

Desempeño mecánico del concreto convencional reemplazando agregado grueso con polietileno de tereftalato

Mechanical Performance of conventional concrete replacing coarse aggregate with polyethylene terephthalate

Madelein Natalia Sanabria-Rojas¹; Jhon Jairo Gil-Peláez² ; Katherin Duarte-Barón³

¹Universidad Santo Tomás; Villavicencio; Colombia. madeleinsanabria@usantotomas.edu.co

²Universidad Santo Tomás; Villavicencio; Colombia. jhon.gil@usantotomas.edu.co

³Universidad Santo Tomás; Villavicencio; Colombia, katherinduarte@ustavillavicencio.edu.co

Autor de correspondencia: Katherin Duarte Barón; katherinduarte@ustavillavicencio.edu.co

Fecha de recepción: 10 de junio de 2022 Fecha de aceptación: 5 de noviembre de 2022

Resumen: En muchos países los residuos plásticos son una parte contaminante del medio ambiente, por tal razón es necesario buscar alternativas en las que se pueda reutilizar de forma masiva, para disminuirlos significativamente. En este proyecto de investigación se hizo una búsqueda de trabajos asociados a la temática, se analizaron las técnicas utilizadas y los resultados obtenidos, de manera que se recolectó el material necesario y mediante ensayos de laboratorio se fabricaron cilindros de concreto con distintas sustituciones de los agregados gruesos por residuos plásticos (PET); con el fin de comparar las resistencias y costos de los moldes de concreto celular y con residuos plásticos; y así determinar la viabilidad de los agregados de plásticos en el concreto celular. En cada una de las proporciones de residuos plásticos utilizados se observó una disminución del peso y menor costo, sin embargo, ninguno logró superar la resistencia mínima, comparada con un cilindro convencional, al ser sometido a las pruebas de compresión, siendo el tamaño de los residuos la mayor problemática para obtener buenos resultados. Para utilizar residuos de plástico en la mezcla de concreto tradicional, es recomendable, reducir el tamaño de la partícula para mejorar la cohesión de los materiales; es decir, Polipropileno de Tereftalato triturado, que sirva para el diseño de sistemas estructurales y que obtengan una mayor resistencia, con esto la contaminación debida a residuos plásticos disminuiría significativamente.

Palabras clave: Compresión, concreto celular, contaminantes plásticos, resistencia

Abstract: In many countries, plastic waste is a polluting part of the environment, for this reason it is necessary to look for alternatives in which it can be reused massively, to significantly reduce it. In this research, the works associated with the subject were reviewed, the techniques used and the results obtained were analyzed, so that the necessary material was collected and, through laboratory tests, concrete cylinders were made with different substitutions of the aggregates coarse by plastic waste (PET); in order to compare the stress and costs of cellular concrete molds and those with plastic waste; and thus determine the viability of plastic aggregates in cellular concrete. In every one of the proportions of plastic waste used a decrease in weight and lower cost was observed, however, none managed to exceed the minimum resistance, compared with a conventional cylinder, when subjected to compression tests, being the size of the residues the biggest problem to obtain good results. To use plastic waste in the traditional concrete mixture, it is recommended to reduce the size of the particle to improve the cohesion of the materials, that is, crushed Terephthalate Polypropylene, which serves for the design of structural systems and obtains greater resistance, with this the pollution due to plastic waste would decrease significantly.

Keywords: Compression, cellular concrete, plastic contaminants, strength.

Citar este artículo como: M. Sanabria Rojas, J. Gil Peláez, y K. Duarte Barón, Desempeño mecánico del concreto convencional reemplazando agregado grueso con polietileno de tereftalato, *ITECKNE*, vol. 20, (1) 2023, pp. 17 - 24 DOI: <https://doi.org/10.15332/iteckne.v20i1.2878>

1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial existe una crisis debido a la alta contaminación por residuos plásticos, provocando que alrededor de 8 millones de toneladas de estos afecten a las especies marítimas cada año, esto debido a que aproximadamente el 75% del plástico que se produce es desperdiciado [1] [2].

En Colombia los residuos generados no son aprovechados en su totalidad, con lo cual se incrementa la cantidad de residuos sólidos en los rellenos del país. De acuerdo con lo señalado en el informe de disposición final de residuos sólidos, se produjeron en Colombia 30.973 toneladas/día de residuos en el año 2018, provocando daños ambientales por causa de las emisiones de gases provenientes de estos [3].

El Polietileno de Tereftalato (PET) es un polímero que se genera a través de una reacción química entre el ácido tereftálico y el etilenglicol, pertenece a la línea de poliésteres designados como materiales simulados [4]. El PET es un material completamente reciclable, de manera que se retiran las etiquetas y tapas de cada recipiente y se lleva a cabo una clasificación por colores para ser llevadas a un molino picador donde se forman hojuelas que son posteriormente transportadas a un proceso de lavado y secado [5].

Otro factor que también genera gran contaminación en Colombia es la fabricación del concreto, particularmente por el uso de agregados pétreos, que son indispensables para la producción de este [6], ya que con estos se mejora la resistencia del concreto y contribuyen a obtener mezclas más compactas.

De esta manera, considerando las implicaciones e impactos que tienen los residuos plásticos y el concreto sobre el medio ambiente [7], se han desarrollado diversas estrategias para el reciclaje de estos, por ejemplo, la construcción de viviendas con botellas recicladas [8] [9] [10], de manera que estas son adecuadas especialmente y hacen las veces de muros, teniendo en cuenta sus características al ser sometidas a tensión y a compresión [11] [12], mostrando resultados que permiten su aplicación. Adicionalmente se han hecho análisis de concreto usando tereftalato de polietileno [13] [14] [15], de manera que en algunos ensayos se elaboran muestras de concretos en las que se sustituye el agregado fino [16] [17], en proporciones que no superan el 20% y al ensayarlas se han observado buenos resultados, pero como dificultades el precio del PET granulado.

Por otra parte, también se ha evaluado el uso de PET en losas de concreto para ser utilizado como estructuras de pavimento rígido [18] en proporciones de 2%, 3% y 4%, encontrándolo como una opción viable, desde el punto de vista técnico. Asimismo, se ha estudiado el comportamiento de mezclas de mortero a las que se les han agregado

proporciones de residuos plásticos [19] evidenciando una pequeña reducción de las propiedades mecánicas y a su vez una reducción del agrietamiento que se produce con el mortero convencional.

Finalmente, una de las aplicaciones más relevantes es la evaluación del comportamiento de bloques construidos completamente con PET [20] que ha demostrado que los ladrillos de PET podrían actuar como un sustituto idóneo para unidades de mampostería convencional.

Teniendo en cuenta los trabajos que se han realizado en torno a esta temática y la relevancia que tienen, en esta investigación se elaboran muestras de concreto convencional; es decir, mezcla de arena, agua, cemento y agregado y concreto con PET en el que se reemplaza parte del agregado con este material, con el fin de evaluar el desempeño, analizando sus propiedades físicas, verificando si es posible utilizarlo y así disminuir el impacto ambiental que se produce tanto por la fabricación del concreto como por los residuos plásticos.

2. METODOLOGÍA

Primero se estima el número de muestras con base en lo establecido en la norma NTC - 673, de manera que se deben elaborar tres especímenes y dos testigos para cada grupo (4 variaciones del PET y uno de concreto convencional) que serán ensayados a compresión, evaluando adicionalmente el asentamiento, la manejabilidad y la consistencia. Adicionalmente, las muestras deben valorarse una vez hayan transcurrido 7 y 28 días; sin embargo, se revisan también transcurridos 14 días [21], es decir, un total de 55 muestras. Es importante resaltar que se reemplaza el 25%, 50%, 75% y 100% (con relación al peso) del agregado grueso con Polietileno de Tereftalato.

Los materiales que se utilizan para elaborar las muestras cilíndricas de 15 x 30 cm (altura x diámetro), son cemento portland tipo 1, agua, arena de río, grava y porcentaje de Polietileno de Tereftalato, el cual se obtiene de botellas plásticas recicladas que se introducen en una máquina trituradora cuya salida es el material en trozos de diversas geometrías, entre rectangulares y cuadradas, siendo el tamaño estándar de la rejilla perforada $\frac{3}{4}$ de pulgada.

Teniendo en cuenta que uno de los grupos corresponde al concreto convencional, se utiliza una mezcla con la que se obtiene una resistencia de 3000 PSI, que es utilizada de forma tradicional en diversos procesos de construcción.

Además de realizar las muestras y evaluar su resistencia, se analizan también los costos, teniendo en cuenta el precio y las cantidades de materiales empleados para el concreto convencional y para el concreto con PET que mejor desempeño mecánico presenta, considerando los precios que se muestran en la Tabla I.

Tabla I.
COSTOS DE LOS MATERIALES PARA 11 CILINDROS DE CONCRETO CONVENCIONAL

MATERIAL	PRECIO
CEMENTO	\$ 10.477
AGRAGADO FINO	\$ 6.814
AGREGADP GRUESO	\$ 9.915
AGUA	\$ 1.000
TOTAL	\$ 28.206

Fuente: Autores.

3. RESULTADOS

3.1 Asentamiento

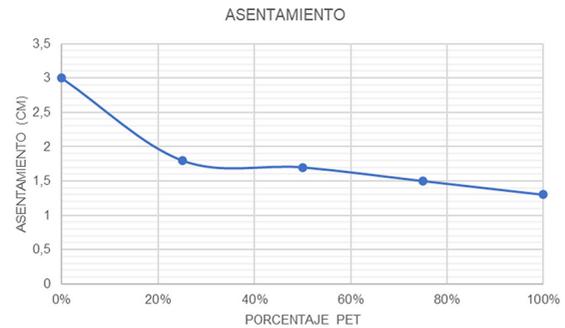
Para realizar el ensayo de asentamiento, inicialmente se debe humedecer el molde o cono de Abramhs con aceite para evitar que quede material dentro de él. Luego se debe ubicar sobre una superficie plana y limpia para incorporar la mezcla de concreto seleccionada mientras se apisona el molde para no provocar movimientos que puedan alterar los resultados.

El cono debe llenarse en 3 capas, en cada una de ellas se debe ejercer una serie de 25 golpes distribuidos uniformemente y en diferentes puntos sobre la sección transversal con una varilla lisa con punta redonda de 16 mm de diámetro. Al terminar de implementar la tercera capa se debe enrasar la superficie con la varilla.

Finalmente, se levanta cuidadosamente en forma vertical el cono de Abramhs sin tocar la mezcla ni generando movimiento torsor. El material inmediatamente produce

un asentamiento equivalente a la diferencia entre la altura inicial y la superficie superior del concreto, desplazada. Se toma la medida correspondiente a cada tipo de concreto y el asentamiento resultante detallando la información en la Fig. 1.

Fig. 1. ASENTAMIENTO



Fuente: Autores.

3.2 Manejabilidad y consistencia

La manejabilidad del concreto se determina según la plasticidad del material, ya que una mezcla plástica al generar asentamiento no cambia su forma, pero una mezcla con poca plasticidad se desmenuza rápidamente [22]. Con base en lo anterior, se determina si la mezcla es manejable, poco manejable o no manejable.

Para identificar la consistencia es necesario determinar el asentamiento de cada una de las mezclas de concreto elaboradas (convencional, con 25%, 50%, 75% y 100% de sustitución de material granular por PET) y a raíz del asentamiento obtenido se puede observar el tipo de consistencia de acuerdo con lo establecido en la Tabla II.

Tabla II.
CONSISTENCIA

Consistencia	Asentamiento (mm)	Ejemplo de tipo de construcción	Sistema de colocación	Sistema de compactación
Muy seca	0-20	Prefabricados de alta resistencia, revestimiento de pantallas de cimentación	Con vibradores de formaleta; concretos de proyección neumática (lanzado)	Secciones sujetas a vibración extrema, puede requerirse presión
Seca	20-35	Pavimentos	Pavimentadoras con terminadora vibratoria	Secciones sujetas a vibración intensa
Semi-seca	35-50	Pavimentos, fundaciones de concreto simple	Colocación con máquinas operadas manualmente	Secciones simplemente reforzadas con vibración
Media	50-100	Pavimentos compactados a mano, losas, muros y vigas	Colocación manual	Secciones medianamente reforzadas sin vibración
Húmeda	100-150	Elementos estructurales esbeltos	Bombeo	Secciones bastante reforzadas sin vibración
Muy húmeda	150 o más	Elementos muy esbeltos, pilotes fundidos "in situ"	Tubo-embudo tremie	Secciones altamente reforzadas, sin vibración (Normalmente no adecuados para vibrarse)

Fuente: [23]

En la Tabla III se determina si la mezcla es manejable, poco manejable o no manejable

Tabla III.
CONSISTENCIA Y MANEJABILIDAD DE LAS MUESTRAS

TIPO DE CONCRETO	CONSISTENCIA DEL CONCRETO	ASPECTO	MANEJABILIDAD
TRADICIONAL	Seca	Con cohesión	Manejable
Con PET 25%	Muy seca	Sin cohesión y suelto	Poco manejable
Con PET 50%	Muy seca	Sin cohesión y suelto	Poco manejable
Con PET 75%	Muy seca	Sin cohesión y suelto	Poco manejable
Con PET 100%	Muy seca	Sin cohesión y suelto	No manejable

Fuente: Autores.

3.3 Ensayo de compresión

En la Fig. 2 se muestran algunos de los cilindros previos para realizar el ensayo de compresión. Una vez están listos; es decir, sin el molde, se procede a hacer el ensayo a compresión correspondiente.

Fig. 2. MOLDES DE CONCRETO POR EVALUAR



Fuente: Autores.

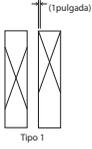
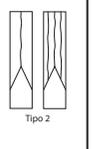
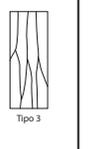
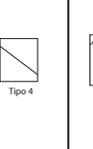
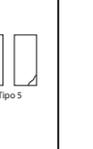
Para obtener las resistencias a compresión se deben ubicar y alinear los especímenes sobre un plano de apoyo en la máquina universal de ensayos a compresión, hasta que la máquina genere la carga que lleve a la rotura del material. En la Tabla IV se presenta la información de los ensayos a compresión elaborados para cada tipo de concreto, teniendo en cuenta el respectivo porcentaje de sustitución de material pétreo por PET a los 7 días, a los 14 días y a los 28 días.

Tabla IV.
RESISTENCIA EN PSI DE LOS CILINDROS DE CONCRETO CONVENCIONAL Y PET FALLADOS A LOS 7 DÍAS

Tipo de concreto	Edad de curado (días)	Diámetro (cm)	Carga aplicada (KN)	Resistencia PSI del cilindro	TIPO DE FALLA					
					Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4	Tipo 5	Tipo 6
Concreto convencional	7	15,1	283,0	2301,0					x	
		15,2	273,5	2195,0					x	
		15,1	231,5	1883,0						x
Concreto con 25% de PET	7	15,1	64,1	521,0			x			
		15,2	74,1	595,0			x			
		15,2	55,6	446,0		x				
Concreto con 50% de PET	7	15,0	68,0	558,0		x				
		15,0	68,0	438,0			x			
		15,0	59,0	484,0			x			
Concreto con 75% de PET	7	15,1	66,5	531,0	x					
		15,2	58,0	476,0		x				
		15,0	58,0	480,0	x					
Concreto con 100% de PET	7	15,1	33,0	271,0		x				
		15,2	33,0	285,0			x			
		15,0	32,0	256,0		x				

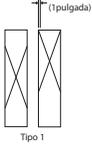
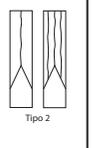
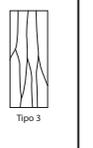
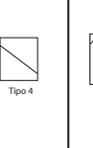
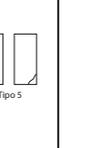
Fuente: Autores.

Tabla V.
RESISTENCIA EN PSI DE LOS CILINDROS DE CONCRETO CONVENCIONAL Y PET FALLADOS A LOS 14 DÍAS

Tipo de concreto	Edad de curado (días)	Diámetro (cm)	Carga aplicada (KN)	Resistencia PSI del cilindro	TIPO DE FALLA					
										
Concreto convencional	14	15,1	380,0	3097,0					x	
		15,2	384,0	3082,0					x	
Concreto con 25% de PET	14	15,2	200,7	1611,0			x			
		15,0	201,6	1611,0						x
		15,0	195,8	1614,0			x			
Concreto con 50% de PET	14	15,0	114,4	943,0			x			
		15,1	111,4	871,0		x				
		15,1	110,7	900,0		x				
Concreto con 75% de PET	14	15,1	84,6	688,0				x		
		15,6	74,6	568,0						x
		15,2	80,6	647,0				x		
Concreto con 100% de PET	14	15,1	59,0	480,0			x			
		15,2	58,0	462,0			x			
		15,0	54,0	446,0			x			

Fuente: Autores.

Tabla VI.
RESISTENCIA EN PSI DE LOS CILINDROS DE CONCRETO CONVENCIONAL Y PET FALLADOS A LOS 28 DÍAS

Tipo de concreto	Edad de curado (días)	Diámetro (cm)	Carga aplicada (KN)	Resistencia PSI del cilindro	TIPO DE FALLA					
										
Concreto convencional	28	15,1	385,0	3120,0					x	
		15,2	392,0	3129,0					x	
		15,1	384,0	3109,0						
Concreto con 50% de PET	28	15,0	137,0	1124,0			x			
		15,1	138,0	1115,0						x
		15,1	138,2	1119,0			x			
Concreto con 75% de PET	28	15,1	105,0	860,0				x		
		15,2	104,0	842,0			x			
		15,2	107,0	865,0				x		
Concreto con 100% de PET	28	15,1	82,0	670,0			x			
		15,2	79,0	642,0		x				
		15,0	81,0	658,0		x				

Fuente: Autores.

En los diversos grupos Concreto en los que se agregó Polietileno de Tereftalato no se alcanzó la resistencia de 3000 PSI y a medida que se aumenta el porcentaje de PET la resistencia disminuye significativamente.

En la Figura 3 se muestran los cilindros una vez se han evaluado a los 28 días, para los diferentes porcentajes de PET.

Fig. 3. CILINDROS SOMETIDOS A COMPRESIÓN: A. CON 25% PET; B. CON 50% PET; C. CON 75% PET; D. CON 100% PET



A.



B.



C.



D.

Fuente: Autores.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El tamaño de las partículas de PET utilizadas para reemplazar el agregado grueso afectó significativamente la resistencia de cada una de las muestras, dejando como evidencia, de acuerdo con las pruebas realizadas, que a mayor porcentaje de PET menor la resistencia, a tal punto, que ni siquiera al utilizar un 25% de PET se alcanzó el mínimo establecido de 2465 PSI en concreto convencional.

Al hacer la preparación de las muestras se observa que por el tamaño del PET se generan vacíos en las muestras, con las dimensiones (3/4 pulgada) de PET utilizado se obtiene una diferencia de resistencia de 23% con respecto al mínimo establecido para una mezcla con 25% de PET, presentando como ventaja una disminución de los costos, aproximadamente en un 7%, teniendo en cuenta los costos para una mezcla con 25% de PET que se muestran en la Tabla VII al ser comparados con los costos del concreto convencional que se muestra en la Tabla I.

Tabla VII.
COSTOS DE 11 CILINDROS DE CONCRETO CON 25% PET

COSTO MEZCLA CONVENCIONAL 3000 Psi (25% PET)	
CEMENTO	\$ 10.477
PLÁSTICO	\$ 502
AGREGADO GRUESO	\$ 7.436
AGREGADO FINO	\$ 6.814
AGUA	\$ 1.000
TOTAL	\$ 26.229

Fuente: Autores.

Además, otro factor importante que puede considerarse como ventaja es la disminución del peso, el cual se midió por medio de una balanza de piso una vez que se hicieron los moldes, observando que para un cilindro de concreto convencional se tienen 12,13 kg, para el concreto con 25% de sustitución 10,70 kg, con 50% de sustitución 9,60 kg, con 75% de sustitución 8,50 kg y para el de 100% de sustitución 7,40 kg. De esta manera, el concreto que mejor resistencia presenta (25% de PET) es 13% menos pesado con respecto al convencional.

Es evidente que para las muestras compuestas por un 50%, 75% y 100% de PET los resultados difieren por mucho con respecto al mínimo establecido y la apariencia de la muestra permite ver la falta de consistencia y manejabilidad, lo cual no es conveniente en procesos de fabricación.

De acuerdo con el experimento realizado, es importante mencionar que un mejor resultado se puede obtener si se realiza una relación de densidades entre el PET y el agregado [6], ya que en este caso el PET no está ocupando en su totalidad el espacio del agregado y de esta manera se genera desunión entre la mezcla, provocando que la resistencia disminuya, incrementando el volumen de los poros [24], lo cual se puede mejorar disminuyendo las dimensiones del PET

y usando mecanismos de alivio de presión en el concreto [25]. A comparación de otros trabajos [26], en los que se emplea PET en pequeños porcentajes y filamentos muy pequeños, se demostró que es posible incrementar el PET, siendo necesario revisar diversos factores como la cohesión de los materiales, el uso de máquina mezcladora y las dimensiones del PET.

5. CONCLUSIONES

El comportamiento mecánico que se obtuvo de las muestras de concreto realizadas permite ver que no son adecuadas para utilizar en la cotidianidad, siendo la razón principal el tamaño del Polietileno de Tereftalato y el porcentaje empleado, ya que esto generó vacíos en cada uno de los cilindros y no permitió la correcta adhesión de los materiales, afectando la resistencia, el asentamiento, la consistencia y la manejabilidad. Sin embargo, al analizar la muestra con 25% de PET resultaría conveniente efectuar un proceso de granulado de este, disminuir el tamaño del mismo, analizar nuevamente las propiedades, considerando porcentajes menores y otros no tan elevados, y descartar completamente las mezclas a partir del 50% con PET; es decir, entre un 5% y un 45%, siguiendo la misma metodología presentada en este artículo, revisando el asentamiento, la consistencia, la manejabilidad y la resistencia, documentando el peso y el costo, con el fin de revisar en cuanto disminuye, de manera que se contribuye con el medio ambiente, al reutilizar material altamente contaminante y se aporta también al sector de la construcción al disminuir el peso de estructuras y posiblemente los costos. Es necesario encontrar la relación adecuada para empezar a trabajar con mezclas de este tipo.

6. REFERENCIAS

- [1] D. Miranda, "20 datos sobre el problema del plástico en el mundo", National Geographic España, 17 11 2021. [Online]. Available: https://www.nationalgeographic.com.es/mundo-ng/20-datos-sobre-problema-plastico-mundo_15282. [Accessed 12 2021].
- [2] National Geographic, "5 cifras alarmantes sobre la contaminación por plásticos en el mundo", *National Geographic en Español*, 09 04 2019. [Online]. Available: <https://www.ngenespanol.com/ecologia/5-cifras-contaminacion-por-plasticos-mundo/>. [Accessed 12 2021].
- [3] Superintendencia de residuos públicos domiciliarios, "Informe de disposición final de residuos sólidos - 2018", República de Colombia - Supersevicios, Bogotá, DC, 2019.
- [4] Acoplásticos, "¿Qué es el PET?", *Colombiaplast*, 2021. [Online]. Available: <https://www.acoplásticos.org/index.php/mnu-pre/opm-bus-pref/36-opc-fag-pre4>. [Accessed 11 2021].
- [5] *Residuos profesional*, "Reciclaje de pet para avanzar hacia una economía circular", Residuos profesional, 2020. [Online]. Available: <https://www.residuosprofesional.com/reciclaje-pet-economia-circular/>. [Accessed 11 2021].
- [6] A. B. Acevedo Jaramillo and J. E. Posada Franco, "Polietileno tereftalato como reemplazo parcial del agregado fino en mezclas de concreto", *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, vol. 18, no. 34, pp. 45-56, 2019.
- [7] Departamento Administrativo Nacional de Estadística, "Estadísticas de Concreto", DANE, Colombia, 2022.
- [8] J. González Sánchez, *Construcción con botellas de plástico: análisis y mejora de elementos y sistemas constructivos estructurales*, Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid, 2019.
- [9] D. Ruiz Valencia, C. López Pérez, E. Cortes and A. Froese, "Nuevas alternativas en la construcción: botellas PET con relleno de tierra", *Apuntes Revista de estudios sobre patrimonio cultural*, vol. 25, no. 2, pp. 292-303, 2012.
- [10] D. L. Tabaco Lombana and L. A. Silva Aparicio, *Elaboración de una guía metodológica de autoconstrucción del usuario para viviendas temporales de un piso, utilizando materiales no convencionales*, Bogotá: Universidad de la Salle, 2018.
- [11] B. J. Hernández Hernández, *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, 2011.
- [12] M. Sanabria, "Evaluación de las propiedades físico - mecánicas del concreto convencional reemplazando agregado grueso con polietileno de tereftalato en distintas proporciones", en *Prácticas de Investigación Formativa: Experiencias en la aplicación de temáticas de ingeniería civil*, Villavicencio, Colombia, Universidad Santo Tomás, 2021, pp. 410-426.
- [13] V. H. Aliaga Cordova, *Evaluación técnica de la mezcla de concreto con pet Reciclable, para la producción de ladrillo de concreto compuesto en la construcción*, Lima, Perú: Universidad Nacional Federico Villarreal, 2018.
- [14] I. M. Reyes Montoya, *Diseño de un concreto con fibras de Polietileno Tereftalato (pet) reciclado para la ejecución de losas en el asentamiento humano Amauta - Ate - Lima Este*, Lima, Perú: Universidad Ricardo Palma, 2019.
- [15] Y. S. Torres Pérez and J. E. Lugo Mejía, *caracterización del comportamiento mecánico del concreto simple con adición de fibras poliméricas recicladas pet*, Bogotá, Colombia: Universidad Católica de Colombia, 2019.
- [16] A. B. Acevedo Jaramillo and J. E. Posada Franco, "Polietileno tereftalato como reemplazo parcial del agregado fino en mezclas de concreto", *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, vol. 18, no. 34, pp. 45-56, 2019.
- [17] A. Silvestre Gutiérrez, *Análisis del concreto con tereftalato de polietileno (PET) como aditivo para aligerar elementos estructurales*, Pereira: Universidad Libre, 2015.
- [18] D. A. Torres and J. G. Bastidas, "Reinforced Concrete with Synthetic Fibers (PET+PP) for Rigid Pavement Structures", in *Congreso Internacional de Innovación y Tendencias en Ingeniería (CONIITI)*, Bogotá, Colombia, 2018.
- [19] C. Higuera Flórez, J. Cárdenas Pulido and A. Vargas Aguilar, "Evaluation of chloride penetration in cement mortars reinforced with different proportions of recycled PET fibers", in *Congreso Internacional de Innovación y Tendencias en Ingeniería (CONIITI)*, Bogotá, Colombia, 2021.
- [20] L. Marsiglio, S. Cheng, E. Falk, A. Fugh, K. Mulvaney, B. Slocum and D. Morris, "Comparing the Properties of Polyethylene Terephthalate (PET) Plastic Bricks to Conventional Concrete Masonry Units", in *IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)*, Seattle, WA, USA, 2020.
- [21] J. James, A. Kirubakaran, R. Balamurukan, V. Jawahar and S. Soorya, "Wetting-Drying Resistance of a Lime Stabilized Soil Amended with Steel Slag and Reinforced with Fibres", *Revista ITECKNE*, vol. 18, no. 1, pp. 7-17, 2021.
- [22] J.A. Cárdenas Gutiérrez, J.L. Jácome Carrascal, M. Vergel Ortega, "Manejabilidad del concreto convencional mediante

- implementación de agregados alternativos”, *Revista Boletín Redipe*, vol. 10, no. 13, pp. 401-408, 2021.
- [23] D. Sánchez de Guzmán, “Tecnología del Concreto y del Mortero”, 5ª. Ed. Bogotá, Colombia. Bhandar Editores, Pontificia Universidad Javeriana. 2001.
- [24] A. L. Castro, R. P. T. Tiba y V. C. Pandolfelli, “Fibras de polipropileno esua influência no comportamento de concretos expostos a altastemperaturas: revisão”, *Revista Cerâmica*, vol.57, pp. 22-31, 2011.
- [25] A. Meza y S. Siddique, “Effect of aspectratio and dosage on the flexuralresponse of FRC with recycled fiber”, *Constr. Build. Mater.*, vol. 213, pp. 286-291, 2019.
- [26] J. A. Saucedo Rodríguez, JJ. Atoche Zamora, y S. P. Muñoz Pérez, “Uso de los agregados PET en la elaboración del concreto: Revisión de la literatura. *Revista Avances: Investigación en Ingeniería*, vol. 18, no 2, pp. 1-10, 2021.