. 1878-1882, 2009.
- [6] A. A. Mohammed y A. A. Fageh Rahim, "Experimental behavior and analysis of high strength concrete beams reinforced with PET waste fiber", *Constr. Build. Mater.*, vol. 244, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118350>
- [7] W. A. Macdonald, "New advances in poly (ethylene terephthalate) polymerization and degradation", *Polym. Int.*, vol. 51, pp. 923-930, 2002.
- [8] D. S. e. a. Achilias, "Recycling techniques of polyolefins from plastic wastes", *Global NEST J.*, vol. 10, pp. 114-122, 2008. [En línea]. Disponible: [https://journal.gnest.org/sites/default/files/Journal%20Papers/114-122\\_468\\_ACHILIAS\\_10-1.pdf](https://journal.gnest.org/sites/default/files/Journal%20Papers/114-122_468_ACHILIAS_10-1.pdf)
- [9] J. M. Lima Barreto, H. Nogueira da Costa, L. F. Cândido y A. E. B. Cabral Correio, "Análise das propriedades físicas e mecânicas de blocos de concreto prensados sem função estrutural com incorporação de PET reciclado", *Materia*, vol. 24, n.º 2, 2019. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620190002.0672>
- [10] S. Shahidan, N. A. Ranle, S. S. Mohd Zuk, F. Sheikh Khalid, A. R. M. Ridzuan y F. M. Nazri, "Concrete incorporated with optimum percentages of recycled Polyethylene Terephthalate (PET) bottle fiber", *Int. J. Integr. Eng.*, vol. 10, pp. 1-8, 2018.
- [11] T. Subramani y A. F. Rahman, "An experimental study on the properties of pet fibre reinforced concrete", *Int. J. App. Innov. Eng. Manage.*, pp. 58-66, 2017.
- [12] D. Quenta Flores, "Efecto del reciclado de las fibras de las botellas PET en las propiedades del concreto normal, PUno", *Revista de Investigaciones UNA*, vol. 9, n.º 3, pp. 1659-1670, 2020. <https://doi.org/10.26788/epg.v9i3.1734>
- [13] P. Fonseca Rodrigues, T. Portela Ribeiro y A. Neves Junior, "Caracterização mecânica de compósitos cimentícios reforçados com fibras de politereftalato de etileno espiraladas", *Eng. Sci.*, vol. 1, n.º 6, 2017. <https://doi.org/10.18607/ES20176068>
- [14] D. Foti, "Preliminary analysis of concrete reinforced with waste bottles PET fibers", *Constr. Build. Mater.*, pp. 1906-1915, 2011.
- [15] H. M. Adnan y A. O. Dawood, "Strength behavior of reinforced concrete beam using re-cycle of PET wastes as synthetic fibers", *Case Stud. Constr. Mater.*, vol. 13, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00367>
- [16] A. I. Al-Hadithi, A. T. Noaman y W. K. Mosleh, "Mechanical properties and impact behavior of PET fiber reinforced self-compacting concrete (SCC)", *Compos. Struct.*, vol. 224, 111021, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.111021>
- [17] T. K. M. Ali, N. Hilal, R. H. Faraj, A. I. Al-Hadithi, "Properties of eco friendly pervious concrete containing polystyrene aggregates reinforced with waste PET fibers", *Innov. Infrastruct. Solut.*, vol. 5, n.º 77, 2020. <https://doi.org/10.1007/s41062-020-00323-w>

- [18] Y. Kurihashi, Mikami, H, Komuro, M y Kishi, N., "Effect of sheet volume on impact resistant capacity of RC", en Proc. of the 8th International Conference on Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Composites in Civil Engineering (CICE 2016), pp. 14-16, 2016.
- [19] Y.-L. Bai, Z.-W. Yan, T. Ozbakkaloglu, J.-G. Dai, J.-F. Jia y J.-B. Jia, "Dynamic behavior of PET FRP and its preliminary application in impact strengthening of concrete columns," Appl. Sci., vol. 9, n.º 23, p. 4987, 2019. <https://doi.org/10.3390/app9234987>
- [20] R. Silva Herrera y G. H. Ochoa González, "Integración de PET reciclado a flexión en un elemento constructivo de concreto", Vivienda y Comunidades Sustentables, n.º 6, pp. 99-117, 2019. <https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i6.106>
- [21] S. Galvão, "Uso de materiais poliméricos reciclados em estruturas de concreto para superfícies hidráulicas", tesis de doctorado, Univ. Federal do Paraná, Brasil, 2010. [En línea]. Disponible: <https://hdl.handle.net/1884/25004>
- [22] N. C. da S. Rodrigues, M. M. de B. Carvalho, A. V. M. Balbino y A. L. R. Vasconcelos, "Fibra de PET na produção de concretos", Tecnol. Metal. Mater. Miner., vol. 15, n.º 3, pp. 207-211, 2018.
- [23] T. Subramani y V. K. Pugal, "experimental study on plastic waste as a coarse aggregate for structural concrete", Int. J. Appl. Innov. Eng. Manage., vol. 4, n.º 5, pp. 144-152, 2015.
- [24] P. M. Correa y L. F. R. Junior, "Obtenção de concreto leve: um estudo sobre a adição de polímero com grupos funcionais (PET) e sem grupos funcionais (PP)", Disciplinary Scientia, vol. 15, n.º 1, pp. 99-109, 2014. [En línea]. Disponible: <https://periodicos.ufn.edu.br/index.php/disciplinarumNT/article/view/1344/1276>
- [25] P. M. Correa, D. Guimarães y R. M. C. Santana, "Influência da concentração de Pet pós-consumo nas propriedades físicas do concreto leve", Rev. Eletr. Mater. Proces., vol. 14, n.º 3, pp. 140-145, 2019.
- [26] E. Rahmani, M. Dehestani, M. Beygi, H. Allahyari y I. Nikbin, "On the mechanical properties of concrete containing waste PET particles", Constr. Build. Mater., vol. 47, pp. 1302-1308, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.06.041>
- [27] M. Nematzadeh, A. A. Shahmansouri y M. Fakoor, "Post-fire compressive strength of recycled PET aggregate concrete reinforced with steel fibers: optimization and prediction via RSM and GEP", Constr. Build. Mater., vol. 252, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119057>
- [28] M. Karthikeyan, K. Balamurali, K. V. Barath, P. Manoj y R. Janarthanan, "Utilization of waste plastic in concrete", Int. Res. J. Eng. Tech., vol. 6, n.º 4, pp. 1400-1405, 2019. [En línea]. Disponible: <https://www.irjet.net/archives/V6/i4/IRJET-V6I4297.pdf>
- [29] G. Singh y S. Goel, "Performance evaluation of PET-polypropylene hybrid fiber reinforced concrete in terms of workability, strength and cost effectiveness", Int. J. Civil Structur. Eng. Res, vol. 3, n.º 2, pp. 85-94, 2016.
- [30] M. Krishnamoorthy, D. Tensing, M. Sivaraja y A. R. Krishnaraja, "Durability studies on Polyethylene Terephthalate (PET) fibre reinforced concrete", Int. J. Civ. Eng. Technol., vol. 8, n.º 10, pp. 634-640, 2017.
- [31] R. Saxena, T. Gupta, R. K. Sharma, S. Chaudhary y A. Jain, "Assessment of mechanical and durability properties of concrete containing PET waste", Scientia Iranica, vol. 27, n.º 1, pp. 1-9, 2018. <https://doi.org/10.24200/sci.2018.20334>
- [32] G. S. Islam y S. D. Gupta, "Evaluating plastic shrinkage and permeability of polypropylene fiber reinforced concrete", Int. J. Sustain. Built Environ., vol. 5, n.º 2, pp. 345-354, 2016.
- [33] R. N. Nibudey, P. B. Nagarnaik, D. K. Parbat y A. M. Pande, "compressive strength and sorptivity properties of pet fiber reinforced concrete", Int. J. Adv. Res. Technol., vol. 7, n.º 4, pp. 1206-2016, 2014.
- [34] D. Matesová, D. Bonen y S. P. Shah, "Factors affecting the resistance of cementitious materials at high temperatures and medium heating rates", Mater. Struct., vol. 39, n.º 9, pp. 919-935, 2006. <https://doi.org/10.1007/s11527-005-9041-4>

- [35] G. A. Khoury, "Polypropylene fibers in heated concrete. Part 2: pressure relief mechanisms and modeling criteria", *Magazine Concrete Res.*, vol. 60, n.º 3, pp. 189-204, 2008.
- [36] A. Noumowe, "Mechanical properties and microstructure of high strength concrete containing polypropylene fibers exposed to temperatures up to 200° C", *Cement Concrete Res.*, vol. 35, n.º 11, pp. 2192-2198, 2006.
- [37] A. L. Castro, R. P. T. Tiba y V. C. Pandolfelli, "Fibras de polipropileno e sua influência no comportamento de concretos expostos a altas temperaturas: revisão", *Cerâmica*, vol. 57, pp. 22-31, 2011.
- [38] A. Meza y S. Siddique, "Effect of aspect ratio and dosage on the flexural response of FRC with recycled fiber", *Constr. Build. Mater.*, vol. 213, pp. 286-291, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.04.081>
- [39] S. Abdallah, M. Fan y X. Zhou, "Pull-out behaviour of hooked end steel fibres embedded in ultra-high performance mortar with various w/b ratios international", *J. Concr. Struct. Mater.*, vol. 11, n.º 2, pp. 301-313, 2017.
- [40] C. Marthong y D. Kumar Sarma, "Influence of PET fiber geometry on the mechanical properties of concrete: an experimental investigation", *Eur. J. Environ. Civ. Eng.*, pp. 771-784, 2015.
- [41] V. Afroughsabet, L. Biolzi y P. J. M. Monteiro, "The effect of steel and polypropylene fibers on the chloride diffusivity and drying shrinkage of high-strength concrete", *Composites Part B: Engineering*, pp. 84-96, 15 de abril de 2018.
- [42] J. Schembri, "Recycled Polyethylene Terephthalate fibres in concrete", University of Malta, 2011.
- [43] R. P. Borg, O. Baldacchino y L. Ferrara, "Early age performance and mechanical characteristics of recycled PET fibre reinforced concrete", *Constr. Build. Mater.*, vol. 108, pp. 29-47, 2016.
- [44] S. Kim, N. Yi, H. Kim, J. Kim y Y. Song, "Material and structural performance evaluation of recycled PET fiber reinforced concrete", *Cement Concr. Compos.*, pp. 232-240, 2010.
- [45] P. S. Patil, J. R. Mali, G. V. Tapkire y H. R. Kumavat, "Innovative techniques of waste plastic used in concrete mixture", *Int. J. Eng. Res. Technol.*, vol. 3, n.º 9, pp. 29-32, 2014.
- [46] N. Saikia y J. De Brito, "Mechanical properties and abrasion behaviour of concrete containing shredded PET bottle waste as a partial substitution of natural aggregate", *Constr. Build. Mater.*, vol. 52, pp. 236-244, 2014.
- [47] A. H. Alani, N. M. Bunnori, A. T. Noaman y T. A. Majid, "Mechanical characteristics of PET fibre-reinforced green ultra-high performance composite concrete", *Eur. J. Environ. Civil Eng.*, pp. 1-23, 2020. <https://doi.org/10.1080/19648189.2020.1772117>
- [48] S. Yin, R. Tuladhar, F. Shi, M. Combe, T. Collister y N. Sivakugan, "Use of macro plastic fibres in concrete: a review", *Constr. Build. Mater.*, vol. 93, pp. 93,180-188, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.05.105>
- [49] S. B. Kim, N. H. Yi, H. Y. Kim, J. H. J. Kim y Y. C. Song, "Material and structural performance evaluation of recycled PET", *Cement Concrete Comp.*, vol. 32, n.º 3, pp. 232-240, 2010.
- [50] C. Albano, N. Camacho, M. Hernández, A. Matheus y A. Gutiérrez, "Influence of content and particle size of waste pet bottles on concrete behaviour at different w/c ratios", *Waste Management*, vol. 29, n.º 10, pp. 2707-2716, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.05.007>