

Influencia de pellets de plástico reciclado como sustituto parcial del agregado fino en concretos permeables(ARTICULO...

 My Files My Files Universidad Peruana Union

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::29566:531437210

Fecha de entrega

21 nov 2025, 3:17 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

21 nov 2025, 3:20 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

Influencia de pellets de plástico reciclado como sustituto parcial del agregado fino en concreto....docx

Tamaño del archivo

3.6 MB

23 páginas

7868 palabras

42.679 caracteres

14% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado

Fuentes principales

- 10%  Fuentes de Internet
- 4%  Publicaciones
- 11%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Fuentes principales

- 10% Fuentes de Internet
- 4% Publicaciones
- 11% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	
hdl.handle.net	3%	
2	Trabajos entregados	
Universidad Privada Antenor Orrego 2025 on 2025-09-26	<1%	
3	Internet	
1library.co	<1%	
4	Internet	
repositorio.umsa.bo	<1%	
5	Publicación	
Quenta Flores, Darwin. "Efecto del reciclado de las fibras de las botellas PET en la..."	<1%	
6	Trabajos entregados	
University of Zululand on 2024-12-19	<1%	
7	Trabajos entregados	
Universidad Cesar Vallejo on 2025-01-15	<1%	
8	Trabajos entregados	
University of Glamorgan on 2023-10-03	<1%	
9	Internet	
repositorio.unj.edu.pe	<1%	
10	Trabajos entregados	
Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez on 2025-07-03	<1%	
11	Trabajos entregados	
Universidad Cesar Vallejo on 2025-01-18	<1%	

12	Internet	repositorio.unach.edu.pe	<1%
13	Trabajos entregados	Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez on 2024-11-22	<1%
14	Internet	www.coursehero.com	<1%
15	Internet	repositorioacademico.upc.edu.pe	<1%
16	Trabajos entregados	Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez on 2025-11-08	<1%
17	Internet	docplayer.es	<1%
18	Internet	eprints.uanl.mx	<1%
19	Trabajos entregados	ufidelitas on 2025-04-07	<1%
20	Trabajos entregados	uncedu on 2025-01-21	<1%
21	Internet	repositorio.chapingo.edu.mx	<1%
22	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2018-11-30	<1%
23	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2022-12-14	<1%
24	Internet	yuss.me	<1%
25	Publicación	R Filgueira, MJ Fernández-Reiriz, U Labarta. "Clearance rate of the mussel Mytilus ...	<1%

26	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2025-01-18	<1%
27	Trabajos entregados	Universidad Privada Antenor Orrego 2025 on 2025-09-25	<1%
28	Trabajos entregados	Universidad Tecnologica del Peru on 2024-12-12	<1%
29	Trabajos entregados	uncedu on 2025-01-09	<1%
30	Trabajos entregados	Instituto Tecnologico de Costa Rica on 2023-05-01	<1%
31	Internet	doczz.es	<1%
32	Internet	renati.sunedu.gob.pe	<1%
33	Internet	repositorio.unsm.edu.pe	<1%
34	Internet	repositorio.upla.edu.pe	<1%
35	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2025-07-18	<1%
36	Trabajos entregados	Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas on 2024-08-31	<1%
37	Trabajos entregados	Universidad Privada Antenor Orrego on 2024-11-28	<1%
38	Internet	idus.us.es	<1%
39	Internet	repositorio.upn.edu.pe	<1%

40	Publicación	Fredes Siervo, José Ignacio. "Análisis numérico de muros de albañilería de ladrillo..."	<1%
41	Trabajos entregados	Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez on 2025-09-21	<1%
42	Trabajos entregados	Universidad Andrés Bello on 2024-11-11	<1%
43	Trabajos entregados	Universidad Privada Antenor Orrego 2025 on 2025-07-16	<1%
44	Internet	agriournals.ir	<1%
45	Internet	http://200.13.202.26/proyectos/pdf/941500927inf.pdf	<1%
46	Internet	rua.ua.es	<1%
47	Publicación	Landeros Barrera, Juan Carlos. "Influencia de la Adición de la Cal Viva en Concret..."	<1%
48	Publicación	M. Vijayakumar, G. Anusha, M. Athipathy, P. Krishnakumar. "Experimental study ..."	<1%
49	Publicación	Roselhyn Lurita Suárez, Leopoldo Choque Flores. "Adición de caucho molido y pie..."	<1%
50	Trabajos entregados	Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez on 2019-01-21	<1%
51	Trabajos entregados	Universidad Católica San Pablo on 2023-12-19	<1%
52	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2025-04-28	<1%
53	Trabajos entregados	Universidad Privada del Norte on 2024-05-17	<1%

54	Internet	core.ac.uk	<1%
55	Internet	noesis.uis.edu.co	<1%
56	Internet	repositorio.udec.cl	<1%
57	Internet	repositorio.upeu.edu.pe	<1%
58	Internet	repositorio.uss.edu.pe	<1%
59	Internet	riubu.ubu.es	<1%
60	Internet	saber.ucv.ve	<1%
61	Internet	www.researchgate.net	<1%
62	Trabajos entregados	Santiago College on 2025-11-17	<1%
63	Trabajos entregados	Universidad Católica Boliviana "San Pablo" on 2024-11-04	<1%
64	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2024-12-14	<1%
65	Trabajos entregados	Universidad Nacional Mayor de San Marcos on 2025-08-14	<1%
66	Trabajos entregados	Universidad Tecnológica de los Andes on 2024-12-12	<1%
67	Trabajos entregados	Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez on 2025-09-21	<1%

68 Trabajos
entregados

Universidad Cesar Vallejo on 2024-12-02

<1%

Influencia de pellets de plástico reciclado como sustituto parcial del agregado fino en concretos permeables.

Y. Coaquira¹ ORCID , C. Zavaleta² ORCID , E. Mamani³ ORCID , Y. Apaza^{4*} ORCID 

*Autor de Contacto: yesenia.apaza@upeu.edu.pe

RESUMEN

Esta investigación evaluó la influencia de pellets de plástico reciclado como sustituto parcial del agregado fino en el concreto permeable. Se aplicó un diseño cuasiexperimental con porcentajes de sustitución de 30%, 40% y 50%, en función del volumen del agregado fino, comparados con una mezcla patrón. Las probetas fueron sometidas a ensayos de compresión, flexión, abrasión, porosidad, densidad y permeabilidad conforme a normas ASTM y ACI 522R-10. La mezcla con 30% alcanzó 207.06 kg/cm² en compresión, superando al patrón (193.64 kg/cm²), con permeabilidad (0.61 cm/s) y porosidad (22.08%). Los resultados corresponden a condiciones de laboratorio. En conclusión, el uso de pellets de plástico reciclado en porcentajes moderados representa una alternativa técnica y sostenible para la producción del concreto permeable.

Palabras clave: Concreto permeable; pellets de plástico reciclado; pavimentos especiales; permeabilidad; resistencia mecánica.

Citar como: Y. Coaquira, C. Zavaleta, E. Mamani, Y. Apaza* (2025), "Influencia de pellets de plástico reciclado como sustituto parcial del agregado fino en concretos permeables" Revista ALCONPAT.

¹ Departamento de Investigación, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Universidad Peruana Unión, Juliaca, Perú..

² Departamento de Investigación, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Universidad Peruana Unión, Juliaca, Perú.

³ Departamento de Investigación, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Universidad Peruana Unión, Juliaca, Perú.

⁴ Departamento de Investigación, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Universidad Peruana Unión, Juliaca, Perú.

Influence of recycled plastic pellets as a partial substitute for fine aggregate in permeable concrete.

ABSTRACT

This research evaluated the influence of recycled plastic pellets as a partial substitute for fine aggregate in permeable concrete. A quasi-experimental design was applied with substitution percentages of 30%, 40%, and 50%, based on the volume of fine aggregate, compared to a standard mixture. The test specimens were subjected to compression, flexural, abrasion, porosity, density, and permeability tests in accordance with ASTM and ACI 522R-10 standards. The mixture with 30% replacement achieved 207.06 kg/cm² in compression, exceeding the standard (193.64 kg/cm²), with permeability (0.61 cm/s) and porosity (22.08%). The results correspond to laboratory conditions. In conclusion, the use of recycled plastic pellets in moderate percentages represents a technical and sustainable alternative for the production of permeable concrete.

Keywords: Permeable concrete; recycled plastic pellets; special pavements; permeability; mechanical strength.

Influência de pellets de plástico reciclado como substituto parcial do agregado fino em betão permeável.

RESUMO

Esta investigação avaliou a influência de pellets de plástico reciclado como substituto parcial do agregado fino no betão permeável. Foi aplicado um desenho quase experimental com percentagens de substituição de 30%, 40% e 50%, em função do volume do agregado fino, comparadas com uma mistura padrão. As amostras foram submetidas a ensaios de compressão, flexão, abrasão, porosidade, densidade e permeabilidade, de acordo com as normas ASTM e ACI 522R-10. A mistura com 30% atingiu 207,06 kg/cm² em compressão, superando a padrão (193,64 kg/cm²), com permeabilidade (0,61 cm/s) e porosidade (22,08%). Os resultados correspondem a condições de laboratório. Em conclusão, o uso de pellets de plástico reciclado em percentagens moderadas representa uma alternativa técnica e sustentável para a produção de concreto permeável.

Palavras-chave: Concreto permeável; pellets de plástico reciclado; pavimentos especiais; permeabilidade; resistência mecânica.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, localidades, especialmente en el sur, con sectores urbanos de alta concentración poblacional como Juliaca, se enfrentan a serios problemas en la gestión del agua. Esto es más evidente durante las lluvias intensas debido a que hay una expansión de superficies cubiertas con materiales que no permiten la filtración, como los pavimentos tradicionales (Cole et al., 2020; Vijayakumar et al., 2022). Esto limita la capacidad de infiltración de agua hacia el suelo, lo que ocasiona inundaciones a lo largo de las calles y estacionamientos (Vijayakumar et al., 2022). Las inundaciones constituyen una de las consecuencias asociadas a la variación climática global convirtiéndose en un riesgo y una preocupación para numerosos proyectos (Cole et al., 2020; Saxena et al., 2020).

El concreto permeable ha despertado un interés creciente debido a sus beneficios para un desarrollo viable (Pahsha et al., 2024), destacando por su eficacia el manejo y control de escorrentías pluviales permitiendo su filtración a través de su superficie y durante ese proceso reteniendo los contaminantes (Yang et al., 2022), posicionándose como una alternativa innovadora al facilitar la infiltración del agua y disminuir el riesgo de inundaciones urbanas (Jasim & Abdulabbas, 2020).

El concreto poroso o permeable, se caracteriza por una estructura con vacíos en su interior, está compuesto principalmente por cemento, agua, agregado grueso y una proporción mínima o nula de agregado fino, permitiendo mediante sus espacios vacíos la absorción del agua hacia el subsuelo (Pahsha et al., 2024). La proporción de poros presentes en el concreto permeable se encontró entre el 15 % y 35 %, teniendo tamaños de poros que varían de 2 a 8 mm (Nguyen et al., 2014). Según ACI 522-R10, la resistencia a la compresión del concreto permeable se encuentra entre 2.8 y 28 MPa, el rango de permeabilidad varía de 81 a 730 L/min/m² (0.135–1.21 cm/s), y la relación (a/c) se sitúa entre 0.26 a 0.45. Usualmente, incorporar un agregado fino que represente entre el 5 % y el 10 % de la masa del agregado grueso proporciona una mejor resistencia y durabilidad del concreto permeable (Nguyen et al., 2014).

Los desechos plásticos presentan una baja capacidad de biodegradación y se acumulan en grandes volúmenes, por lo que su eliminación en espacios abiertos representa un serio problema ambiental (Saxena et al., 2020). Se ha buscado disminuir la utilización de agregados como la arena y la grava, optando por utilizar materiales de desechos, tanto inorgánicos reciclables como desechos de construcción y demolición. (Cole et al., 2020). Una de las alternativas más viables es el aprovechamiento de plásticos reciclados provenientes de botellas, los cuales son transformados en pellets (PET) (Saikia & De Brito, 2014). Esta alternativa no solo ayudará a disminuir el impacto ambiental al reducir la acumulación de desechos plásticos, sino que también es una opción de bajo costo frente a los materiales convencionales (Meza de Luna & Shaikh, 2020). El procedimiento consiste, inicialmente, en triturar las botellas para obtener pequeñas escamas. Estas escamas se secan con el objetivo de eliminar cualquier rastro de humedad. Posteriormente, las escamas secas se colocan en una máquina extrusora, donde se calientan y transforman en hilo de plástico. Finalmente, esos hilos se enfrían y se cortan en pequeños gránulos de 2-5 mm, conocidos como pellets (PET) (PETCORE Europe, 2021).

En este contexto, varios estudios han centrado sus investigaciones hacia la inclusión de desechos industriales en la elaboración del concreto, impulsando el reciclaje y el reaprovechamiento de estos recursos. Saikia & De Brito (2014), evaluaron el uso de fibras plásticas recicladas de PET como sustituto parcial del agregado grueso natural en la fabricación de concreto permeable en porcentajes de 0 %, 5 %, 10 %, 15 %, y 20 %, observando que la resistencia a la compresión disminuyó a 20 % y a flexión a 10 %, la porosidad, permeabilidad y resistencia a la abrasión mostraron un incremento progresivo con mayores porcentajes de PET. Por otro lado, Ali et al. (2020), mencionan que al incorporar fibras de plástico poliestireno expandido (EPS) y PET se presenta una pérdida de resistencia frente a los esfuerzos de compresión, abrasión y densidad, pero un incremento en la

resistencia a la flexión, relación de porosidad y el coeficiente de permeabilidad al usar fibras de PET hasta un 1 % de volumen. Meza de Luna & Shaikh (2020), concuerdan que al añadir fibra de PET reciclado muestra un aumento en la resistencia a la flexión. Mendivil-Escalante et al. (2017), Identificó que la resistencia a la compresión, la tracción, el módulo de elasticidad y resistencia a la flexión disminuye al incorporar mayor porcentaje de PET pero una mejora en la permeabilidad. Por otro lado, Pahsha et al. (2024) presentaron en su investigación la disminución en la resistencia a la compresión con un reemplazo de 20 % de PET y 10 % de PET en la resistencia a la flexión, pero Saxena et al. (2020), menciona que al reemplazar agregados finos y gruesos con residuos de PET se obtendrá una mejora en la resistencia a la abrasión del concreto permeable.

En este artículo se propuso la incorporación de pellets de plástico reciclado como sustituto parcial del agregado fino en la elaboración de concreto permeable; se propuso como hipótesis que al añadir los pellets de plástico reciclado cambiaría de forma relevante las propiedades físicas y mecánicas del concreto permeable, con el fin de equilibrar resistencia mecánica y permeabilidad. Por ende, el objetivo de este artículo fue examinar cómo la sustitución de los pellets de plástico reciclado en porcentajes de 30 %, 40 % y 50 % del agregado fino influye en las propiedades físicas y mecánicas del concreto permeable, para ello se evaluó los parámetros de resistencia relacionados con los esfuerzo de compresión y de flexión, así como su capacidad de permeabilidad, resistencia al desgaste mecánico, densidad y porosidad, con lo que se obtuvo un estudio completo del comportamiento del concreto permeable. Estos ensayos permitieron identificar el porcentaje óptimo de sustitución, logrando un balance adecuado entre resistencia, capacidad de drenaje y durabilidad, contribuyendo así a una solución viable, funcional y con beneficios medioambientales.

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Esta investigación correspondió a un estudio aplicativo, sustentado en un enfoque cuantitativo y con un diseño explicativo, puesto que se evaluó la relación causa-efecto entre la incorporación parcial de pellets de plástico reciclado en sustitución del agregado fino y el comportamiento del concreto permeable. El diseño fue cuasiexperimental, tomando como variable independiente los porcentajes de reemplazo y como dependientes las propiedades físicas y mecánicas que se evaluaron según los criterios definidos por las normas ACI 522R-10 y ASTM.

2.1 Materiales

Durante la ejecución de la investigación se hizo uso del cemento Portland tipo IP por su amplia disponibilidad en el mercado peruano y cuenta con la normativa correspondiente en la NTP 334.009, como agregado grueso se utilizó piedra triturada con una dimensión de 19.00 mm a 4.00 mm (Huso N°67) conforme a la norma ASTM C33 y como agregado fino se utilizó piedra triturada con tamaño de partícula de 4.00 mm (pasa) y 2.00 mm (retiene). Los pellets de plástico reciclado PET se obtuvieron a través de un proveedor, cada partícula de pellets tiene un tamaño de 2.00- 5.00 mm. En la tabla 1 se describen las propiedades físico-químicas de los pellets de plástico reciclado.



Figura 1. Partículas de pellets de plástico reciclado (PET).

Tabla 1. Propiedades físico-químicas de pellets de plástico reciclado PET.

Propiedades	Valor	Descripción
Estado físico		Sólido (pellets cilíndricos o esféricos)
Textura		Superficie lisa o levemente porosa
Tamaño del pellet	2 - 5 mm	Diámetro/longitud promedio
Densidad real	1.30 - 1.38 g/cm ³	--
Densidad aparente	0.85 - 0.95 g/cm ³	--
Absorción de humedad	0.1-0.5 %	Material higroscópico, requiere secado antes del uso
Módulo de elasticidad	2.0-2.7 × 10 ³ MPa	--
Alargamiento a la rotura	5-15 %	--
Fórmula química	C ₁₀ H ₈ O ₄	Unidad repetitiva del polímero PET

En la tabla 2 se observa las propiedades físicas del agregado grueso y fino, destacando que el agregado fino presenta un porcentaje mayor de absorción, así como un peso específico más elevado, además presenta mayores valores en el peso unitario suelto y compactado. Para la mezcla del concreto permeable se utilizó agua potable.

Tabla 2. Propiedades físicas del agregado grueso y fino.

Propiedades	Módulo de finura	Peso Unitario kg/m ³		Absorción de agua (%)	Gravedad específica
		Suelto	Compactado		
Agregado grueso	6.84	1464.2	1608.2	2.49	2.42
Agregado fino	3.05	1927.3	2015.9	5.35	2.83

La norma (ASTM C33/C33M-23, 2023) se empleó para determinar la distribución del tamaño de partícula de los agregados. A partir de este ensayo se obtuvieron los perfiles granulométricos correspondientes a los agregados gruesos y finos. La Figura 2 muestra los resultados del tamizado junto con los límites de gradación definidos por la norma ASTM C33.

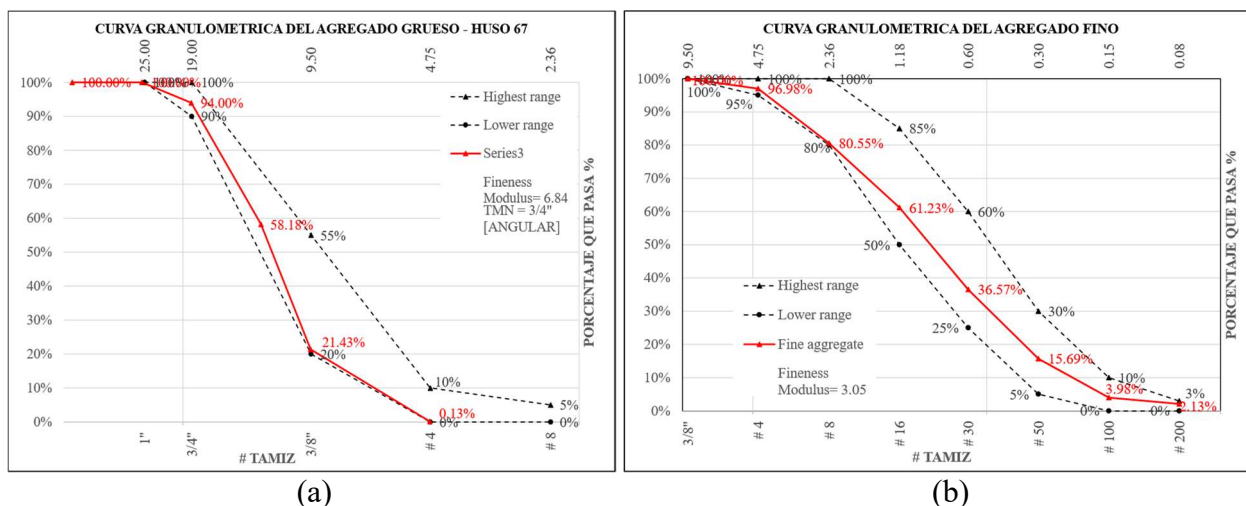


Figura 2. (a) Curva granulométrica del agregado grueso; (b) Curva granulométrica del agregado fino.

2.2 Diseño de Mezcla

El diseño de mezcla del concreto permeable incluyó cuatro diseños, de acuerdo con lo indicado por el ACI 522-R10. La mezcla control y tres mezclas donde se sustituyó el agregado fino por los pellets de plástico reciclado (2 – 5 mm), en proporciones de 30 %, 40 % y 50 % del 10 % del agregado fino. Nguyen et al. (2014), mencionan que optar por el 10 % de agregado fino presenta un efecto beneficioso en la trabajabilidad, cohesión y resistencia mecánica, sin comprometer la permeabilidad. La trabajabilidad se evaluó mediante el ensayo de revenimiento (ASTM C143), obteniéndose un valor de 0 mm para todas las mezclas. En la tabla 3 se detallan las proporciones finales correspondientes al diseño de mezcla del concreto permeable.

Tabla 3. Proporciones finales del diseño de mezcla del concreto permeable (kg/m³).

Identificación de la mezcla	a/c	Cemento (kg)	Agua (lt)	Agregado grueso (kg)	Agregado fino (kg)	Pellets de plástico reciclado (kg)
0 % (P)	0.38	423	161	1380	158	0
30 %	0.38	423	161	1380	110.6	47.4
40 %	0.38	423	161	1380	94.8	63.2
50 %	0.38	423	161	1380	79	79

Donde: 0 % (P) es la mezcla patrón, 30 %, 40 % y 50 % son las mezclas por porcentajes de adición de pellets de plástico reciclado en sustitución del agregado fino.

La elaboración del concreto permeable se realizó conforme a la norma ASTM C192, empleando una mezcladora tipo trompo con capacidad de 140 litros. El moldeo de la mezcla de concreto permeable se realizó mediante el uso de probetas y vigas. Se vació en dos y tres capas las probetas cilíndricas de 200 mm × 100 mm y 300 mm × 150 mm. Según lo indicado por Jose M. Porras (2017), una alternativa adecuada para la compactación del concreto permeable es el uso de un mazo conforme al método Proctor modificado (ASTM D1557-12) con un peso de 44.48 N a una altura de 457.2 mm, en la figura 3 se muestra el esquema de compactación en las probetas cilíndricas. De igual manera, las vigas se vaciaron en dos capas en moldes de 150 mm × 150 mm × 500 mm; donde la compactación se realizó con un mazo del Proctor modificado; los golpes del mazo se repartieron en tres líneas a lo largo del molde, asegurando la mayor uniformidad posible, luego se enrasó la superficie utilizando la varilla en sentido longitudinal, tal como se observa en la figura 4. Después

del vaciado de la mezcla del concreto permeable se prosiguió con el desmoldeo de cada espécimen después de que haya transcurrido 24 horas. Para el procedimiento del curado la norma ACI 522-R10 nos indica que se deben cubrir las muestras en láminas de plástico resistente con dimensiones suficientes para cubrir todo el espécimen evitando que la humedad del material se escape al entorno atmosférico como se muestra en la figura 5.

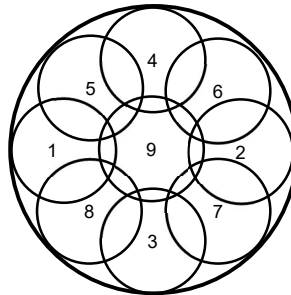


Figura 3. Proceso de compactación para briquetas de 300 mm x 150 mm.

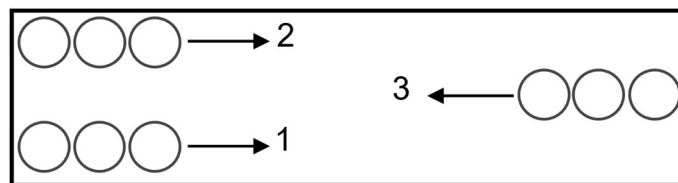


Figura 4. Proceso de compactación para las vigas de 150 mm x 150 mm x 500 mm.



Figura 5. Curado de probetas

2.3 Ensayo de laboratorio

2.3.1 Permeabilidad

En la imagen 6 (a), se presenta un dispositivo diseñado para cuantificar la permeabilidad del concreto, de acuerdo con lo establecido por la norma ACI 522-R10. En este proceso, se registra el tiempo que demora una cantidad específica de agua en atravesar verticalmente la muestra de concreto, lo cual permite obtener el coeficiente de permeabilidad. Para llevar a cabo esta evaluación, se utilizan tres probetas cilíndricas con medidas de 300 x 150 mm para cada tipo de mezcla, estas muestras estuvieron cubiertas por los lados con plástico film y cinta adhesiva, tal como se ilustra en la figura 6 (b). Antes de ser colocada la muestra en el equipo, se cierran las

juntas con adhesivo para PVC y cinta impermeable, previniendo así la pérdida de agua durante la prueba.

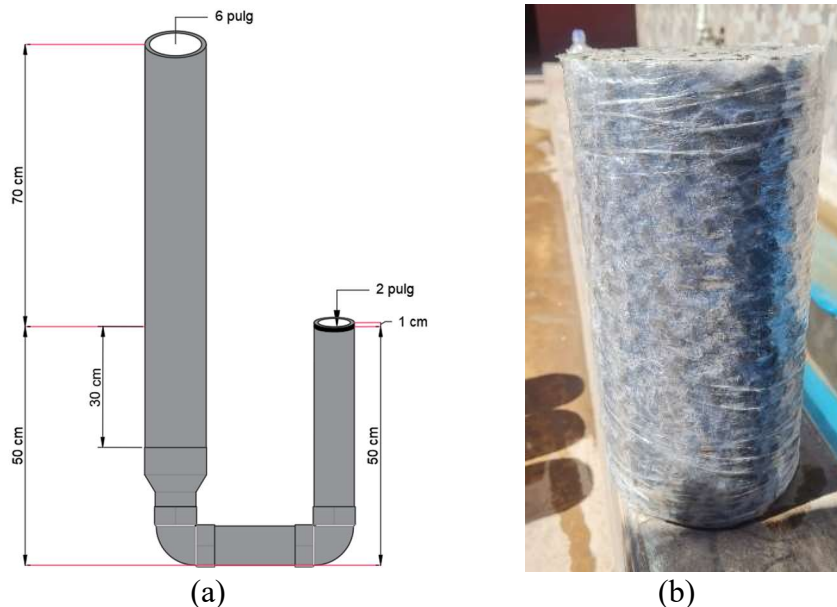


Figura 6. (a) Permeámetro de cabeza descendente, (b) probeta de concreto permeable envuelta en plástico film y cinta adhesiva.

2.3.2 Resistencia a la compresión y flexión.

Los ensayos de resistencia a la compresión y a la flexión se realizaron conforme a lo indicado en la norma ASTM C39 y ASTM C78 respectivamente. La resistencia a la flexión se ensayó en muestras prismáticas de 150 mm × 150 mm × 500 mm a la edad de 28 días de curado. Para la resistencia a la compresión se ensayaron muestras cilíndricas de 300 mm × 150 mm, a edades de 7, 14 y 28 días. Se incluyó la edad intermedia de 14 días además de las edades normativas de 7 y 28 días (NTP 339.034), con el fin de analizar la evolución de la resistencia en concretos con adiciones no convencionales como los pellets de plástico reciclado. Esta elección experimental permite observar con mayor detalle la cinética de ganancia de resistencia, criterio adoptado en concordancia con estudios previos en concretos modificados. La relación agua cemento (a/c) se mantuvo constante, así como el asentamiento (slump) el cual fue de 0 mm para todas las mezclas. En la figura 7, se observa el equipo y las muestras utilizadas para el ensayo de compresión y flexión



Figura 7. (a) Ensayo de compresión y (b) espécimen utilizado para la prueba de flexión.

2.3.3 Densidad y Porosidad

Las pruebas de densidad y porosidad fueron ejecutadas siguiendo los procesos especificados en la norma ASTM C1754. Para el contenido de vacíos, se tomaron tres muestras cilíndricas de 300 mm × 150 mm por cada diseño de mezcla donde se utilizó el método de secado B, se puso a secar el espécimen en un horno para luego ser sacado a ser enfriado a la temperatura ambiente durante 1 a 3 horas, una vez obtenidos los datos se procedió a efectuar los cálculos correspondientes. En el caso de la densidad del concreto permeable, esta se obtuvo utilizando las mismas muestras ya mencionadas, aplicando la fórmula que relaciona la masa constante de la muestra seca y el volumen total del espécimen.

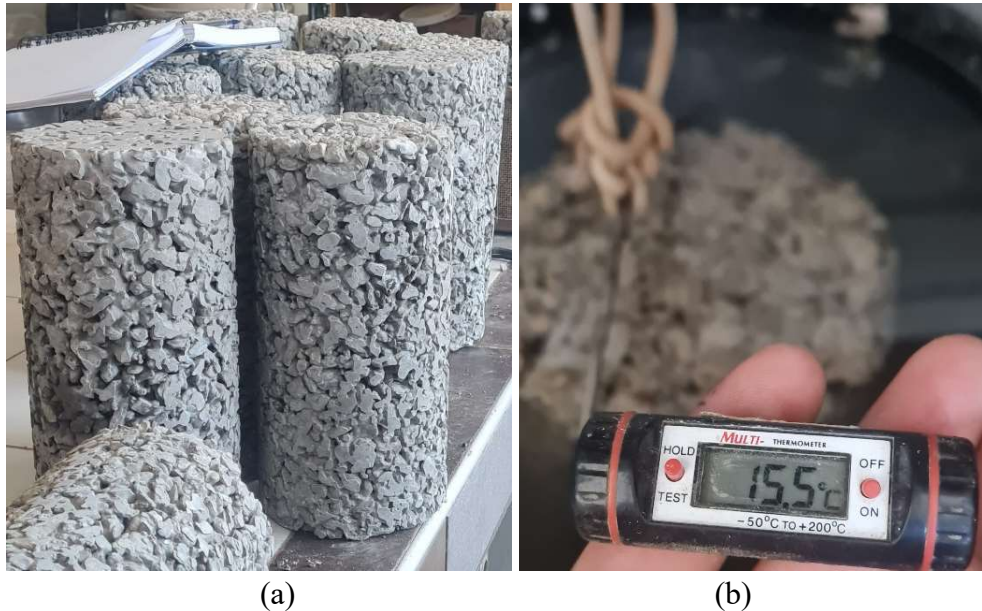


Figura 8. (a) Se muestran las probetas para el ensayo de vacíos y (b) muestra la medición de temperatura para la densidad.

2.3.4 Resistencia a la abrasión

Se evaluó la resistencia a la abrasión del concreto permeable aplicando el método Cántabro, de acuerdo con lo dispuesto en la norma ASTM C1747. Sin embargo, debido a limitaciones en la disponibilidad del material y equipamiento, se utilizó una adaptación del procedimiento, empleando dos muestras cilíndricas de 100 mm × 100 mm por cada diseño de mezcla. Para cada caso, se registró la masa inicial de los especímenes, los cuales fueron posteriormente introducidos en la máquina de abrasión Los Ángeles, incluyendo las 12 esferas de acero. El tambor giró durante 500 revoluciones a una velocidad de entre 30 a 33 r/min. Finalizado el proceso, se retiraron las muestras y se midió su peso final. La disminución de peso se determinó como el porcentaje de reducción en comparación con la masa inicial.



Figura 9. (a) Concreto permeable antes de someter al ensayo de abrasión. (b) Después de someterlas al ensayo de abrasión.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para evaluar las propiedades del material, se prepararon cuatro grupos de probetas cilíndricas de 150 mm × 300 mm, correspondientes a los diferentes diseños de mezcla, para el ensayo a compresión se elaboraron 5 probetas por cada grupo y por edad de 7, 14 y 28 días de curado. Para el ensayo a la flexión se evaluó a los 28 días mediante vigas prismáticas de 150 mm × 150 mm × 500 mm. Adicionalmente, se analizaron propiedades de durabilidad: la permeabilidad se midió en cilindros de 150 mm × 300 mm; la porosidad y la densidad en especímenes equivalentes; y la resistencia a la abrasión en probetas cilíndricas de 100 mm × 200 mm. Todos los ensayos de durabilidad se realizaron a los 28 días. Esta metodología permitió correlacionar de manera sistemática la evolución de las propiedades mecánicas y el desempeño del material en estado endurecido, garantizando condiciones de evaluación adecuadas para cada propiedad.

La inclusión de la edad intermedia de 14 días se justifica porque permite analizar con mayor detalle la cinética de ganancia de resistencia en concretos modificados. Si bien la NTP 339.034 establece los 7 y 28 días como edades de referencia, diversos estudios internacionales (Mendivil-Escalante et al., 2017; Pahsha et al., 2024) han empleado edades intermedias para identificar tendencias en la evolución de la resistencia antes de alcanzar la edad estándar de 28 días, lo cual resulta especialmente útil en concretos con adiciones no convencionales como el PET.

3.1 Revenimiento

En todas las mezclas, el ensayo de revenimiento (slump test, ASTM C143) registró un valor de 0 mm, confirmando que el concreto permeable posee una consistencia seca característica, necesaria para garantizar la conectividad de vacíos. Estos resultados son consistentes con lo reportado en la literatura para concretos porosos (Nguyen et al., 2014).

3.2 Resistencia a la compresión

El gráfico 1 ilustra los resultados del ensayo de compresión para las distintas mezclas de concreto con proporciones de sustitución de pellets de plástico reciclado (PET) a la edad de 7, 14 y 28 días de curado. A los 7 días, todas las mezclas modificadas mostraron una resistencia menor a la del control. La mezcla con 50 % de pellets presentó una reducción del 15.76 % respecto a la mezcla patrón, mientras que las dosificaciones con 30 % y 40 % redujeron un 5.26 % y 14.91 % respectivamente, lo cual puede atribuirse al efecto de los pellets de plástico reciclado ya que limitan una formación de estructura sólida durante el proceso de fraguado, sin embargo, las resistencias

fueron recuperando y aumentando a la edad de los 14 días, la mezcla con 30 % de adición de pellets superó en un 6.48 % a la mezcla patrón y las mezclas con 40 % y 50 % evidenciaron una disminución del 6.27 % y 7.92 % en la resistencia.

Mientras que las primeras edades mostraron variaciones menores, la divergencia más notable se presentó a la edad de los 28 días de curado, la mezcla con 30 % de pellets superó en un 12.75 % en comparación con la mezcla patrón, siendo esta la resistencia más elevada entre todas las proporciones, por otra parte en las proporciones de 40 % y 50 %, se observó una reducción de resistencia en 4.37 % y 10.82 % respectivamente, en comparación con la mezcla patrón, se evidencia una reducción notable en la resistencia conforme incrementa la proporción de pellets. Este comportamiento puede atribuirse zona de transición interfacial (ITZ) entre la matriz cementicia y los pellets de plástico reciclado (PET), ya que la superficie lisa de los pellets y la pasta cementicia generan una adherencia limitada.

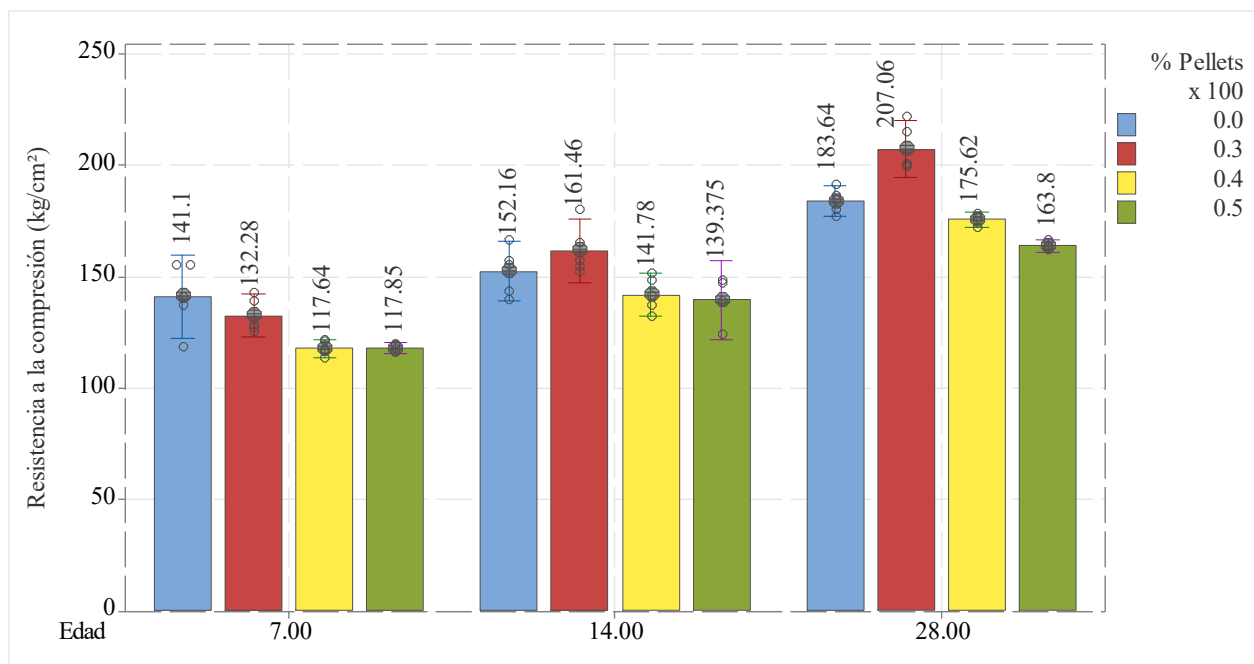


Gráfico 1. Resultado de ensayos a la compresión.

Estos resultados permiten evaluar la viabilidad del concreto permeable con adición de pellets de plástico reciclado en función de los requerimientos normativos. Según la Norma Técnica CE.010 Del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), los concretos usados en veredas, pasajes peatonales y ciclovías deben alcanzar como mínimo a una resistencia a compresión de 17.5 MPa. La mezcla con 30 % de pellets cumple con este requisito a los 28 días, superando incluso a la mezcla control. Por el contrario, las mezclas con 40 % y 50 % no alcanzan dicho valor en ese mismo periodo, lo que limita su aplicación estructural. No obstante, todas las mezclas cumplen con los rangos especificados por el ACI 522-R10 para concretos permeables (2.8–28 MPa).

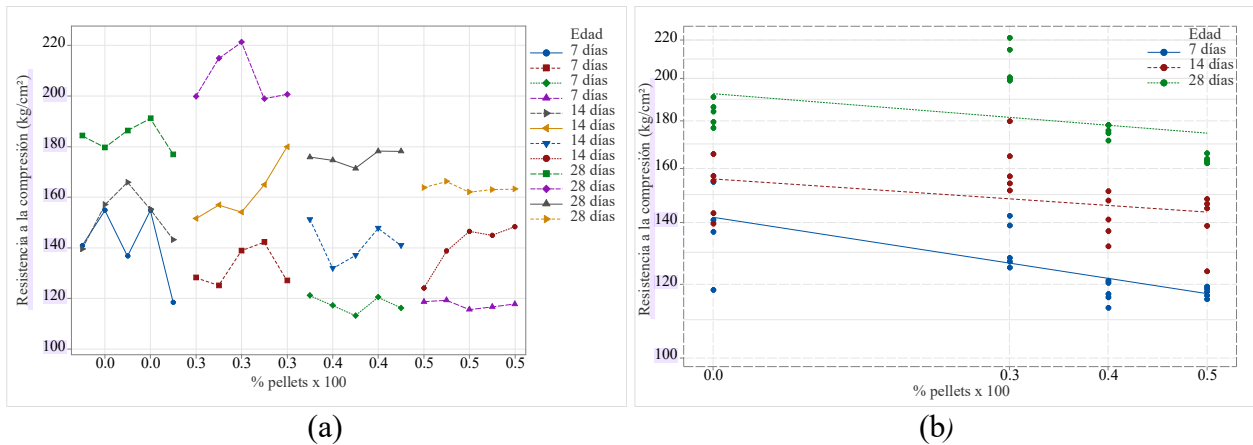


Gráfico 2. (a) Series de tiempo de resistencia a compresión (b) Dispersión de resultados de resistencia a compresión.

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA) de un solo factor para cada edad de curado, con proporciones de sustitución como factor. Los resultados evidenciaron diferencias con significancia estadística en las tres edades analizadas, con valores de $p=0.001$, 0.015 y 0.000 , respectivamente. La mayor varianza explicada se observó a los 28 días ($R^2 = 89.6\%$), lo que indica una fuerte incidencia del contenido de pellets en la resistencia final.

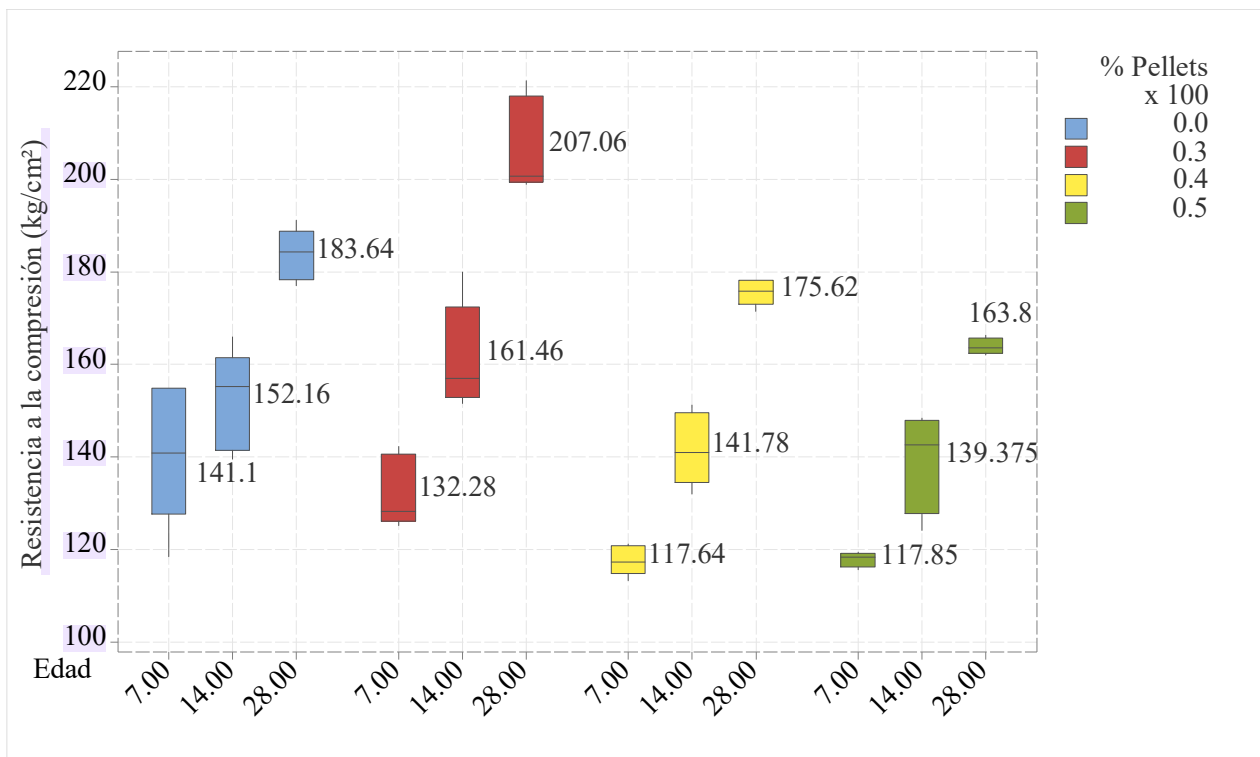


Gráfico 3. Resultados del análisis post-hoc de Tukey HSD, resistencia a compresión a los 7, 14 y 28 días de curado.

La prueba post-hoc de Tukey HSD se aplicó para identificar los niveles que difieren significativamente entre sí. Se observó, por ejemplo, que la mezcla patrón mostró una resistencia significativamente superior en comparación con la mezcla con 50 % de pellets ($p<0.05$). En cambio, las diferencias entre los porcentajes intermedios (30 % vs. 40 %) fueron menores y en

algunos casos no alcanzaron significancia estadística, mostrando grupos de rendimiento similares. En resumen, el test de Tukey confirmó que los contenidos más elevados de pellets se asocian con reducciones significativas de la resistencia media, coherente con la tendencia general de las medias comparadas.

15

Tabla 4. (ANOVA) aplicado a la resistencia a la compresión del concreto

Edad (días)	Fuente de variación	gl	SC	MC	F	p	Contribución (%)	R ² (%)	Nivel de significancia (α)
7	(% pellets)	3	2011.0	670.30	8.94	0.001	62.64	62.64	0.05
	Error	16	1200.0	74.97			37.36		
	Total	19	3210.0	--			100.00		
14	(% pellets)	3	1453.0	484.20	4.77	0.015	47.20	47.20	0.05
	Error	16	1625.0	101.50			52.80		
	Total	19	3077.0	--			100.00		
28	(% pellets)	3	5037.6	1679.21	45.74	0.000	89.56	89.56	0.05
	Error	16	587.3	36.71			10.44		
	Total	19	5625.0	--			100.00		

24

Por otro lado, en la tabla 5, 6 y 7 se presentan los resultados de Tukey (Post Hoc) las letras en la columna "Agrupación" indican la agrupación de las diferencias significativas entre los grupos ($\alpha = 0.05$).

Tabla 5. Agrupación (Post Hoc)– 7 días.

% Pellets	N	Media (kg/cm ²)	Desv. Est.	Agrupación
0	5	141.10	15.08	A
30	5	132.28	7.72	A-B
40	5	117.64	3.25	B
50	5	117.62	1.496	B

Tabla 6. Agrupación (Post Hoc)– 14 días.

% Pellets	N	Media (kg/cm ²)	Desv. Est.	Agrupación
30	5	161.46	11.47	A
0	5	152.16	10.75	A-B
40	5	141.74	7.83	B
50	5	140.48	9.90	B

Tabla 7. Agrupación (Post Hoc)– 28 días.

% Pellets	N	Media (kg/cm ²)	Desv. Est.	Agrupación
30	5	207.06	10.26	A
0	5	193.64	5.59	B
40	5	175.62	2.81	B
50	5	163.64	1.571	C

1

Los valores obtenidos en la resistencia a la compresión mostraron que la adición con 30 % de PET alcanzó el mejor desempeño a los 28 días, con un incremento del 12.75 % respecto al control (207.06 kg/cm² frente a 193.64 kg/cm²). En cambio, las mezclas con 40 % y 50 % registraron

reducciones del 4.37 % y 10.82 %, respectivamente. Este comportamiento coincide con lo informado por Mendivil-Escalante et al. (2017), quienes hallaron que al sustituir más del 30 % de arena por PET la resistencia cae drásticamente, confirmando que existe un umbral óptimo con el propósito de lograr un balance entre el comportamiento mecánico y sostenibilidad. Asimismo, Pahsha et al., (2024) documentaron que reemplazos mayores al 20 % generan disminuciones importantes en la resistencia a la compresión, lo cual es consistente con la tendencia observada en nuestro estudio.

3.3 Resistencia a la flexión

El gráfico 4 evidencia una tendencia creciente en la resistencia a la flexión del concreto poroso como resultado de la sustitución parcial del agregado fino por pellets de plástico reciclado, alcanzando valores de 24.15, 24.35 y 25.87 kg/cm² para los niveles de sustitución del 30 %, 40 % y 50 %, respectivamente, en comparación con los 22.26 kg/cm² de la mezcla control. Este comportamiento sugiere que, en proporciones moderadas, la incorporación de plástico reciclado puede mejorar la redistribución interna de esfuerzos y limitar la propagación de grietas, favoreciendo la ductilidad y la cohesión del material, siempre que no se exceda un umbral óptimo de sustitución. Sin embargo, Pahsha et al. (2024) advierten que incrementos mayores en la proporción de plástico suelen reducir la resistencia mecánica debido a la limitada adherencia entre el plástico y la matriz cementicia, así como a la posible formación de zonas débiles interfaciales. Estudios recientes han reportado que la mejora en la resistencia a la flexión es más notable con porcentajes de plástico reciclado inferiores al 10-15%, observándose una disminución progresiva en niveles superiores, aunque la tendencia puede variar en función de la geometría y el tipo de plástico empleado (Meza de Luna & Shaikh, 2020).

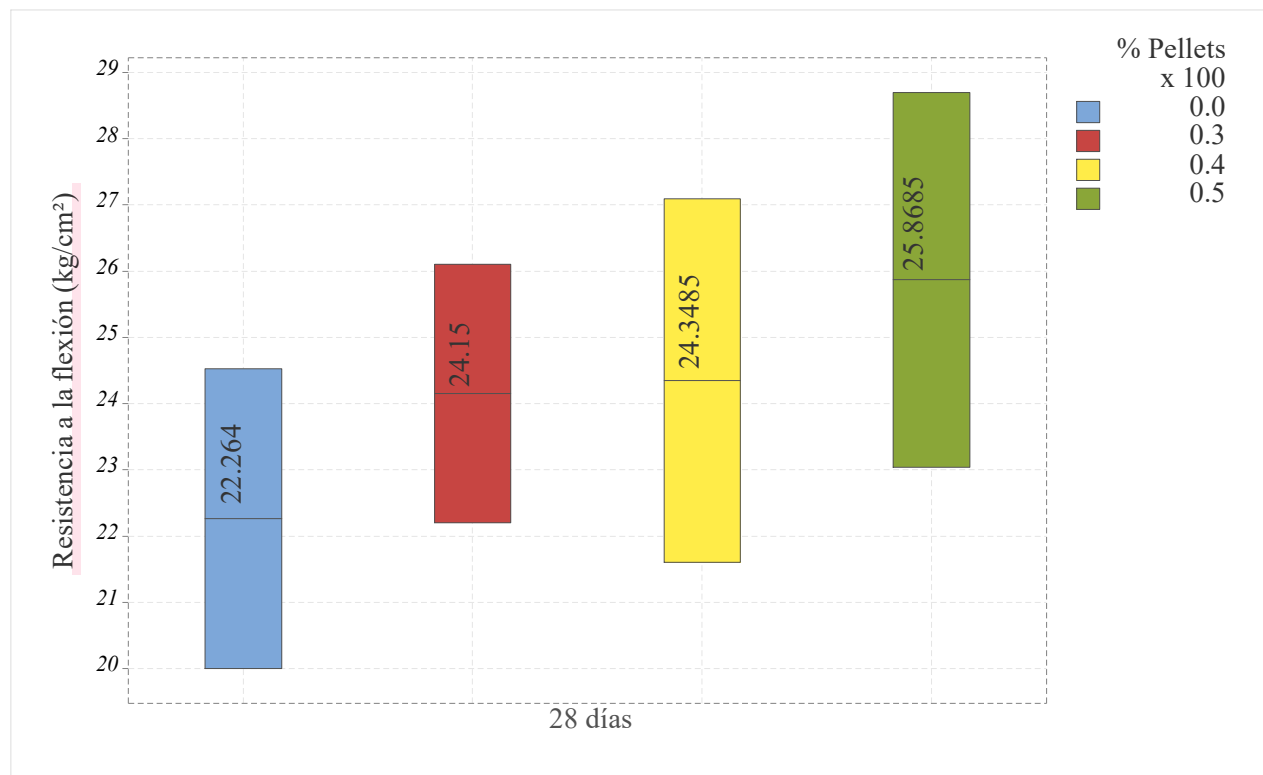


Gráfico 4. Resistencia a la flexión del concreto a los 28 días de curado.

El análisis de varianza (Anova) realizado sobre los resultados de la resistencia a la flexión no evidenciaron una significancia estadística entre los distintos grupos de sustitución ($p > 0.05$). De igual forma, la prueba de comparaciones múltiples (post hoc) confirmó que ninguna de las diferencias observadas entre los porcentajes de sustitución y la muestra patrón fue significativa. Por lo tanto, aunque se observa una tendencia creciente en la resistencia a la flexión con la adición de pellets de plástico reciclado, estos aumentos no pueden atribuirse con certeza al efecto de la sustitución bajo las condiciones experimentales empleadas y el tamaño muestral utilizado en este estudio.

Es importante señalar que el ensayo de resistencia a la flexión se realizó empleando dos especímenes por grupo, conforme al requisito de la norma ASTM C78/C78M-22. Esta cantidad fue empleada en función del enfoque experimental del estudio, permitiendo identificar tendencias en el comportamiento del material.

Tabla 8. Análisis de varianza resistencia a la flexión.

Edad (días)	Fuente de variación	gl	SC	MC	F	p	Contribución (%)	R ² (%)	Nivel de significancia (α)
28	% Pellets	3	13.10	4.366	0.36	0.788	21.11	21.11	0.05
	Error	4	48.97	12.241	--	--	78.89	--	--
	Total	7	62.06	--	--	--	100.00	--	--

La resistencia a la flexión evidenció un incremento respecto a la mezcla patrón (22.26 kg/cm²), alcanzando valores de 24.15, 24.35 y 25.87 kg/cm² con adiciones de 30 %, 40 % y 50 % de PET, respectivamente. Aunque el análisis de varianza ($p = 0.788$) demostró que las diferencias no presentan significancia estadística. Este resultado es respaldado por Supit et al. (2022), quienes reportaron que bajas proporciones de PET en probetas permeables mejoran la flexión antes de perder resistencia con reemplazos mayores. De igual manera, Pahsha et al. (2024), señalaron que el PET puede favorecer la resistencia a la flexión en niveles moderados, aunque tiende a debilitarse en porcentajes altos.

3.4 Permeabilidad

Los resultados obtenidos muestran que la mayor permeabilidad se alcanzó con una adición del 40 % de pellets, con un valor promedio de 0.80 cm/s, seguido por la mezcla con 50 % de pellets (0.70 cm/s) y 30 % (0.61 cm/s). La mezcla patrón, sin pellets, mostró la permeabilidad más baja, con un promedio de 0.58 cm/s. Es importante destacar que todos los resultados se mantienen dentro del rango sugerido por la norma ACI 522-R10 para concreto permeable, que establece límites entre 0.2 y 1.2 cm/s. Esto indica que las mezclas evaluadas cumplen con los estándares internacionales para aplicaciones de pavimentos permeables, asegurando una adecuada capacidad de drenaje. Además, los resultados sugieren que la adición moderada de pellets de plástico reciclado podría favorecer la conectividad de los poros y facilitar el flujo de agua a través del concreto, sin exceder los límites de permeabilidad recomendados por la normativa.

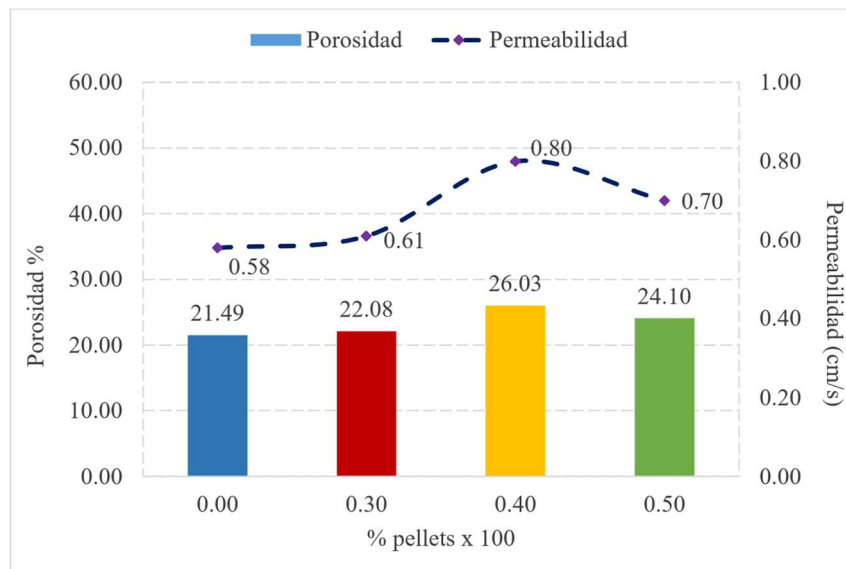


Gráfico 5. Correlación porosidad vs permeabilidad

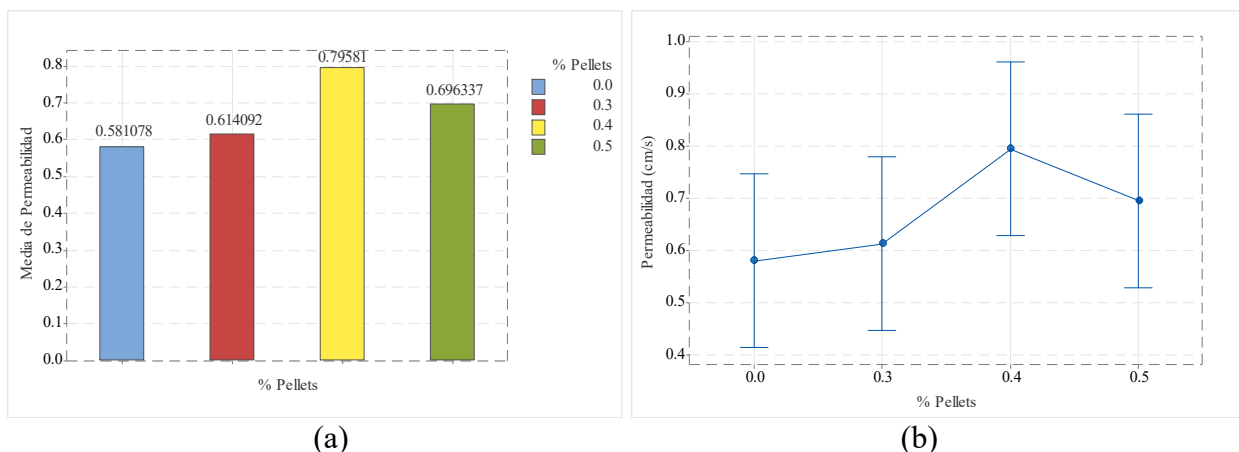


Gráfico 6. (a) Permeabilidad en proporciones a los 28 días y (b) Desviación estándar 95% IC

Sin embargo, el análisis de varianza evidenció que no existen diferencias con significancia estadística entre los valores promedio de permeabilidad de las mezclas con distintos porcentajes de sustitución (valor $p > 0.05$). Esto implica que, aunque se observan incrementos en la permeabilidad al aumentar la proporción de pellets, estas diferencias no son lo suficientemente consistentes como para atribuirse únicamente al efecto de la sustitución, sino que podrían estar relacionadas con la variabilidad experimental. El test de comparaciones múltiples de (post hoc) corroboró estos resultados, mostrando que ninguna de las diferencias entre los grupos resultó significativa. Por lo tanto, desde el punto de vista estadístico, la edición de pellets de plástico reciclado en los porcentajes evaluados, no genera una incidencia significativa en la permeabilidad del concreto.

Tabla 9. Análisis de varianza permeabilidad.

Edad (días)	Fuente de variación	gl	SC	MC	F	p	Contribución (%)	R ² (%)	Nivel de significancia (α)
28	% Pellets	3	0.08	0.028	1.75	0.234	39.64	39.64	0.05
	Error	8	0.13	0.016	--	--	60.36	--	--
	Total	11	0.21	--	--	--	100.00	--	--

La permeabilidad incrementó de 0.58 cm/s en la mezcla control a 0.61, 0.80 y 0.70 cm/s en las sustituciones de 30 %, 40 % y 50 % respectivamente. Aunque el análisis de varianza demostró que estas variaciones no son estadísticamente significativas ($p > 0.05$), todas las mezclas cumplen con el rango del ACI 522R-10 (0.2–1.2 cm/s). Este comportamiento es coherente con lo señalado por Mendivil-Escalante et al. (2017), quienes documentaron que la incorporación de PET incrementa la conectividad de vacíos y, por tanto, la permeabilidad. A su vez, Saxena et al., (2020) confirmaron que al sustituir agregados por PET se logra mejorar la infiltración sin sobrepasar los límites normativos.

3.5 Porosidad y densidad

Los resultados muestran que la adición progresiva de pellets de plástico reciclado influye directamente en las propiedades físicas del concreto permeable. En cuanto a la porosidad, se registró un aumento a medida que se incrementó la proporción de plástico, alcanzando un valor máximo del 26.03 % en la mezcla con 40 % de sustitución, lo cual indica una mayor generación de vacíos interconectados. Este comportamiento es coherente con la geometría irregular y baja densidad del plástico, que reduce la compactación interna del material. Sin embargo, la mezcla con 50 % mostró una ligera reducción en la porosidad, posiblemente asociada a un cambio en la granulometría efectiva que favoreció una aglomeración más cerrada. Este fenómeno también se reflejó en la densidad, la cual presentó una tendencia descendente, pasando de 1903.24 kg/m³ en el patrón a 1841.56 kg/m³ en la mezcla con 50 %, en línea con la densidad inherente del material reciclado.

Tabla 10. Porosidad, densidad y permeabilidad para todas las proporciones.

Identificación de la mezcla	Porosidad (%)	Densidad (kg/m ³)	Coefficiente de permeabilidad (cm/s)
0 % (P)	21.49 (±1.35)	1903.24	0.58 (±0.01)
30 %	22.08 (±0.21)	1892.99	0.61 (±0.01)
40 %	26.03 (±1.02)	1893.69	0.80 (±0.25)
50 %	24.10 (±1.33)	1841.56	0.70 (±0.03)

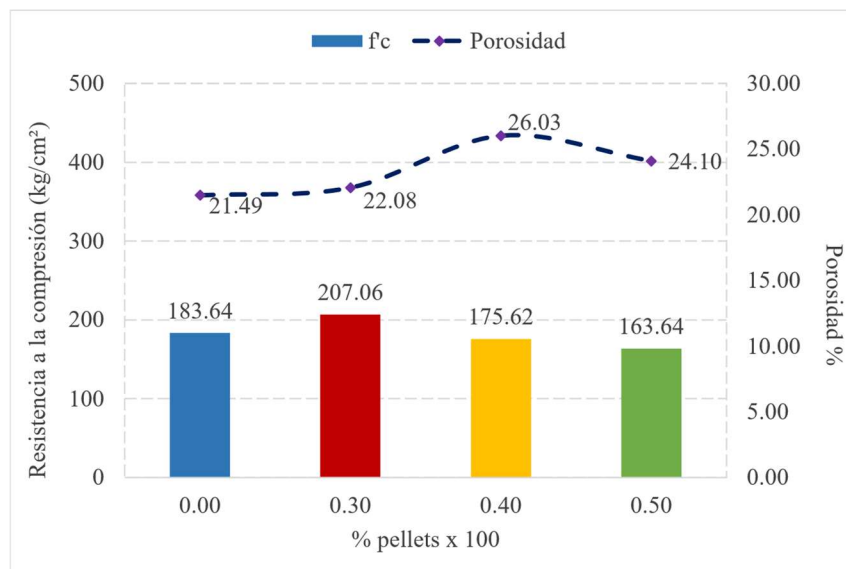
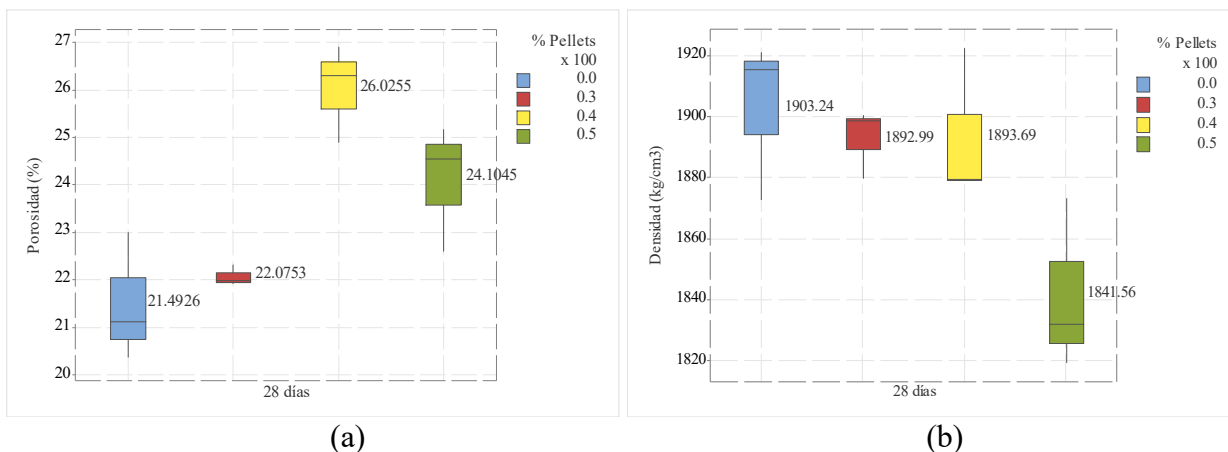


Gráfico 7. Correlación resistencia a la compresión vs porosidad.

Desde un enfoque normativo y de desempeño hidráulico, todas las mezclas evaluadas cumplieron de acuerdo con los criterios establecidos en la norma ACI 522-R10, especialmente en términos de contenido de vacíos (15–25 %) y permeabilidad mínima (>0.2 cm/s). No obstante, la mezcla con 30 % de pellets representa el punto de equilibrio óptimo, ya que ofrece una permeabilidad adecuada (0.61 cm/s), una porosidad moderada (22.08 %) y una densidad que no compromete significativamente la masa volumétrica del concreto. Además, es la mezcla que presentó menor dispersión estadística, lo cual garantiza mayor uniformidad y control de calidad durante la producción. Esta combinación de factores técnicos y ambientales respalda el uso del 30 % de reemplazo como la alternativa más sostenible y funcional, permitiendo reutilizar residuos plásticos sin sacrificar el rendimiento estructural ni hidráulico del concreto permeable.



El análisis de varianza nos mostró que, para la porosidad, se obtuvo un valor de $p = 0.003$ ($\alpha = 0.05$), indicando diferencias con significancia estadística entre las mezclas evaluadas. Este resultado confirma que la sustitución del agregado fino por pellets de plástico reciclado modifica de manera sustancial la estructura porosa del concreto, influyendo en su capacidad de drenaje. De igual forma, en el caso de la densidad, no se halló una significancia estadística ($p = 0.05$), validando técnicamente la tendencia decreciente asociada al uso de un material más ligero como el plástico. En contraste, para el coeficiente de permeabilidad, el valor de $p = 0.235$ sugiere que no existen diferencias con significancia estadística entre los grupos, lo cual puede atribuirse a la variabilidad inherente de esta propiedad en materiales porosos y al hecho de que todas las mezclas superan el umbral hidráulico mínimo recomendado por el ACI 522-R10.

Tabla 11. Análisis de Varianza (ANOVA) porosidad (contenido de vacíos).

Edad (días)	Fuente de variación	gl	SC	MC	F	p	Contribución (%)	R ² (%)	Nivel de significancia (α)
28	% Pellets	3	38.341	12.780	10.90	0.003	80.35	80.35	0.05
	Error	8	9.377	1.172	--	--	19.65	--	--
	Total	11	47.717	--	--	--	100.00	--	--

Tabla 12. Agrupación (Post Hoc) Porosidad.

% Pellets	N	Media(kg/m³)	Desv. Est.	Agrupación
40	3	26.026	1.020	A
50	3	24.105	1.334	A - B
30	3	22.075	0.213	B

0	3	21.493	1.350	B
---	---	--------	-------	---

Tabla 13. Análisis de varianza densidad.

Edad (días)	Fuente de variación	gl	SC	MC	F	p	Contribución (%)	R ² (%)	Nivel de significancia (α)
28	% Pellets	3	7023	2340.9	4.17	0.05	60.98	60.98	0.05
	Error	8	4494	561.8	--	--	39.02	--	--
	Total	11	11517	--	--	--	100.00	--	--

La densidad mostró una tendencia descendente al pasar de 1903.24 kg/m³ en el control a 1892.99, 1893.69 y 1841.56 kg/m³ en las mezclas con 30 %, 40 % y 50 % de PET respectivamente. En paralelo, la porosidad aumentó progresivamente hasta un máximo de 26.03 % en la mezcla con 40 %. Estos resultados concuerdan con los de Mendivil-Escalante et al. (2017), quienes observaron que el uso de PET reduce la compacidad del concreto y eleva el contenido de vacíos. De igual forma, Ali et al. (2020), reportaron que concretos con agregados plásticos presentan menor densidad y mayor porosidad, lo que coincide con la tendencia de nuestro estudio.

3.6 Abrasión

Los resultados del ensayo, realizados en concreto permeable con diferentes porcentajes de reemplazo del agregado fino por pellets de plástico reciclado, muestran que el promedio de abrasión de las probetas patrón es de 26.92 %, mientras que las mezclas con 30 %, 40 % y 50 % de pellets presentan promedios de 29.15 %, 27.28 % y 24.96 %, respectivamente. Estos valores indican que la resistencia al desgaste superficial se mantiene relativamente estable entre la mezcla patrón y las mezclas con 40 % y 50 % de pellets, aunque con una ligera tendencia al aumento de abrasión en la mezcla con mayor porcentaje de plástico. Por otro lado, la mezcla con 30 % de pellets muestra el menor promedio de abrasión, indicando un ligero aumento en la resistencia a la abrasión para este porcentaje de sustitución.

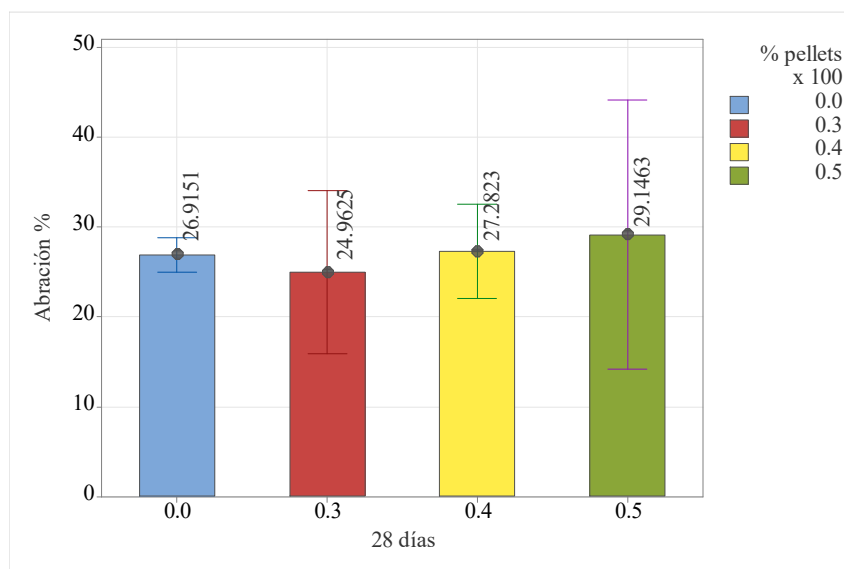


Gráfico 9. Resistencia a la abrasión a los 28 días de curado.

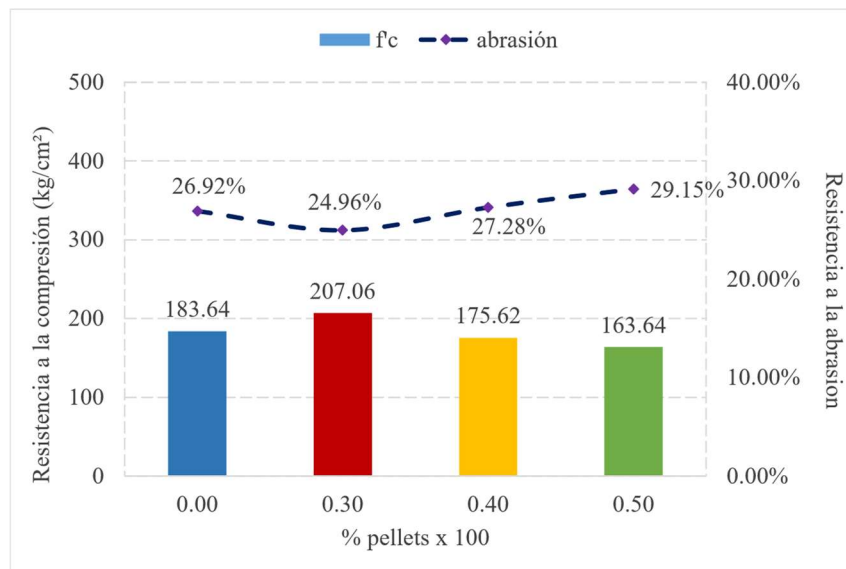


Gráfico 10. Correlación Resistencia a la compresión vs abrasión

Dada la proximidad de los promedios y la variabilidad interna dentro de cada grupo, el resultado del Anova arroja un valor $p = 0.05$, indicando que no existen diferencias estadísticamente significativas en la resistencia a la abrasión entre los distintos porcentajes de sustitución. El test (post hoc) respalda este resultado, ya que ninguna de las comparaciones muestra diferencias significativas. Esto indica que, dentro de los rangos evaluados, la adición de pellets de plástico reciclado como sustituto del agregado fino no afecta significativamente la resistencia a la abrasión del concreto permeable.

En el caso de la resistencia a la abrasión, la mezcla control presentó una pérdida de masa de 29.92 %, mientras que las mezclas con 30 %, 40 % y 50 % de PET registraron 24.96 %, 28.28 % y 29.15 % respectivamente. Aunque el Anova indicó que no se observan diferencias con significancia estadística ($p > 0.05$), se aprecia que la sustitución del 30 % mejora ligeramente la resistencia a la abrasión. Este resultado concuerda con lo encontrado por Saxena et al., (2020), quienes señalaron que proporciones moderadas de PET pueden incrementar la resistencia superficial del concreto, mientras que mayores porcentajes tienden a reducirla. Igualmente, (Saikia & De Brito, 2014) documentaron un incremento inicial en resistencia a la abrasión con PET, seguido de deterioro en proporciones más elevadas.

Finalmente, en términos económicos, la sustitución parcial del agregado fino por pellets de plástico reciclado no representa un incremento considerable en los gastos de fabricación del concreto permeable. En cambio, al utilizar un material económico hecho de desechos posconsumo, se disminuye la necesidad de agregados naturales y los gastos relacionados con su extracción y traslado. A pesar de que el tratamiento de los pellets demanda una inversión inicial, esta puede amortizarse en producciones a mediana escala, convirtiéndose en competitivo frente al concreto convencional y así proporcionando ventajas ambientales y sociales asociadas al reciclaje de desechos plásticos.

4. CONCLUSIONES

La presente investigación evaluó de manera integral la influencia de la sustitución parcial del agregado fino por pellets de plástico reciclado sobre las propiedades del concreto permeable, cumpliendo los objetivos planteados. En cuanto a la resistencia a la compresión, la mezcla con un 30 % de pellets alcanzó el mejor desempeño (207.06 kg/cm²), superando en un 12.75 % a la mezcla patrón (193.64 kg/cm²) a la edad de 28 días y cumpliendo los requisitos normativos mínimos para

43
2
20

aplicaciones no estructurales establecidos en la Norma Técnica CE.010 y el ACI 522R-10. En porcentajes superiores (40 % y 50 %) la resistencia disminuyó progresivamente, debido a la limitada adherencia entre el plástico y la matriz cementicia. Asimismo, el ensayo de asentamiento (slump test) corroboró que todas las mezclas mantuvieron un revenimiento de 0 mm, comportamiento característico del concreto permeable y coincide con lo esperado para garantizar su capacidad de drenaje y conectividad de vacíos.

35
17

Respecto a la resistencia a la flexión, todas las mezclas modificadas con pellets de plástico reciclado mostraron valores superiores a la mezcla patrón, alcanzando un máximo de 25.87 kg/cm² con el 50 % de sustitución. No obstante, estas diferencias no resultaron estadísticamente significativas, por lo que deben interpretarse únicamente como una tendencia bajo las condiciones experimentales.

16

En la permeabilidad, todas las mezclas cumplieron con lo recomendado por el ACI 522R-10 (0.2–1.2 cm/s), garantizando una adecuada capacidad de drenaje en pavimentos permeables. Se identificaron diferencias en los valores, pero estas no fueron estadísticamente significativas, por lo que no puede atribuirse el comportamiento únicamente al efecto de la sustitución. Sin embargo, se identificó un valor óptimo de 0.61 cm/s, que evidencia un equilibrio favorable entre permeabilidad y la resistencia a la compresión.

Asimismo, los resultados mostraron que la densidad disminuyó de forma proporcional al incremento de pellets (alcanzando 1841.56 kg/m³ con 50 % de sustitución), en comparación con la mezcla patrón de 1903.24 kg/m³ mientras que la porosidad aumentó hasta un máximo de 26.03 % con el 40 % de sustitución, siendo el valor óptimo de 22.08 % con el 30 % de sustitución, al mantener un balance entre resistencia y conectividad de vacíos. Con respecto a la resistencia a la abrasión, la adición del 30 % de pellets presentó una abrasión de 24.96% mostrando un ligero mejor desempeño frente al concreto patrón, mientras que en mayores proporciones se observó un desgaste progresivo.

13
2

Desde un enfoque de sostenibilidad, la adición de pellets de plástico reciclado representa una alternativa ecológica, al disminuir la explotación de agregados naturales y reducir el impacto ambiental generado por residuos plásticos. Aunque este trabajo no cuantificó directamente beneficios económicos ni beneficios ambientales, los resultados promueven la implementación de principios de economía circular en la industria de la construcción.

14
2

Finalmente, la sustitución parcial del agregado fino por pellets de plástico reciclado demostró que un 30 % es el porcentaje óptimo, al equilibrar adecuadamente resistencia y permeabilidad sin comprometer la porosidad y abrasión del concreto permeable. Estos resultados evidencian que los pellets de plástico reciclado pueden aprovecharse de manera técnica y sostenible en la elaboración de pavimentos urbanos, contribuyendo a reducir el impacto ambiental y consolidando una alternativa viable en el sector construcción.

5. AGRADECIMIENTOS

15

Agradecemos a Dios por guiarnos y darnos la fortaleza necesaria en cada etapa de esta investigación. A nuestros padres, por el apoyo incondicional, consejos y sacrificios que hicieron posible nuestra formación. Valoramos también el esfuerzo y dedicación que cada uno de nosotros brindó para culminar este trabajo. Finalmente, expresamos nuestro reconocimiento a la Universidad, por brindarnos una educación basada en valores cristianos que inspiran nuestro crecimiento profesional y personal.

6. REFERENCIAS

- ACI - 522-R10 *Report on pervious concrete*. (2010). American Concrete Institute.
- Ali, T. K. M. , Hilal, N. , & Faraj, R. H. (2020). “*Properties of eco-friendly pervious concrete containing polystyrene aggregates reinforced with waste PET fibers.*”
<https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s41062-020-00323-w>
- Ali, T. K. M., Hilal, N., Faraj, R. H., & Al-Hadithi, A. I. (2020). “Properties of eco-friendly pervious concrete containing polystyrene aggregates reinforced with waste PET fibers.” *Innovative Infrastructure Solutions*, 5(3). <https://doi.org/10.1007/s41062-020-00323-w>
- ASTM C33/C33M-23. (2023) “*Standard Specification for Concrete Aggregates*” . ASTM International.
- ASTM C39/C39M-21. (2021). “*Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*” ASTM International.
- ASTM C78/C78M-22. (2018) “*Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)*” . ASTM International.
https://doi.org/10.1520/C0078_C0078M-18
- ASTM D1557-12: (2012). “*Standard test methods for laboratory compaction characteristics of soil using modified effort*” ASTM International.
- Cole, L., Bakheet, R., & Akib, S. (2020). “Influence of Using Waste Plastic and/or Recycled Rubber as Coarse Aggregates on the Performance of Pervious Concrete.” *Eng*, 1(2), 153–166. <https://doi.org/10.3390/eng1020010>
- Jasim, A. T., & Abdulabbas, Z. H. (2020). “Production of sustainable pervious concrete by using waste tires rubber as partial replacement of coarse aggregate.” *AIP Conference Proceedings*, 2213. <https://doi.org/10.1063/5.0000255>
- Jose M. Porras. (2017). *Metodología de diseño para concretos permeables y sus respectivas correlaciones de permeabilidad*. <https://hdl.handle.net/2238/7109>
- Mendivil-Escalante, J. M., Gómez-Soberón, J. M., Almaral-Sánchez, J. L., & Cabrera-Covarrubias, F. G. (2017). “Metamorphosis in the porosity of recycled concretes through the use of a recycled polyethylene terephthalate (PET) additive. Correlations between the porous network and concrete properties.” *Materials*, 10(2).
<https://doi.org/10.3390/ma10020176>
- Meza de Luna, A., & Shaikh, F. U. A. (2020). “Anisotropy and bond behaviour of recycled Polyethylene terephthalate (PET) fibre as concrete reinforcement.” *Construction and Building Materials*, 265. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120331>
- Meza de Luna, J., & Shaikh, F. U. A. (2020). “*Recycled plastic waste as a partial replacement of aggregate in concrete: A review*. *Journal of Building Engineering*.”
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101135>
- Nguyen, D. H., Sebaibi, N., Boutouil, M., Leleyter, L., & Baraud, F. (2014). “A modified method for the design of pervious concrete mix.” *Construction and Building Materials*, 73, 271–282. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.09.088>
- Norma Técnica CE.010 del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). (2010).
www.construccion.org/icg@icgmail.org
- Pahsha, E., Gupta, R., & Agrawal, V. (2024). “Mechanical and hydraulic properties of pervious concrete incorporating waste PET plastic.” *E3S Web of Conferences*, 559.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202455904023>
- PETCORE Europe. (2021). “*ET Tray Recyclability Evaluation Platform, Melt filtration, pelletizing and crystallization*” (EPTP-P-06; V0).
- Saikia, N., & De Brito, J. (2014). “Mechanical properties and abrasion behaviour of concrete containing shredded PET bottle waste as a partial substitution of natural aggregate.”

Construction and Building Materials, 52, 236–244.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.11.049>

Saxena, R., Gupta, T., Sharma, R. K., Chaudhary, S., & Jain, A. (2020). “Assessment of mechanical and durability properties of concrete containing PET waste.” *Scientia Iranica*, 27(1), 1–9. <https://doi.org/10.24200/sci.2018.20334>

Supit, S., Priyono, Sirun, A., & Astanto, M. (2022). “STUDY ON PERVIOUS CONCRETE PAVING BLOCK CONTAINING PLASTIC WASTE TYPE PET AS A SAND REPLACEMENT.” *Proceedings of International Structural Engineering and Construction*, 9(2). [https://doi.org/10.14455/ISEC.2022.9\(2\).MAT-20](https://doi.org/10.14455/ISEC.2022.9(2).MAT-20)

Vijayakumar, M., Anusha, G., Athipathy, M., & Krishnakumar, P. (2022). “Experimental study on compressive strength of permeable concrete with shredded plastic fiber and plastic pellets.” *Materials Today: Proceedings*, 68, 2532–2535.

<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.09.356>

Yang, Q., Gao, Z., & Beecham, S. (2022). “A Sustainable Approach to Cleaning Porous and Permeable Pavements.” *Sustainability (Switzerland)*, 14(21).

<https://doi.org/10.3390/su142114583>