

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“INFLUENCIA DE LA FORMA Y PORCENTAJE DE PET RECICLADO SOBRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN CONCRETO ENDURECIDO, TRUJILLO, 2024”

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniero Civil

Autores:

Hellen Mishell Rodriguez Narro

Junior William Julca Blas

Asesor:

Mg. Ing. Luis Alberto Alva Reyes

<https://orcid.org/0000-0003-2232-6784>

Trujillo - Perú

2024

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	NIXON BRAYAN PECHE MELO
	Nombre y Apellidos

Jurado 2	SHEYLA YULIANA CORNEJO RODRIGUEZ
	Nombre y Apellidos

Jurado 3	NEICER CAMPOS VASQUEZ
	Nombre y Apellidos

INFORME DE SIMILITUD



Página 2 of 83 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid::1:3123175649




20% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado

Fuentes principales

- 20%  Fuentes de Internet
- 4%  Publicaciones
- 10%  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.



Página 2 of 83 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid::1:3123175649

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios, quien ha sido mi fortaleza y guía en todo momento. Su infinita bondad y sabiduría han iluminado mi camino y me han permitido alcanzar este importante sueño.

A mis padres, cuyo amor incondicional, sacrificios diarios y apoyo constante han sido fundamentales para mi desarrollo. Su ejemplo de esfuerzo, dedicación y perseverancia me ha motivado a superar cada obstáculo. Gracias por estar siempre a mi lado, brindándome su confianza y enseñándome el valor del trabajo y la humildad.

A mis hermanos, quienes son mi mayor orgullo y mis más grandes compañeros.

Como el hijo mayor, me honra ser un referente para ustedes. Su cariño y apoyo incondicional han sido una fuente constante de inspiración; sin duda, son los mejores.

Este logro también es suyo

Julca Blas, J.

DEDICATORIA

Dedico la presente tesis a Dios, ya que estuvo conmigo en cada paso que di, por darme la sabiduría, fortaleza necesaria para continuar con mis metas propuestas, a mis padres, por darme la oportunidad de educarme, mostrarme su apoyo incondicional, a mi abuelo, aunque ya no se encuentra físicamente a mi lado, pero en el transcurso de mi crecimiento siempre estuvo pendiente de mí, brindándome alguna enseñanza, consejo para poder afrontar las adversidades que se puede presentar en la vida

Rodríguez Narro, H.

AGRADECIMIENTO

A Dios ya que estuvo guiándonos para cumplir con cada una de nuestras metas
propuestas

A nuestros padres por la confianza y su apoyo, durante el desarrollo de nuestras
carreras.

A la UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE por fomentar y mantener estándares
altos de valores éticos y morales, así mismo, reconocemos su dedicación no solo en la
transmisión de conocimientos técnicos, sino en inculcar los valores que guían nuestra formación
profesional y personal.

A nuestro asesor Luis Alberto Alva Reyes, por brindarnos su orientación con
generosidad y compromiso admirable, expresamos nuestro profundo respeto y sincero
agradecimiento por su valiosa ayuda

Los Autores

TABLA DE CONTENIDOS

JURADO EVALUADOR	2
INFORME DE SIMILITUD	3
DEDICATORIA	4
DEDICATORIA	5
AGRADECIMIENTO	6
ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE FIGURAS	9
RESUMEN	10
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	11
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	30
CAPÍTULO III: RESULTADOS	37
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	46
REFERENCIAS	53
ANEXOS	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	ANOVA partículas	38
Tabla 2.	Tukey partículas.....	39
Tabla 3.	ANOVA fibras	41
Tabla 4.	Tukey fibras	41
Tabla 5.	ANOVA resistencia a la compresión con fibra y partículas.....	45

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i>	Resistencia a la compresión de concreto con partículas PET reciclado.....	37
Figura 2.	Resistencia a la compresión de concreto con fibras de PET reciclado	39
Figura 3.	Comparación de resistencia a la compresión con fibra y partículas	42
Figura 4.	Resistencia a la compresión con fibra y partículas	44

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo principal determinar cómo la forma (partículas y fibras) y el porcentaje de PET reciclado (1%, 3%, y 5%) influyen en las propiedades mecánicas del concreto endurecido. Se realizó bajo un enfoque cuantitativo, con diseño cuasi-experimental, evaluando 60 probetas cilíndricas de concreto con y sin adición de PET reciclado, siguiendo las normativas ASTM. Los resultados evidenciaron que el uso de partículas de PET reciclado mejora significativamente la resistencia a la compresión en mayor medida que las fibras. A un 5% de partículas, se alcanzó una resistencia máxima de 302 kg/cm², representando un incremento del 43.81% respecto al control. Por otro lado, el concreto reforzado con fibras alcanzó 279 kg/cm² en el mismo porcentaje, con un aumento del 32.86%. Se concluyó que tanto la forma como el porcentaje de PET reciclado tienen una influencia estadísticamente significativa en la resistencia del concreto, siendo las partículas más efectivas debido a su capacidad para mejorar la densidad y cohesión de la matriz cementicia. Este estudio valida el potencial del PET reciclado como un refuerzo sostenible y funcional en aplicaciones estructurales, contribuyendo a la economía circular y la reducción de residuos plásticos

Palabras clave: fibra, partícula, PET, concreto, resistencia a la compresión

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Realidad problemática

A nivel mundial, la producción y el uso masivo de plásticos, especialmente PET (tereftalato de polietileno), ha generado un desafío ambiental significativo. Cada año, millones de toneladas de residuos plásticos se vierten en vertederos o terminan contaminando ecosistemas acuáticos y terrestres, afectando gravemente la biodiversidad y la salud humana (Jambeck et al., 2015). En este contexto, la industria de la construcción ha comenzado a explorar el uso de materiales reciclados como alternativa sostenible para reducir el impacto ambiental. El PET reciclado, al ser un material versátil y abundante, ofrece un gran potencial como refuerzo en concretos estructurales, mejorando tanto las propiedades mecánicas como la sostenibilidad del material (Rustamov et al., 2020).

En Latinoamérica, el manejo de residuos plásticos presenta grandes desafíos debido a la limitada infraestructura de reciclaje y la creciente demanda de materiales de construcción. A pesar de que algunos países han implementado políticas para reducir el uso de plásticos de un solo uso, la región sigue enfrentando dificultades para gestionar de manera efectiva los residuos plásticos (UNEP, 2019). La incorporación de PET reciclado en el concreto representa una oportunidad no solo para reducir los desechos, sino también para impulsar la economía circular en la región. Estudios recientes han demostrado que las fibras de PET reciclado pueden mejorar la resistencia a la compresión y la durabilidad del concreto, lo que podría tener un impacto significativo en la industria de la construcción (Askar et al., 2023).

En Perú, el problema de los residuos plásticos también es alarmante, con una gestión inadecuada de los desechos y un bajo porcentaje de reciclaje (Ministerio del Ambiente, 2021). El crecimiento del sector de la construcción, impulsado por la urbanización acelerada, ha aumentado la demanda de materiales sostenibles. En este sentido, el uso de PET reciclado en la fabricación de concreto no solo ayudaría a mitigar el problema de la contaminación por plásticos, sino que también contribuiría a la innovación en la construcción, generando materiales más resistentes y sostenibles (Climate of Our Future, 2021).

En Trujillo, una de las ciudades más importantes de Perú, el crecimiento urbano ha impulsado un aumento en la construcción de infraestructura, lo que a su vez genera una mayor demanda de materiales de construcción. Sin embargo, la ciudad enfrenta problemas críticos relacionados con la gestión de residuos sólidos, incluidos los plásticos (Gobierno Regional de La Libertad, 2020). La incorporación de fibras de PET reciclado en el concreto podría ser una solución viable para abordar tanto la necesidad de infraestructura sostenible como el manejo de residuos, mejorando la calidad y durabilidad de las construcciones locales (Islam, J. M. y Shahjalal, M., 2021).

La investigación de la influencia del tipo y porcentaje de refuerzo de PET reciclado en concreto endurecido tiene un objetivo claro: mejorar las propiedades mecánicas del concreto mientras se promueve la sostenibilidad. Este estudio se alinea con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 12, que busca garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles (Ramírez et al., 2024). Al evaluar el impacto de diferentes porcentajes de PET reciclado en la resistencia y durabilidad del concreto, se espera no solo reducir el volumen de desechos plásticos, sino también mejorar la calidad de las construcciones.

Es así que, realizar esta investigación es crucial debido a su potencial para transformar la industria de la construcción hacia prácticas más sostenibles. Dada la magnitud de la contaminación por plásticos y la necesidad de innovación en los materiales de construcción, este estudio representa un paso importante hacia la creación de un concreto más ecológico y eficiente. La implementación de estos resultados podría tener un impacto directo en la reducción de desechos plásticos y en la mejora de las infraestructuras urbanas en Trujillo

La necesidad de un mejor entendimiento de la metodología de trabajo hizo que se revisen trabajos previos como el de Guo et al., (2024) escribieron el artículo "Mechanical properties, durability and life-cycle assessment of waste plastic fiber reinforced sustainable recycled aggregate self-compacting concrete" tuvo como objetivo analizar las propiedades mecánicas y la durabilidad del concreto auto-compactante de agregados reciclados reforzado con fibras de plástico reciclado, así como su impacto ambiental. La metodología incluyó la producción de 19 mezclas diferentes con diversos porcentajes de agregados gruesos reciclados y fibras de PET reciclado, con sustituciones del cemento mediante adiciones minerales. Las pruebas incluyeron resistencia a compresión, tracción, flexión, contracción y resistencia a ciclos de congelación-descongelación. Los resultados mostraron que la incorporación de fibras de plástico reciclado mejoró significativamente las propiedades mecánicas, aumentando la resistencia a compresión hasta en un 41.29%, la resistencia a flexión en un 83.75% y la resistencia a tracción en un 19.69%. La inclusión de fibras también redujo la contracción en un 9.7%. Los hallazgos indican que, la investigación demostró que la combinación de fibras recicladas y adiciones minerales no solo mejora las propiedades

mecánicas del concreto, sino que también reduce su impacto ambiental, lo que respalda el uso de estos materiales en aplicaciones sostenibles en la industria de la construcción.

Kim et al., (2024) en su artículo "Impact resistance of recycled-PET fiber strengthened wave-dissipating concrete block considering rocking motion" tuvo como objetivo evaluar la resistencia al impacto de bloques de concretos disipadores de olas reforzados con fibras de PET reciclado (rPET), considerando el movimiento de balanceo. La metodología incluyó pruebas experimentales de velocidad ultralenta para determinar la energía de fractura de los bloques de concreto reforzados con rPET, y posteriormente se desarrolló un modelo numérico basado en la dinámica de partículas suavizadas (SPH) para simular el comportamiento estructural bajo cargas de impacto. Los resultados mostraron una mejora significativa en la energía de fractura de los bloques reforzados con rPET, con incrementos del 141% y 166% en comparación con el concreto sin refuerzo. El estudio indicó que la inclusión de fibras de rPET no solo mejoró la resistencia al impacto de los bloques de concreto, sino que también controló eficazmente la propagación de grietas.

Peng et al., (2023) en su artículo "Effect of steel-waste PET hybrid fiber on properties of recycled aggregate concrete based on response surface methodology" tuvo como objetivo investigar el efecto combinado de fibras de acero y PET recicladas en las propiedades del concreto de árido reciclado (RAC), utilizando metodología de superficie de respuesta (RSM) para identificar las proporciones óptimas de las fibras. La metodología consistió en diseñar mezclas de concreto con diferentes contenidos de fibras de acero (0.5%, 1.0% y 1.5%) y fibras de PET reciclado (0.5%, 0.75% y 1.0%), probando su trabajabilidad y propiedades mecánicas como la resistencia a compresión, tracción indirecta y flexión. Los resultados mostraron que la combinación de ambas

fibras mejoró significativamente la resistencia a tracción y flexión, aunque con una disminución en la trabajabilidad. Los hallazgos indicaron que la adición de fibras de PET reciclado junto con acero tiene un potencial significativo para mejorar las propiedades del concreto reciclado, con una resistencia a la compresión que varió entre el 1% y 13%.

Heidari-Rarani et al., (2023) en su artículo "Experimental investigation and micromechanics-based damage modeling of tensile failure of polymer concrete reinforced with recycled PET bottles" tuvo como objetivo investigar cómo las botellas de PET recicladas, utilizadas como refuerzo en concreto polimérico (PC), pueden mejorar la resistencia a tracción y ductilidad de este material para evitar fallos frágiles. Se prepararon especímenes con diferentes tamaños de relleno de PET (fino y grueso) y se utilizó el método de disco brasileño para medir la resistencia a tracción indirecta. Además, se realizaron simulaciones micromecánicas para analizar el comportamiento del material. Los resultados experimentales mostraron que los rellenos de PET gruesos tienen un mayor efecto en la mejora de la resistencia a la tracción que los rellenos finos. Los hallazgos indicaron que el uso de PET reciclado no solo aumenta la resistencia a la tracción del concreto, sino que también reduce su fragilidad.

Revathi et al., (2023) escribieron el artículo "Behaviour of concrete with PET bottles as fibers & silica fume as partial replacement of cement" en este se estudia el comportamiento del concreto al incorporar fibras de PET reciclado en forma de "O" y sustituir parcialmente el cemento con humo de sílice en porcentajes de 5% y 10%. La metodología incluyó la evaluación de las propiedades mecánicas del concreto, tales como la resistencia a la compresión, la resistencia a la tracción y la resistencia a la flexión, en mezclas de concreto con diferentes proporciones de fibras de PET y humo de

sílice. Los resultados mostraron que la sustitución del 10% de cemento por humo de sílice y el uso de fibras de PET en un 0.3% mejoraron significativamente la resistencia a la compresión (12% más que la mezcla estándar), la resistencia a la tracción (25.6% más alta) y la resistencia a la flexión (99% más alta) en comparación con una mezcla estándar. La investigación indica que la combinación de fibras de PET en forma de “O” y humo de sílice mejoró considerablemente las propiedades mecánicas del concreto, siendo una solución viable para aplicaciones estructurales.

Tang et al., (2022) escribieron el artículo "Preparation and performance analysis of recycled PET fiber reinforced recycled foamed concrete", en este se analiza el rendimiento del concreto espumado reforzado con fibras recicladas de PET y polvo reciclado proveniente de desechos de concreto, evaluando las propiedades físicas, como la densidad en seco, la resistencia a la compresión y la absorción de agua, así como su durabilidad en entornos químicos y resistencia a ciclos de congelación-descongelación. La metodología incluyó la preparación de diferentes mezclas con variaciones en el contenido y longitud de las fibras de PET y su comparación con concreto espumado reforzado con fibras de PET no recicladas. Los resultados mostraron que la incorporación de fibras de PET recicladas mejoró la resistencia a la compresión y la durabilidad en comparación con las fibras de PET convencionales, con una densidad y absorción de agua levemente mejoradas. El principal aporte de la investigación es que, el uso de fibras de PET recicladas es viable y presenta un potencial superior en cuanto a resistencia y durabilidad en aplicaciones de concreto espumado.

Chen et al., (2021) en su artículo “Behaviour of recycled tyre polymer fibre reinforced concrete at elevated temperatures” tuvo como objetivo evaluar la viabilidad de utilizar fibras recicladas de polímero de neumáticos (RTP) para mitigar los daños en

el concreto sometido a temperaturas elevadas. La metodología incluyó pruebas de comportamiento térmico y mecánico, acumulación de presión de poros y evolución microestructural del concreto con diversas cantidades de fibras RTP, expuesto a temperaturas que van desde 20°C hasta 600°C. Los resultados mostraron que la incorporación de fibras RTP ayudó a reducir significativamente la acumulación de presión de poros y los daños en el concreto, mejorando la resistencia al fuego y la temperatura. La solución es que el contenido óptimo de fibras RTP era de 1.2 kg/m³, ya que proporcionaba una buena mitigación de daños sin afectar gravemente la resistencia del concreto.

Adnan y Dawood (2020) en su artículo "Strength behavior of reinforced concrete beam using re-cycle of PET wastes as synthetic fibers" tuvo como objetivo evaluar las propiedades mecánicas del concreto normal reforzado con fibras de residuos de PET, investigando el comportamiento de vigas de concreto reforzado con diferentes porcentajes de este material. La metodología incluyó la preparación de cinco mezclas de concreto con distintos porcentajes y formas de fibras de PET, las cuales se evaluaron mediante pruebas de resistencia a la compresión, deflexión, ductilidad y rigidez de las vigas. Los resultados mostraron una leve disminución en la carga última de falla, pero una mejora significativa en la ductilidad, especialmente en las vigas híbridas. Los hallazgos indicaron que, a pesar de la reducción en la carga última, el uso de fibras de PET mejoró el comportamiento en ductilidad de las vigas, lo que sugiere que las fibras de PET pueden ser una alternativa viable para reducir residuos plásticos y mejorar ciertas propiedades del concreto reforzado.

Shaikh (2020) escribió el artículo "Tensile and flexural behaviour of recycled polyethylene terephthalate (PET) fibre reinforced geopolymer composites", en este se

explora el comportamiento a tracción y flexión de compuestos geopoliméricos reforzados con fibras recicladas de PET y compararlos con compuestos de cemento reforzados con las mismas fibras. La metodología incluyó la preparación de tres tipos de compuestos (geopolímero, cemento y una mezcla de cemento-ceniza volante) y se reforzaron con fibras de PET y polipropileno (PP) en volúmenes de 1% y 1,5%. Los resultados mostraron que, aunque el incremento del volumen de fibra redujo la resistencia a la compresión, los compuestos geopoliméricos reforzados con fibras de PET mostraron un endurecimiento por tracción y flexión, mientras que los compuestos de cemento no presentaron tal comportamiento. Además, las fibras de PET exhibieron una mejor resistencia a la tracción en comparación con las de PP. El descubrimiento indica que las fibras de PET son adecuadas para mejorar la resistencia a la tracción y flexión en compuestos geopoliméricos, lo que sugiere su potencial uso en aplicaciones de refuerzo en concreto.

Nematzadeh et al., (2020) en su artículo "Post-fire compressive strength of recycled PET aggregate concrete reinforced with steel fibers: Optimization and prediction via RSM and GEP" identificó el comportamiento a compresión de concreto reforzado con fibras de acero y agregado de PET reciclado después de haber sido sometido a altas temperaturas. La metodología incluyó la fabricación de 108 especímenes de concreto con diferentes porcentajes de PET reciclado (0%, 5%, 10%) y fibras de acero (0%, 0.5%, 1%), los cuales fueron expuestos a temperaturas de 25, 200, 400 y 600°C, y luego sometidos a pruebas de compresión. Los resultados mostraron que el reemplazo de arena natural con PET reciclado disminuyó la resistencia a la compresión de las muestras tanto a temperatura ambiente como después de la exposición al calor, aunque la incorporación de fibras de acero ayudó a mitigar

parcialmente esta pérdida de resistencia. El principal aporte de la investigación es que, aunque la resistencia disminuye con el uso de PET, se puede optimizar la mezcla para lograr un equilibrio entre sostenibilidad y resistencia estructural, lo cual es relevante para estudios de concreto que buscan alternativas más sostenibles.

También fue necesaria la revisión de teorías para un mejor entendimiento de las variables de estudio, es así que tenemos al *concreto*, *el cual* ha sido un material clave en la construcción debido a su capacidad para soportar grandes cargas de compresión y su versatilidad en diversas aplicaciones estructurales. Está compuesto principalmente por una mezcla de cemento, agregados finos y gruesos, agua y aditivos. Al mezclarse con el agua, el cemento forma una pasta que al hidratarse une los agregados, creando un material rígido y duradero (Neville & Brooks, 2019). Este proceso de endurecimiento lo convierte en un excelente material para la construcción de edificios, puentes y otras infraestructuras. A pesar de sus ventajas, el concreto presenta una desventaja significativa: su baja resistencia a la tracción y a la flexión, lo que lo hace propenso a agrietarse cuando se somete a fuerzas que lo deforman o estiran. Para contrarrestar este defecto, se han desarrollado diversas técnicas de refuerzo que permiten mejorar sus propiedades mecánicas, como la incorporación de fibras, tanto sintéticas como naturales, que distribuyen mejor las tensiones y refuerzan el material en puntos clave (Safiuddin et al., 2021).

A medida que las demandas de sostenibilidad y eficiencia en la construcción han aumentado, la industria ha comenzado a investigar el uso de materiales reciclados para reducir el impacto ambiental de las infraestructuras. En este contexto, el concreto también ha sido objeto de modificaciones, incorporando materiales como el PET (tereftalato de polietileno) reciclado en forma de fibras o partículas, con el fin de

mejorar su desempeño mecánico y reducir la cantidad de residuos plásticos. Además, el uso de PET reciclado ha mostrado ser eficaz para mejorar la resistencia del concreto a ciertos tipos de esfuerzos, como los de tracción y flexión, que son críticos en aplicaciones estructurales, especialmente en elementos como vigas o losas que deben soportar cargas dinámicas y cambios de tensión (Fraternali et al., 2011).

Los avances en el estudio del concreto han permitido desarrollar nuevos tipos de mezclas con mejores propiedades de resistencia y durabilidad. Estos avances, como el uso de materiales reciclados, buscan no solo mejorar la vida útil de las infraestructuras, sino también reducir los costos ambientales asociados a la producción de cemento y el desecho de plásticos. Así, el uso de PET reciclado no solo aborda los problemas estructurales inherentes del concreto, sino que también representa una solución a los desafíos ambientales actuales, como la reducción de residuos plásticos y la demanda de recursos naturales en la construcción.

Por otro lado, *el tereftalato de polietileno (PET)* es un polímero termoplástico utilizado principalmente en la fabricación de botellas y otros envases plásticos, siendo uno de los plásticos más consumidos a nivel mundial. Debido a la preocupación global por el impacto ambiental causado por los residuos plásticos, especialmente aquellos derivados de productos de un solo uso, el reciclaje de PET ha tomado una gran relevancia en diversas industrias. Entre sus principales características, el PET es resistente, liviano y tiene una buena capacidad de resistencia a la tracción, lo que lo hace un material atractivo para su uso en la construcción, especialmente como refuerzo en materiales compuestos como el concreto (Alam et al., 2017).

El uso de PET reciclado como aditivo en concreto se ha investigado ampliamente, destacando su capacidad para mejorar la resistencia a ciertos tipos de

esfuerzos. Las fibras de PET reciclado, por ejemplo, tienen la capacidad de mejorar la resistencia a la flexión y la tracción del concreto, al actuar como puentes de tensión en la matriz, ayudando a distribuir mejor las cargas y evitando la propagación rápida de grietas (Fraternali et al., 2011). Sin embargo, la adición de PET no siempre mejora todas las propiedades del concreto. Algunos estudios han encontrado que, dependiendo de la proporción y el tipo de PET utilizado, la resistencia a la compresión puede verse ligeramente afectada. Esto se debe a la naturaleza menos rígida del PET en comparación con los agregados convencionales como la grava o la arena, lo que puede generar una disminución en la capacidad del concreto para soportar cargas de compresión (Safiuddin et al., 2021).

A pesar de estas limitaciones, el PET reciclado sigue siendo una opción atractiva debido a su abundancia y bajo costo en comparación con otros materiales de refuerzo. Además, su uso en el concreto contribuye a la reducción de residuos plásticos, lo que lo convierte en una alternativa sostenible para la industria de la construcción. El desarrollo de nuevas tecnologías y procesos de tratamiento para el PET reciclado continúa mejorando su compatibilidad con el concreto, lo que sugiere que este material tiene un gran potencial para futuras aplicaciones en la construcción de infraestructuras más sostenibles y eficientes.

En el caso de los *refuerzos de material compuesto*, pueden clasificarse en dos categorías principales: refuerzos en forma de partículas y refuerzos en forma de fibras. Las partículas se refieren a pequeñas piezas que se distribuyen uniformemente en la mezcla de concreto, actuando como una barrera física que impide la propagación de grietas y mejora la resistencia mecánica del material. Por otro lado, las fibras son elementos alargados que refuerzan el concreto en direcciones específicas, ayudando a

mejorar su resistencia a la tracción y flexión. En el caso del PET reciclado, ambas formas de refuerzo han sido investigadas (Alam et al., 2017).

El refuerzo en forma de partículas de PET se ha utilizado para mejorar la resistencia a la compresión y reducir la porosidad del concreto. Estas partículas actúan llenando los vacíos en la mezcla de concreto, lo que ayuda a crear una matriz más compacta y resistente. Por otro lado, las fibras de PET reciclado han demostrado ser más eficaces para mejorar la resistencia a la flexión y tracción del concreto. Estas fibras, al distribuirse de manera uniforme en la mezcla, actúan como puentes entre las partículas de concreto, mejorando la distribución de las tensiones y retrasando la formación de grietas (Akcaozoglu et al., 2010).

La resistencia a la compresión es una de las propiedades más importantes del concreto, ya que define su capacidad para soportar cargas sin fallar. El concreto es especialmente resistente a la compresión debido a su estructura interna, donde los agregados gruesos y finos están firmemente ligados por la pasta de cemento. Sin embargo, cuando se introducen aditivos o refuerzos, como el PET reciclado, esta resistencia puede verse afectada. Varios estudios han mostrado que la adición de fibras o partículas de PET en la mezcla de concreto puede reducir levemente su resistencia a la compresión (Alam et al., 2017). Esto se debe a que el PET, al ser un material plástico, no posee la misma rigidez que los agregados convencionales, lo que provoca una disminución en la capacidad del concreto para resistir las fuerzas de compresión.

A pesar de esta disminución en la resistencia a la compresión, la incorporación de PET reciclado tiene otros beneficios. Uno de los principales es la mejora en la resistencia a la tracción y a la flexión, propiedades que son importantes en elementos de concreto que están sometidos a cargas laterales o tensiones. Además, la adición de PET

reciclado también puede mejorar la ductilidad del concreto, permitiéndole deformarse más antes de romperse, lo que es especialmente útil en situaciones donde el concreto está sometido a cargas dinámicas o impactos (Akcaozoglu et al., 2010). Estos estudios sugieren que, aunque la resistencia a la compresión puede verse ligeramente afectada por la adición de PET, los beneficios en otras propiedades mecánicas y la sostenibilidad del material compensan esta pérdida.

Es importante considerar que esta investigación se justifica debido al creciente interés en la incorporación de materiales reciclados en la construcción, especialmente en concreto, como respuesta a la preocupación global por la sostenibilidad y el impacto ambiental de los materiales de construcción convencionales. El concreto, siendo uno de los materiales más utilizados en el mundo, está asociado con altos niveles de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) debido a su producción, particularmente en la fabricación de cemento. Además, el uso intensivo de recursos naturales, como los agregados finos y gruesos, sumado a la acumulación creciente de residuos plásticos, como el PET (tereftalato de polietileno), plantea serios desafíos ambientales. En este contexto, la investigación busca integrar PET reciclado en la producción de concreto para abordar estos problemas. Su objetivo principal es evaluar cómo la forma (en partículas o fibras) y el porcentaje de PET reciclado influyen en las propiedades del concreto, particularmente en su resistencia a la compresión y flexión, con el propósito de lograr un concreto con una resistencia específica de f_c de 210 kg/cm². Este trabajo no solo contribuirá al desarrollo de prácticas constructivas más sostenibles, sino que también ofrecerá una solución viable para disminuir los residuos plásticos acumulados (Alam et al., 2017), logrando así una doble ventaja: mitigar el impacto ambiental y mejorar las propiedades estructurales del concreto.

La incorporación de materiales reciclados, como el PET, en concreto se fundamenta en una sólida base teórica derivada de investigaciones previas sobre el comportamiento de materiales compuestos. Desde esta perspectiva, el PET reciclado, en sus formas de partículas o fibras, tiene el potencial de modificar las propiedades mecánicas del concreto, especialmente su desempeño frente a esfuerzos de compresión y flexión. Estudios han demostrado que las fibras de PET actúan como puentes dentro de la matriz del concreto, mejorando la distribución de tensiones y limitando la propagación de grietas, lo que resulta en una mayor resistencia a la tracción y a la flexión. No obstante, el uso de PET en forma de partículas puede reducir la resistencia a la compresión debido a la menor rigidez del plástico frente a los agregados convencionales (Fraternali et al., 2011). Este trabajo pretende profundizar en estas dinámicas teóricas, evaluando de manera específica cómo la forma y el porcentaje de PET reciclado influyen en la resistencia a la compresión y a la flexión de un concreto diseñado para alcanzar una resistencia de f_c de 210 kg/cm². Al abordar estos aspectos, la investigación no solo enriquecerá el conocimiento existente sobre materiales compuestos, sino que también aportará una comprensión más clara de los mecanismos que regulan la interacción entre el PET reciclado y la matriz de concreto.

Desde una perspectiva práctica, esta investigación destaca por su capacidad de ofrecer una alternativa sostenible y económica en la producción de concreto. El uso de PET reciclado como refuerzo permite disminuir la dependencia de los agregados tradicionales al tiempo que se aborda el problema de la acumulación de residuos plásticos. En el sector de la construcción, el concreto reforzado con PET reciclado tiene un gran potencial para ser empleado en proyectos que requieren alta resistencia estructural con un impacto ambiental reducido. Esto resulta especialmente relevante en

infraestructuras urbanas, donde la durabilidad y la sostenibilidad son factores clave. Los resultados de esta investigación podrán ser aprovechados por ingenieros y diseñadores para optimizar el uso de materiales reciclados en proyectos constructivos, generando estructuras más sostenibles y de mayor durabilidad (Mendoza et al., 2021). Además, el concreto resultante podría aplicarse en pavimentos, elementos prefabricados, estructuras de soporte y otros componentes críticos que requieran propiedades avanzadas de compresión y flexión. De este modo, esta investigación aborda de manera práctica dos desafíos: la gestión de residuos plásticos y la necesidad de mejorar el desempeño mecánico del concreto mediante el uso de materiales reciclados.

Desde el punto de vista metodológico, este estudio se sustenta en un diseño experimental robusto que garantiza resultados precisos y comparables sobre el impacto del PET reciclado en el concreto. La metodología incluye la preparación de diversas mezclas de concreto con diferentes porcentajes de PET reciclado, tanto en partículas como en fibras. Cada mezcla será sometida a evaluaciones rigurosas de resistencia a la compresión y flexión, siguiendo normativas estándar para propiedades mecánicas del concreto. Este enfoque permitirá identificar la combinación óptima de forma y porcentaje de PET reciclado, además de establecer relaciones entre las variables de la mezcla y su desempeño mecánico (Shaikh et al., 2020). Al proporcionar un análisis integral de propiedades a compresión y flexión, esta metodología asegura una visión completa del comportamiento del concreto. Asimismo, la reproducibilidad de los resultados refuerza su utilidad para investigaciones futuras y aplicaciones prácticas, consolidando una base técnica sólida para implementar PET reciclado en la industria de la construcción.

En términos de su impacto *socioambiental*, esta investigación contribuye directamente a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), específicamente al ODS 12, que promueve la producción y el consumo responsables. La gestión de residuos plásticos es un problema global que afecta a los ecosistemas y a la salud humana. Al utilizar PET reciclado en la producción de concreto, se reduce la acumulación de plásticos en vertederos y se promueve la economía circular, donde los materiales desechados son reincorporados en nuevas aplicaciones. Esto no solo ayuda a reducir el impacto ambiental de los residuos plásticos, sino que también fomenta la sostenibilidad en la industria de la construcción, un sector conocido por su alto consumo de recursos naturales (ONU, 2020). La investigación no solo tiene un impacto ambiental positivo, sino que también puede generar beneficios sociales al reducir la necesidad de extraer agregados naturales, disminuyendo así la degradación de hábitats naturales y contribuyendo a un uso más eficiente de los recursos. Al promover el uso de materiales reciclados, esta investigación se alinea con las metas globales de sostenibilidad y protección del medio ambiente.

El uso de PET reciclado en la producción de concreto también tiene importantes implicaciones *económicas*. En muchos países, el acceso a materiales reciclados, como el PET, es más económico que la adquisición de agregados naturales, lo que puede reducir significativamente los costos de producción de concreto. Además, el uso de materiales reciclados puede resultar en menores costos asociados a la gestión de residuos, ya que se reduce la necesidad de tratar y eliminar grandes volúmenes de plásticos. A largo plazo, la durabilidad mejorada del concreto reforzado con PET podría reducir los costos de mantenimiento y reparación de infraestructuras, lo que representa un ahorro significativo para proyectos de construcción a gran escala (Safiuddin et al., 2021). La

investigación también puede generar nuevas oportunidades económicas al incentivar el reciclaje de plásticos y su aplicación en el sector de la construcción, promoviendo la creación de empleo en industrias relacionadas con el reciclaje y la fabricación de materiales de construcción sostenibles.

Desde el punto de vista *tecnológico*, esta investigación promueve la innovación en la fabricación de concreto mediante el uso de tecnologías avanzadas para la incorporación de refuerzos de PET reciclado. El desarrollo de mezclas de concreto que incorporan PET en forma de partículas y fibras representa una innovación en el campo de los materiales compuestos, donde se busca mejorar las propiedades mecánicas del concreto mediante el uso de materiales reciclados. Además, esta investigación contribuye al avance tecnológico al proporcionar datos empíricos que pueden ser utilizados para optimizar la producción de concreto reforzado con PET en aplicaciones industriales (Alam et al., 2017). La tecnología desarrollada a partir de este estudio puede ser aplicada en futuras investigaciones y proyectos de construcción, permitiendo un uso más eficiente de los recursos y promoviendo prácticas de construcción más sostenibles. Además, el uso de PET reciclado en concreto tiene el potencial de transformar la forma en que se gestionan los residuos plásticos, convirtiendo un problema ambiental en una oportunidad tecnológica para mejorar las infraestructuras urbanas.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema General:

¿Cuál es la influencia de la forma y porcentaje de PET reciclado sobre la resistencia a la compresión de un concreto endurecido, Trujillo, 2024?

1.2.2 Problemas específicos:

¿Cuál es el resultado de analizar la variación de la resistencia a la compresión de un concreto endurecido respecto al porcentaje de partículas de PET reciclado, Trujillo, 2024?

¿Cuál es el resultado de analizar la variación de la resistencia a la compresión de un concreto endurecido respecto al porcentaje de fibras de PET reciclado, Trujillo, 2024?

¿Cuál es el resultado de comparar la resistencia a la compresión de un concreto endurecido con diferentes porcentajes de fibras y partículas de PET reciclado, Trujillo, 2024?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General:

Determinar la influencia de la forma y porcentaje de PET reciclado sobre la resistencia a la compresión de un concreto endurecido, Trujillo, 2024

1.3.2 Objetivos específicos:

Analizar la variación de la resistencia a la compresión de un concreto endurecido respecto al porcentaje de partículas de PET reciclado, Trujillo, 2024

Analizar la variación de la resistencia a la compresión de un concreto endurecido respecto al porcentaje de partículas de PET reciclado, Trujillo, 2024

Comparar la resistencia a la compresión de un concreto endurecido con diferentes porcentajes de fibras y partículas de PET reciclado, Trujillo, 2024

1.4 Hipótesis

1.4.1 Hipótesis General:

La forma y porcentaje de PET reciclado influyen significativamente en
resistencia a la compresión de un concreto endurecido, Trujillo, 2024

1.4.2 Hipótesis específicas:

Hipótesis específica 1:

H0: No existe variación de la resistencia a la compresión de un concreto
endurecido respecto al porcentaje de partículas de PET reciclado, Trujillo, 2024

H1: Si existe variación de la resistencia a la compresión de un concreto
endurecido respecto al porcentaje de partículas de PET reciclado, Trujillo, 2024

Hipótesis específica 2:

H0: No existe variación de la resistencia a la compresión de un concreto
endurecido respecto al porcentaje de fibras de PET reciclado, Trujillo, 2024

H1: Si existe variación de la resistencia a la compresión de un concreto
endurecido respecto al porcentaje de fibras de PET reciclado, Trujillo, 2024

Hipótesis específica 3:

H0: No existe diferencia al comparar la resistencia a la compresión de un
concreto endurecido con diferentes porcentajes de fibras y partículas de PET reciclado,
Trujillo, 2024

H1: Al comparar la resistencia a la compresión de un concreto endurecido con
diferentes porcentajes de fibras y partículas de PET reciclado, Trujillo, 2024 se tiene
que el concreto con partículas de PET presentan mayor resistencia a la compresión
respecto a las fibras

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

2.1 Tipo, Enfoque y diseño de investigación

2.1.1 Tipo de investigación

El estudio se enmarca en la categoría de investigación aplicada y experimental. Se considera aplicada porque busca generar conocimiento orientado a su implementación práctica, específicamente en la mejora de las propiedades del concreto endurecido mediante el uso de PET reciclado en forma de fibras y partículas. Este enfoque tiene como propósito principal aportar al desarrollo de materiales de construcción más sostenibles y funcionales, lo cual es significativo tanto para el ámbito académico como para el sector de la construcción. A su vez, la investigación es experimental, ya que se centra en la manipulación de variables independientes, como la forma y el porcentaje del PET reciclado, para evaluar su impacto en variables dependientes, tales como la resistencia a la compresión del concreto. Este diseño experimental resulta clave para identificar y comprender las relaciones causales entre las variables en estudio, permitiendo obtener resultados robustos y replicables (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018).

2.1.2 Enfoque de investigación

La investigación adopta un enfoque cuantitativo, dado que se centra en la recopilación y el análisis de datos numéricos para evaluar cómo las distintas formas y porcentajes de PET reciclado, ya sea en fibras o partículas, afectan la resistencia a la compresión del concreto endurecido. Este enfoque resulta especialmente adecuado para estudios experimentales que buscan medir de manera objetiva el impacto de variables independientes sobre resultados específicos. En este contexto, las pruebas realizadas, como la resistencia a la compresión, permitirán obtener datos cuantificables que

facilitarán la comparación estadística entre los diferentes tratamientos. Además, el enfoque cuantitativo es fundamental para validar hipótesis mediante mediciones precisas y resultados replicables, asegurando la robustez de las conclusiones del estudio (Creswell, 2014).

2.1.3 Diseño de investigación

El diseño de la investigación es cuasi experimental, lo que significa que se manipula la variable independiente pero no se asignan de forma aleatoria los grupos de estudio. Este tipo de diseño es adecuado cuando no es posible realizar una asignación completamente aleatoria por razones prácticas o éticas, pero aún se busca establecer relaciones causales entre las variables. En este estudio, se compararán los resultados de los ensayos de densidad, absorción y resistencia a la compresión en los adoquines sin fibra y aquellos con diferentes tamaños de fibra de PET, utilizando métodos estadísticos para evaluar la significancia de las diferencias. Este diseño es común en estudios de ingeniería donde los experimentos se realizan en condiciones controladas, pero no estrictamente aleatorias (Campbell y Stanley, 2015).

2.1.4 Nivel de investigación

El estudio es de nivel explicativo porque no solo describe las características del concreto con PET reciclado, sino que analiza la relación causa-efecto entre la forma y el porcentaje de PET con la resistencia a la compresión del material. A través de un diseño cuasi-experimental, manipula variables independientes, como la morfología y cantidad de PET, para evaluar su impacto en la resistencia del concreto endurecido, aplicando análisis estadísticos como ANOVA y la prueba de Tukey para validar la significancia de los resultados. La investigación busca comprender cómo y por qué estos factores

influyen en las propiedades mecánicas del concreto, estableciendo un marco causal que permite explicar los efectos de la adición de PET en la estructura del material. Al enfocarse en determinar la influencia de estos parámetros y no solo en describir sus efectos, la investigación se enmarca dentro del nivel explicativo, ya que proporciona fundamentos para comprender y predecir el comportamiento del concreto modificado

2.2 Variables

2.2.1 Variables independientes

Forma de PET reciclado

Porcentaje de PET reciclado

2.2.2 Variable dependiente

Resistencia a la compresión de un concreto endurecido

2.3 Población y muestra

2.3.1 Población

La población la constituyo todo el concreto de resistencia 210 kg/cm^2 elaborados en laboratorio con y sin PET reciclado ya sea en forma de fibra o de partículas, haciendo un total de 60 probetas

2.3.2 Muestra

La muestra estuvo constituida por probetas cilíndricas de 6x12" elaboradas bajo la norma ASTM C31, a estas se adiciono PET reciclado en forma de fibras o partículas en porcentajes de 1, 3 y 5%, se elaboraron 10 probetas por cada porcentaje y cada tipo de refuerzo, es decir un total de 60 probetas; así mismo, se tomó como grupo control al

valor de diseño del concreto (210 kg/cm^2) . Para escoger la muestra se utilizó un muestreo no probabilístico por conveniencia

2.4 Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.4.1 Técnicas de recolección de datos

La técnica utilizada en la investigación fue la observación directa, una metodología ampliamente aplicada en estudios experimentales donde se requiere evaluar el comportamiento de materiales en condiciones controladas. En este caso, la observación directa permitió registrar de manera precisa los efectos de la adición de PET reciclado en diferentes formas (fibras y partículas) sobre la resistencia a la compresión del concreto endurecido. Esta técnica facilitó la recolección de datos en tiempo real durante los ensayos de laboratorio, evitando la influencia de interpretaciones subjetivas o sesgos externos. Además, la observación directa es clave en investigaciones donde los datos deben ser obtenidos de manera empírica, asegurando que los resultados reflejen el desempeño real del material evaluado. La observación también permitió detectar posibles anomalías en el comportamiento de las muestras, como variaciones inesperadas en la resistencia o problemas de cohesión en la matriz cementicia. Este enfoque garantizó la recopilación sistemática de información sin interferir en el proceso experimental, permitiendo el análisis comparativo entre los diferentes grupos de estudio. La técnica de observación directa, al estar respaldada por mediciones estructuradas y normativas específicas, se consolidó como una herramienta fundamental para la validez y confiabilidad de la investigación.

2.4.2 Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos utilizados para la recolección de datos en la investigación fueron formatos de registro estandarizados, diseñados en conformidad con las normativas ASTM aplicables a los ensayos realizados. Estos formatos permitieron documentar con precisión los valores obtenidos en cada prueba de resistencia a la compresión, asegurando la uniformidad y confiabilidad de los datos. La recopilación de información se llevó a cabo en el Laboratorio de Concreto de la Universidad Privada del Norte - San Isidro, bajo la supervisión de especialistas en la materia. Dichos formatos incluyeron campos específicos para registrar las condiciones de cada muestra, como el porcentaje y tipo de PET reciclado incorporado, el tiempo de curado, la densidad del material y los resultados obtenidos en las pruebas de compresión. Además, se emplearon equipos de laboratorio calibrados, como prensas hidráulicas para la medición de resistencia a la compresión, siguiendo estrictamente la norma ASTM C39. Estos instrumentos permitieron cuantificar con precisión los efectos de la incorporación de PET en las mezclas de concreto, asegurando que las mediciones fueran replicables y comparables entre los diferentes tratamientos evaluados. La implementación de estos formatos y herramientas garantizó que los datos recolectados fueran fidedignos, facilitando su posterior análisis y validación

2.4.3 Procedimientos de recolección de datos

El proceso de recolección de datos comenzó con la obtención y procesamiento del PET reciclado, el cual fue recolectado de botellas de bebidas para ser transformado en dos formas distintas: fibras y partículas trituradas. Las fibras fueron cortadas en tamaños promedio de 40 mm de longitud y 3 mm de ancho, mientras que las partículas fueron trituradas hasta alcanzar un tamaño aproximado de 3 mm. Posteriormente, se prepararon mezclas de concreto con una resistencia de diseño de 210 kg/cm², a las cuales se les incorporaron estos refuerzos en porcentajes de 1%, 3% y 5%. La mezcla fue colocada en probetas cilíndricas de 6x12", cumpliendo con la normativa ASTM C31

para su correcta compactación y curado. Después de 28 días de curado, se procedió a la evaluación de resistencia a la compresión de las probetas mediante ensayos bajo la norma ASTM C39, utilizando una prensa hidráulica para medir la carga máxima soportada por cada muestra. Durante todo el procedimiento, se llevó un registro detallado de las condiciones de cada ensayo, asegurando la trazabilidad de los resultados. Finalmente, los datos obtenidos fueron sistematizados y analizados mediante técnicas estadísticas, permitiendo la comparación entre los distintos tratamientos y la validación de las hipótesis planteadas

2.4.4 Análisis de datos

El análisis de los datos recolectados se llevó a cabo utilizando técnicas de estadística inferencial, destacando el empleo del análisis de varianza (ANOVA). Este método fue fundamental para determinar si existían diferencias significativas entre los distintos grupos estudiados. Los resultados se interpretaron a partir de tablas ANOVA, evaluando los valores de significancia (p-value) para identificar variaciones estadísticamente relevantes. Adicionalmente, se aplicó el método de comparación múltiple de Tukey como complemento del ANOVA, lo que permitió identificar con precisión cuáles grupos específicos presentaban diferencias significativas entre sí. Para el procesamiento y análisis de los datos, se utilizaron herramientas como Microsoft Excel y el software estadístico SPSS, que facilitaron la realización de cálculos detallados, la creación de gráficos representativos y la ejecución eficiente de las pruebas estadísticas necesarias.

2.5 Aspectos éticos

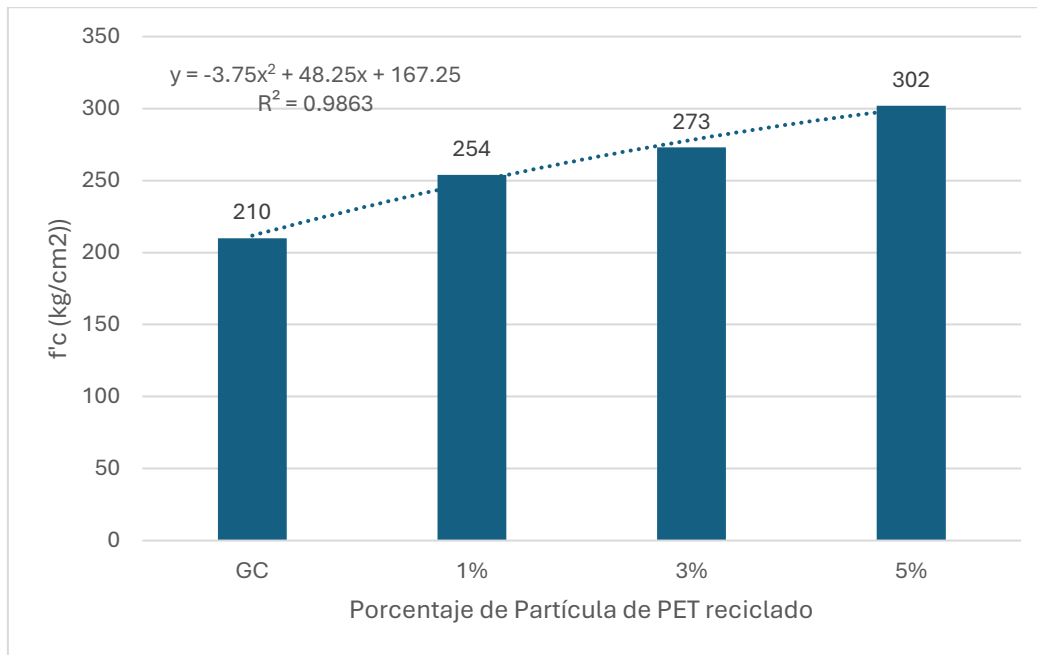
La recopilación de datos se llevó a cabo de manera exhaustiva y cuidadosamente estructurada, siguiendo estrictamente los principios éticos de investigación establecidos por la Universidad Privada del Norte y respaldados por organismos internacionales de prestigio. Cada etapa del proceso fue planificada meticulosamente para garantizar la

precisión y confiabilidad de los datos, manteniendo siempre un firme compromiso con la transparencia y la integridad. Asimismo, se aseguraron el cumplimiento de todas las normativas aplicables, lo que permitió preservar la autenticidad del estudio en cada momento. Este enfoque ético y riguroso no solo fortalece la validez y credibilidad de los resultados obtenidos, sino que también garantiza que los hallazgos puedan ser utilizados con confianza en investigaciones futuras y en la elaboración de estrategias fundamentadas en evidencia científica.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. OE1: Analizar la variación de la resistencia a la compresión de un concreto endurecido respecto al porcentaje de partículas de PET reciclado, Trujillo, 2024

Figura 1. Resistencia a la compresión de concreto con partículas PET reciclado.



Nota. Datos obtenidos en laboratorio

La figura 1 muestra la variación de la resistencia a la compresión del concreto endurecido en función del porcentaje de partículas de PET reciclado, evidenciando un incremento significativo a medida que aumenta el contenido de PET. El grupo control (GC), sin adición de PET, registró una resistencia de 210 kg/cm². Con la adición de 1% de PET, la resistencia incrementó a 254 kg/cm², lo que representa un aumento del 20.95% respecto al grupo control. Al utilizar 3% de PET, la resistencia se elevó a 273 kg/cm², evidenciando un incremento acumulado del 30% en comparación con el grupo sin adición. Finalmente, con 5% de PET, se obtuvo una resistencia máxima de 302 kg/cm², lo que equivale a un aumento del 43.81% respecto al grupo control. La ecuación

de comportamiento que describe esta tendencia es $y = -3.75x^2 + 48.25x + 167.25$, con un coeficiente de determinación $R^2 = 0.9863$, lo que indica una alta correlación entre el porcentaje de PET y la resistencia a la compresión.

Prueba de hipótesis

En la prueba ANOVA, se observó que el valor de significancia ($p = 0.000$) es menor al nivel de significancia establecido ($\alpha = 0.05$), lo que permite rechazar la hipótesis nula (H_0) y aceptar la hipótesis alternativa (H_1): Si existe variación de la resistencia a la compresión de un concreto endurecido respecto al porcentaje de partículas de PET reciclado, Trujillo, 2024. Esto confirma que existen diferencias significativas en la resistencia a la compresión del concreto endurecido al variar el porcentaje de PET reciclado. Además, el análisis post hoc mediante la prueba de Tukey identificó diferencias significativas entre todos los grupos, con medias de resistencia de 210 kg/cm^2 , 254 kg/cm^2 , 273 kg/cm^2 y 302 kg/cm^2 para los porcentajes de 0%, 1%, 3% y 5% de PET, respectivamente. Estos resultados respaldan la conclusión de que el incremento en el porcentaje de partículas de PET reciclado tiene un impacto positivo y significativo en la resistencia a la compresión del concreto endurecido. Estos resultados se ven reflejados en las tablas siguientes:

Tabla 1. ANOVA partículas

		Suma de				
		cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Absorción	Entre grupos	45001,800	3	15000,600	2719,142	,000
	Dentro de grupos	198,600	36	5,517		
	Total	45200,400	39			

Tabla 2. Tukey partículas

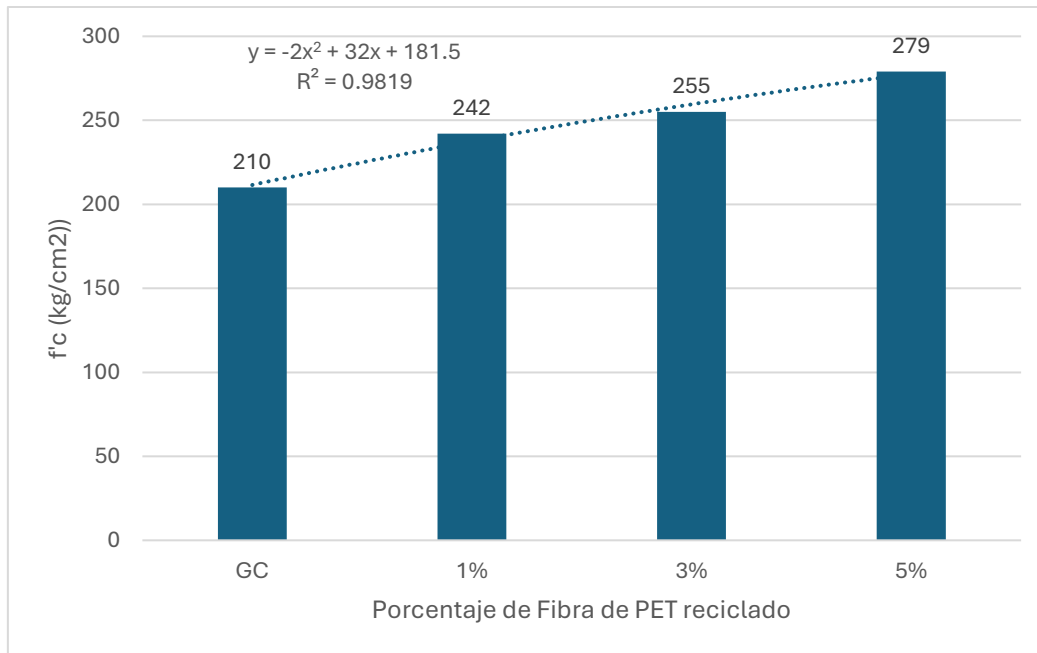
Porcentaje PET	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
GC	10	210,0000			
1%	10		253,5000		
3%	10			273,0000	
5%	10				302,3000
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 10.000.

3.2. OE2: Analizar la variación de la resistencia a la compresión de un concreto endurecido respecto al porcentaje de fibras de PET reciclado, Trujillo, 2024

Figura 2. Resistencia a la compresión de concreto con fibras de PET reciclado



Nota. Datos obtenidos en laboratorio

La figura 2 evidencia cómo la resistencia a la compresión del concreto endurecido varía con el incremento en el porcentaje de fibras de PET reciclado. El grupo control (GC), sin adición de fibras de PET, muestra una resistencia inicial de 210 kg/cm². Al incorporar un 1% de fibras de PET, la resistencia incrementa a 242 kg/cm², lo que representa un aumento del 15.24% respecto al grupo control. Para el 3% de fibras, la resistencia alcanza los 255 kg/cm², evidenciando un incremento acumulado del 21.43% en comparación con el grupo sin aditivos. Finalmente, con un 5% de fibras de PET, la resistencia máxima es de 279 kg/cm², lo que equivale a un aumento del 32.86%. La tendencia observada está descrita por la ecuación $y = -2x^2 + 32x + 181.5$, con un coeficiente de determinación $R^2 = 0.9819$, lo que indica una correlación muy alta entre el porcentaje de fibras y la resistencia a la compresión del concreto.

Prueba de hipótesis

El análisis estadístico mediante ANOVA muestra que el valor de significancia obtenido ($p = 0.000$) es menor al nivel de significancia preestablecido ($\alpha = 0.05$). Esto permite rechazar la hipótesis nula (H_0) y aceptar la hipótesis alternativa (H_1); Si existe variación de la resistencia a la compresión de un concreto endurecido respecto al porcentaje de fibra de PET reciclado, Trujillo, 2024, confirmando que existe una variación significativa en la resistencia a la compresión del concreto endurecido con diferentes porcentajes de fibras de PET reciclado. Además, el análisis post hoc de Tukey revela diferencias significativas entre todos los grupos. Los valores medios de resistencia a la compresión son 210 kg/cm² para el grupo control, 241.5 kg/cm² para el 1% de fibras, 255.3 kg/cm² para el 3%, y 279 kg/cm² para el 5%. Estos resultados corroboran que el incremento en el porcentaje de fibras de PET reciclado tiene un efecto positivo y significativo sobre la resistencia a la compresión del concreto, validando los

hallazgos del estudio. Estos resultados se ven reflejados en las tablas siguientes:

Tabla 3. ANOVA fibras

		Suma de				
		cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Absorción	Entre grupos	24909,300	3	8303,100	1505,094	,000
	Dentro de grupos	198,600	36	5,517		
	Total	25107,900	39			

Tabla 4. Tukey fibras

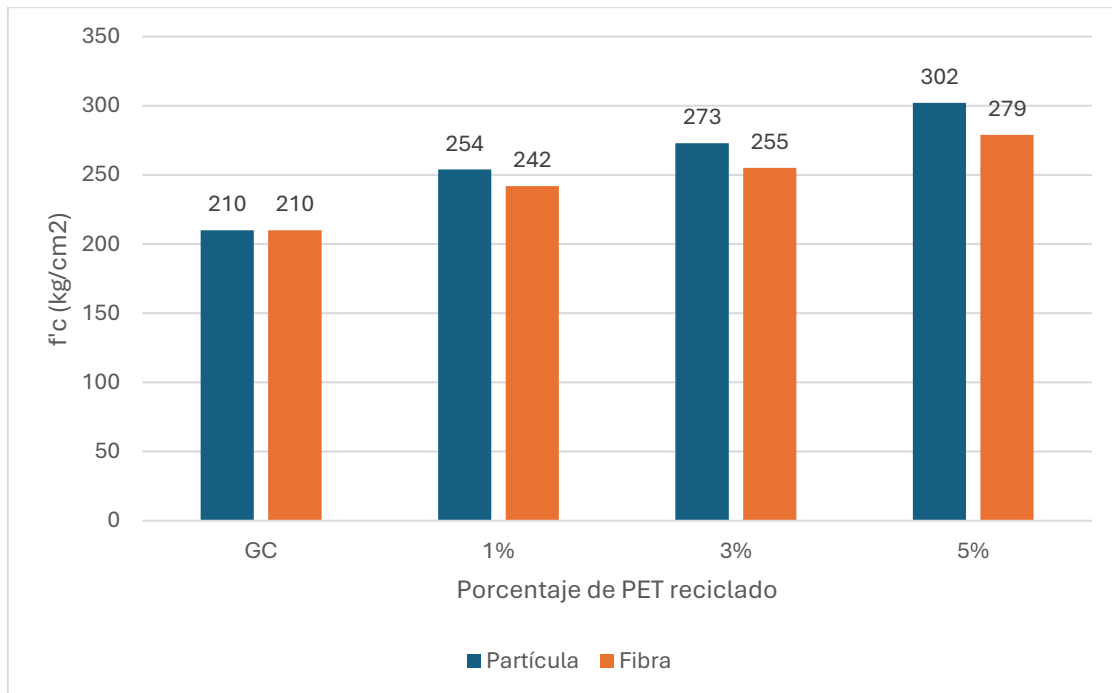
		Subconjunto para alfa = 0.05			
Porcentaje	PET N	1	2	3	4
GC	10	210,0000			
1%	10		241,5000		
3%	10			255,3000	
5%	10				279,0000
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 10,000.

3.3. OE3: Comparar la resistencia a la compresión de un concreto endurecido con diferentes porcentajes de fibras y partículas de PET reciclado, Trujillo, 2024

Figura 3. Comparación de resistencia a la compresión con fibra y partículas



Nota. Datos obtenidos en laboratorio

La figura 3 compara la resistencia a la compresión del concreto endurecido con diferentes porcentajes de PET reciclado en forma de partículas y fibras. El grupo control (GC), sin adición de PET, tiene una resistencia de 210 kg/cm² para ambas formas. Con la adición de 1% de PET, el concreto con partículas alcanza una resistencia de 254 kg/cm², mientras que el concreto con fibras registra 242 kg/cm², lo que representa un incremento del 20.95% y 15.24%, respectivamente, en comparación con el grupo control. Al usar un 3% de PET, el concreto con partículas registra una resistencia de 273 kg/cm² (30% de aumento respecto al control), mientras que el concreto con fibras

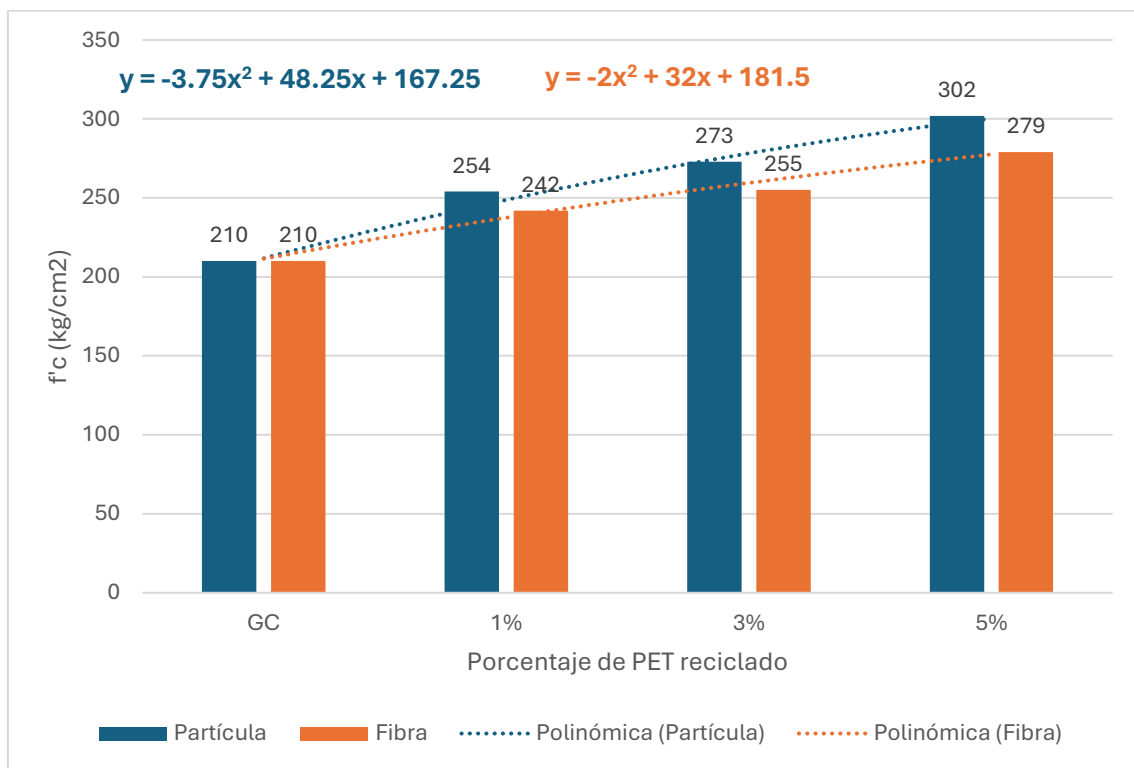
alcanza 255 kg/cm^2 (21.43% de incremento). Finalmente, con un 5% de PET, el concreto con partículas muestra una resistencia máxima de 302 kg/cm^2 (43.81% más que el control), mientras que el concreto con fibras alcanza 279 kg/cm^2 (32.86% de aumento). Estos resultados indican que, en todos los porcentajes, las partículas de PET reciclado generan mayor resistencia a la compresión que las fibras

Prueba de hipótesis

El análisis estadístico demuestra diferencias significativas al comparar la resistencia a la compresión entre las formas de PET reciclado (partículas y fibras). Los valores obtenidos reflejan que, para todos los porcentajes evaluados (1%, 3%, y 5%), el concreto con partículas supera consistentemente al concreto con fibras en términos de resistencia a la compresión. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_1), confirmando que el concreto endurecido con partículas de PET reciclado presenta mayor resistencia a la compresión en comparación con aquel que utiliza fibras, independientemente del porcentaje utilizado. Esto respalda el uso de partículas de PET como una alternativa más efectiva para mejorar las propiedades mecánicas del concreto

3.4. OG: Determinar la influencia de la forma y porcentaje de PET reciclado sobre la resistencia a la compresión de un concreto endurecido, Trujillo, 2024

Figura 4. Resistencia a la compresión con fibra y partículas



Nota. Datos obtenidos en laboratorio

La figura 4 analiza la influencia de la forma (partículas y fibras) y el porcentaje de PET reciclado sobre la resistencia a la compresión del concreto endurecido. El grupo control (GC), sin adición de PET, muestra una resistencia de 210 kg/cm² en ambos casos. Al agregar 1% de PET, el concreto con partículas alcanza 254 kg/cm², mientras que el concreto con fibras registra 242 kg/cm², representando un aumento del 20.95% y 15.24%,

respectivamente, en comparación con el grupo control. Con un 3% de PET, el concreto con partículas logra 273 kg/cm² (30% de incremento), mientras que el de fibras alcanza 255 kg/cm² (21.43%). Finalmente, con un 5% de PET, las partículas logran una resistencia de 302 kg/cm² (43.81% de aumento), frente a las fibras con 279 kg/cm² (32.86%). Las ecuaciones polinómicas que describen estas tendencias son $y = -3.75x^2 + 48.25x + 167.25$ ($R^2 = 0.9863$) para partículas y $y = -2x^2 + 32x + 181.5$ ($R^2 = 0.9819$) para fibras, indicando una alta correlación entre las variables.

Prueba de hipótesis

El análisis ANOVA evidencia que tanto para partículas como para fibras, el valor de significancia ($p = 0.000$) es menor al nivel de significancia ($\alpha = 0.05$), indicando diferencias estadísticamente significativas entre los grupos evaluados. Esto demuestra que la forma y el porcentaje de PET reciclado influyen significativamente en la resistencia a la compresión. Además, los análisis post hoc (Tukey analizadas con anterioridad) confirman diferencias significativas entre los diferentes porcentajes para ambas formas de PET. Los resultados demuestran que las partículas generan mayores resistencias en comparación con las fibras en todos los porcentajes. Por lo tanto, se acepta la hipótesis de que la forma y el porcentaje de PET reciclado influyen significativamente en la resistencia a la compresión del concreto endurecido, validando la superioridad de las partículas en el aumento de esta propiedad

Tabla 5. ANOVA resistencia a la compresión con fibra y partículas

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Compresion_	Entre grupos	45001,800	3	15000,600	2719,142	,000
particula	Dentro de grupos	198,600	36	5,517		

	Total	45200,400	39			
Compresion_f	Entre grupos	24909,300	3	8303,100	1505,094	,000
ibra	Dentro de grupos	198,600	36	5,517		
	Total	25107,900	39			

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

Los resultados obtenidos del análisis de la variación de la resistencia a la compresión del concreto endurecido con diferentes porcentajes de partículas de PET reciclado demuestran un incremento significativo a medida que se incrementa el contenido de este material, alcanzando su resistencia máxima con un 5% de partículas (302 kg/cm²), lo que equivale a un aumento del 43.81% respecto al grupo control (210 kg/cm²). Este comportamiento puede atribuirse a la capacidad de las partículas de PET para integrarse de manera uniforme en la matriz cementicia, lo que mejora la densidad del concreto y optimiza la distribución de cargas internas. Estos resultados coinciden con el estudio de Guo et al. (2024), quienes reportaron incrementos similares en propiedades mecánicas al emplear fibras recicladas, observando aumentos de hasta 41.29% en resistencia a compresión. Por otro lado, Peng et al. (2023) también documentaron un incremento significativo en la resistencia al incorporar fibras recicladas, aunque señalaron una disminución en la trabajabilidad del concreto, un fenómeno que no se presentó en este estudio, posiblemente debido a la granulometría específica de las partículas utilizadas. Además, Kim et al. (2024) destacan que los materiales reciclados, como las partículas de PET, contribuyen a controlar la propagación de microfisuras, mejorando el

desempeño estructural del concreto. Estos hallazgos respaldan la viabilidad de las partículas de PET reciclado como un material innovador para optimizar la resistencia a la compresión, promoviendo una alternativa sostenible y eficiente en la industria de la construcción

Para el análisis de la variación de la resistencia a la compresión con diferentes porcentajes de fibras de PET reciclado, los resultados muestran un incremento progresivo en esta propiedad. El concreto sin fibras presentó una resistencia inicial de 210 kg/cm², que aumentó a 242 kg/cm² (15.24%) al incorporar 1% de fibras. Con 3% de fibras, la resistencia alcanzó 255 kg/cm² (21.43%), y con 5%, el valor máximo registrado fue de 279 kg/cm² (32.86%). Este comportamiento puede atribuirse a la capacidad de las fibras de PET para reforzar la matriz del concreto, mejorando la transferencia de esfuerzos internos y minimizando la propagación de microfisuras, como concluyeron Guo et al. (2024), quienes reportaron incrementos significativos en resistencia a compresión utilizando fibras de PET reciclado. Además, Kim et al. (2024) resaltaron que las fibras recicladas no solo fortalecen la resistencia mecánica, sino que también contribuyen al control del crecimiento de grietas, mejorando el desempeño estructural. Sin embargo, los resultados de este estudio son más consistentes que los de Peng et al. (2023), quienes observaron incrementos menores, entre 1% y 13%, al emplear fibras híbridas de PET y acero. Esta diferencia podría explicarse por variaciones en las proporciones y configuraciones experimentales. En conjunto, estos hallazgos confirman que el uso de fibras de PET reciclado tiene un impacto positivo y significativo en la resistencia a la compresión, validando su potencial como un refuerzo sostenible y eficiente en el desarrollo de concretos mejorados

Al comparar la resistencia a la compresión del concreto endurecido con diferentes

porcentajes de PET reciclado en forma de partículas y fibras, se observa que las partículas generan mayores valores en todos los porcentajes evaluados. Sin adición de PET, ambos grupos presentan una resistencia inicial de 210 kg/cm². Con un 1% de PET, las partículas incrementan la resistencia a 254 kg/cm², equivalente a un aumento del 20.95%, mientras que las fibras alcanzan 242 kg/cm², representando un incremento del 15.24%. Al aumentar al 3%, las partículas logran 273 kg/cm² (30%), mientras que las fibras registran 255 kg/cm² (21.43%). Finalmente, con un 5% de PET, las partículas alcanzan su resistencia máxima de 302 kg/cm², lo que equivale a un incremento del 43.81%, frente a 279 kg/cm² (32.86%) logrado por las fibras. Este comportamiento se explica por la capacidad de las partículas de PET para distribuir mejor las cargas internas y aumentar la densidad del concreto, optimizando la cohesión de la matriz cementicia, como lo reportaron Guo et al. (2024). Por su parte, Kim et al. (2024) destacaron que, aunque las fibras recicladas mejoran la resistencia al impacto, su desempeño en compresión es inferior al de los materiales particulados. Estos resultados confirman que las partículas de PET reciclado son una alternativa más eficiente que las fibras para mejorar la resistencia a la compresión del concreto endurecido, consolidando su potencial como una solución innovadora y sostenible en el ámbito de la construcción

Para el objetivo general, se evidencia que tanto la forma como el porcentaje de PET reciclado tienen un impacto significativo en la resistencia a la compresión del concreto endurecido. Los resultados muestran que las partículas de PET alcanzan una resistencia máxima de 302 kg/cm² al 5%, mientras que las fibras logran un máximo de 279 kg/cm² en el mismo porcentaje. Este comportamiento puede explicarse por la capacidad superior de las partículas para integrarse en la matriz cementicia, lo que mejora la densidad del concreto y permite una distribución más eficiente de las cargas internas.

Esto coincide con los hallazgos de Guo et al. (2024), quienes reportaron incrementos del 41.29% en resistencia a compresión al utilizar materiales reciclados. Por otro lado, Kim et al. (2024) destacan que, aunque las fibras recicladas son efectivas en el control de grietas, su desempeño en resistencia a compresión es inferior en comparación con las partículas debido a su menor interacción con la matriz del concreto. Asimismo, Peng et al. (2023) confirmaron que la adición de PET reciclado mejora las propiedades mecánicas del concreto, aunque los efectos varían según la forma y la proporción utilizada. En conjunto, estos resultados validan que las partículas de PET reciclado tienen un mayor potencial para optimizar la resistencia a la compresión, consolidándose como una solución sostenible y eficiente en el desarrollo de materiales estructurales innovadores que contribuyen a la reducción de desechos plásticos y al fortalecimiento de la economía circular

4.2. Limitaciones

El presente estudio se encuentra condicionado por varias limitaciones inherentes al diseño y alcance de la investigación. En primer lugar, las pruebas experimentales fueron realizadas en condiciones controladas de laboratorio, las cuales no replican completamente las condiciones reales de obra, donde factores como la temperatura, la humedad, el manejo de los materiales y la calidad de los insumos pueden afectar significativamente el desempeño del concreto. Esto podría generar diferencias en los resultados cuando se trasladen a aplicaciones prácticas. Además, los resultados están limitados a los porcentajes de PET reciclado evaluados (1%, 3% y 5%), lo que deja abierta la posibilidad de variaciones en las propiedades mecánicas con otros niveles de adición. También se estudiaron únicamente dos formas de PET reciclado (fibras y partículas), sin considerar otras configuraciones que podrían influir en las propiedades del concreto. Por

otra parte, el análisis se centró en propiedades específicas como la resistencia a la compresión, la densidad y la absorción, excluyendo propiedades relevantes como la durabilidad a largo plazo, la resistencia a ciclos de carga y la flexión, que son esenciales en el diseño estructural. Finalmente, no se exploraron posibles tratamientos químicos o mecánicos para mejorar la adherencia de las fibras o partículas de PET con la matriz cementicia, lo que podría optimizar los resultados y ampliar las aplicaciones del material

4.3. Implicancias

Los hallazgos de este estudio tienen importantes implicancias tanto en el ámbito académico como en la práctica de la construcción sostenible. En el ámbito académico, el trabajo amplía el conocimiento sobre el uso de materiales reciclados en el concreto, proporcionando evidencia empírica del impacto que tienen la forma y el porcentaje de PET reciclado sobre la resistencia a la compresión. Este estudio sirve como una base sólida para futuras investigaciones que podrían explorar nuevas configuraciones de PET reciclado, tratamientos de superficie para mejorar su compatibilidad con la matriz del concreto, o incluso su combinación con otros materiales reciclados para obtener un mejor desempeño mecánico y ambiental. En el ámbito práctico, los resultados destacan el potencial de las partículas de PET reciclado como una alternativa eficiente para reforzar el concreto, superando a las fibras en términos de resistencia a la compresión. Esto sugiere que el uso de PET reciclado podría implementarse en proyectos de construcción que buscan reducir el impacto ambiental al disminuir la dependencia de materiales vírgenes y reutilizar desechos plásticos. Además, estos hallazgos promueven la adopción de prácticas constructivas sostenibles que se alinean con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, fomentando una economía circular que prioriza la reutilización de recursos y la reducción de residuos.

4.4. Conclusiones

La forma y el porcentaje de PET reciclado tienen una influencia significativa en la resistencia a la compresión del concreto. Ambos tipos de adición mejoraron esta propiedad, aunque las partículas mostraron un desempeño superior debido a su capacidad

para distribuir uniformemente las cargas internas y aumentar la densidad del material. Esto se debe a que las partículas tienen una forma y granulometría que favorecen su integración en la matriz cementicia, permitiendo una mejor transferencia de esfuerzos y reduciendo la formación de microfisuras. El estudio confirma que las partículas de PET reciclado no solo representan una solución eficiente para mejorar las propiedades mecánicas del concreto endurecido, sino que también promueven la sostenibilidad al reutilizar desechos plásticos, contribuyendo a la reducción del impacto ambiental en la industria de la construcción.

Los resultados evidencian un incremento significativo en la resistencia a la compresión del concreto endurecido al aumentar el porcentaje de partículas de PET reciclado. Con un 1%, 3% y 5% de PET, se alcanzaron resistencias de 254 kg/cm², 273 kg/cm² y 302 kg/cm², incrementos del 20.95%, 30% y 43.81%, respectivamente, frente al grupo control (210 kg/cm²). Este comportamiento confirma que las partículas de PET reciclado mejoran la integración en la matriz cementicia, optimizando la distribución de las cargas internas. Además, estas partículas actúan como microrefuerzos que reducen la propagación de grietas y aumentan la cohesión del material. Este incremento significativo en las propiedades mecánicas del concreto posiciona a las partículas de PET reciclado como un aditivo efectivo para aplicaciones sostenibles en la construcción.

La resistencia a la compresión también aumentó al incorporar fibras de PET reciclado, aunque con valores inferiores a las partículas. Con porcentajes de 1%, 3% y 5%, las fibras lograron resistencias de 242 kg/cm², 255 kg/cm² y 279 kg/cm², lo que equivale a incrementos del 15.24%, 21.43% y 32.86%, respectivamente, en comparación con el grupo control (210 kg/cm²). Este fenómeno se debe a que las fibras, aunque efectivas, tienen una menor capacidad para distribuir las cargas de manera uniforme en

comparación con las partículas. Su comportamiento puede estar relacionado con su geometría, que genera una adherencia limitada a la matriz cementicia, restringiendo su impacto en la resistencia a la compresión. A pesar de ello, las fibras de PET reciclado siguen siendo una alternativa sostenible para mejorar las propiedades del concreto.

Al comparar fibras y partículas, se observó que las partículas generan mayores resistencias en todos los porcentajes evaluados. Con un 5% de PET reciclado, las partículas lograron un incremento del 43.81% en la resistencia a la compresión (302 kg/cm²), mientras que las fibras alcanzaron un aumento del 32.86% (279 kg/cm²) en comparación con el grupo control. Esto se atribuye a la compatibilidad superior de las partículas con la matriz cementicia, lo que mejora significativamente la cohesión interna y la transferencia de esfuerzos. Además, su granulometría facilita una mejor compactación del concreto, incrementando su densidad y resistencia. Estos hallazgos posicionan a las partículas como una alternativa más eficiente y efectiva que las fibras para aplicaciones estructurales que demandan alto rendimiento mecánico y sostenibilidad en la construcción

REFERENCIAS

- Adnan, H. M., y Dawood, A. O. (2020). Strength behavior of reinforced concrete beam using re-cycle of PET wastes as synthetic fibers. *Case Studies in Construction Materials*, 13, e00367. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00367>
- Akcaozoglu, S., Atis, C. D., & Akcaozoglu, K. (2010). An investigation on the use of shredded waste PET bottles as aggregate in lightweight concrete. *Waste Management*, 30(2), 285-290. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.09.033>
- Alam, S. Y., Pellerin, S., & Loukili, A. (2017). Use of recycled plastics in concrete: A critical review. *Construction and Building Materials*, 134, 39-47. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.019>
- Askar, M., Kamaki, Y. y Hassan, A. (2023) Utilizing Polyethylene Terephthalate PET in Concrete: A Review. *Polymers*, 15(15), 3320. <https://doi.org/10.3390/polym15153320>
- Campbell, D. y Stanley, J. (2015). *Experimental and Quasi-Experimental Designs for Research*. Houghton Mifflin Company
- Chen, M., Sun, Z., Tu, W., Yan, X. y Zhang, M. (2021). Behaviour of recycled tyre polymer fibre reinforced concrete at elevated temperatures. *Cement and Concrete Composites*, 124, 104257. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2021.104257>
- Climate of Our Future. (2021). Recycling Plastic Waste In Peru: An Eco-Friendly Solution To An Increasing Problem. *Climate Of Our Future*. <https://www.climateofourfuture.org/recycling-plastic-waste-in-peru-an-eco-friendly-solution-to-an-increasing-problem/>
- Creswell, J. W. (2014). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches* (4th ed.). SAGE Publications
- Fraternali, F., Spadea, S., & Berardi, V. P. (2011). Effects of recycled PET fibers on the

mechanical properties and durability of concrete. *Construction and Building Materials*, 27(1), 92-98. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.08.007>

Gobierno Regional de La Libertad. (2020). Estrategia de gestión de residuos sólidos en Trujillo. https://www.regionlalibertad.gob.pe/gramb/index.php?option=com_content&view=article&id=123%3Agobierno-regional-promueve-adecuada-gestion-de-los-residuos-%20solidos&catid=17%3Arotatornoticias&Itemid=33

Guo, Z., Sun, Q., Zhou, L., Jiang, T., Dong, C. y Zhang, Q. (2024). Mechanical properties, durability and life-cycle assessment of waste plastic fiber reinforced sustainable recycled aggregate self-compacting concrete. *Journal of Building Engineering*, 91, 109683. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.109683>.

Heidari-Rarani, M., Asdollah-Tabar, M. y Mirkhalaf, M. (2023). Experimental investigation and micromechanics-based damage modeling of tensile failure of polymer concrete reinforced with recycled PET bottles. *Engineering Failure Analysis*, 148, 107197. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2023.107197>

Hernández-Sampieri, R. y Mendoza, C. (2018). *Metodología de la Investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill

Islam, J. y Shahjalal, M. (2021). Effect of polypropylene plastic on concrete properties as a partial replacement of stone and brick aggregate. *Case Studies in Construction Materials*, 15 (2021), e00627. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00627>

Jambeck, J., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R. y Law, K. (2023) Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223), 768-771. <https://doi.org/10.3390/su15054114>

Kim, K., Lee, M., Kim, W., Jeong, Y. y Lee, J. (2024). Impact resistance of recycled-PET fiber strengthened wave-dissipating concrete block considering rocking motion. *Ocean Engineering*, 310, 118683. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.118683>

- Mendoza, C., Rodríguez, D., & Romero, J. (2021). Sustainable construction materials in Peru: The role of recycled plastics. *Revista Ingeniería y Sociedad*, 36(3), 123-136
- Ministerio del Ambiente. (2021). Gestión de residuos sólidos en el Perú. Gobierno del Perú. <https://www.minam.gob.pe/gestion-de-residuos-solidos/nueva-ley-de-residuos-solidos/>
- Nematzadeh, M., Shahmansouri, A. A. y Fakoor, M. (2020). Post-fire compressive strength of recycled PET aggregate concrete reinforced with steel fibers: Optimization and prediction via RSM and GEP. *Construction and Building Materials*, 252, 119057. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119057>.
- Neville, A. M., & Brooks, J. J. (2019). *Properties of Concrete*. Pearson.
- Peng, Q., Chen, B., Lu, Q., Li, K. y Jin, W. (2023). Effect of steel-waste PET hybrid fiber on properties of recycled aggregate concrete based on response surface methodology. *Construction and Building Materials*, 397, 132448. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132448>
- Ramirez, W., Mayacela, M., Contreras, L., Shambi, Alejandra., Ramirez, F. y Chacón, J. (2024). Mechanical Properties of Permeable Concrete Reinforced with Polypropylene Fibers for Different Water–Cement Ratios. *Buildings*, 14 (9), 2935. <https://doi.org/10.3390/buildings14092935>
- Revathi, S., Sathis Kumar, P., Suresh, D. y Thowfick Anwar, S. (2023). Behaviour of concrete with PET bottles as fibers & silica fume as partial replacement of cement. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.03.580>
- Rustamov, S., Kim, S., Kwon, M. y Kim, J. (2021). Mechanical behavior of fiber-reinforced lightweight concrete subjected to repeated freezing and thawing. *Construction and Building Materials*, 273 (2021), 121710. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121710>
- Safiuddin, M., Salam, M. A., & Jumaat, M. Z. (2021). Effects of recycled PET plastic

fibers on the mechanical properties of high-strength concrete. *Materials*, 14(16), 4645. <https://doi.org/10.3390/ma14164645>

Shaikh, F. U. A. (2020). Tensile and flexural behaviour of recycled polyethylene terephthalate (PET) fibre reinforced geopolymer composites. *Construction and Building Materials*, 245, 118438. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118438>.

Tang, R., Wei, Q., Zhang, K., Jiang, S., Shen, Z., Zhang, Y. y Chow, C. W. K. (2022). Preparation and performance analysis of recycled PET fiber reinforced recycled foamed concrete. *Journal of Building Engineering*, 57, 104948. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.104948>

UNEP. (2018) Single-use plastics: A roadmap for sustainability. United Nations Environment Programme. <https://www.unep.org/resources/report/single-use-plastics-roadmap-sustainability>

Welcome to the United Nations (2020). *Objetivos de Desarrollo Sostenible: Informe 2020*. Naciones Unidas. https://unstats.un.org/sdgs/report/2020/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2020_Spanish.pdf

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

TITULO	PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLE
<p>Influencia de la forma y porcentaje de PET reciclado sobre la resistencia a la compresión de un concreto endurecido, Trujillo, 2024</p>	<p>Problema general:</p> <p>¿Cuál es la influencia de la forma y porcentaje de PET reciclado sobre la resistencia a la compresión de un concreto endurecido, Trujillo, 2024?</p> <p>Problemas específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuál es el resultado de analizar la variación de la resistencia a la compresión de un concreto endurecido respecto al porcentaje de partículas de PET reciclado, Trujillo, 2024? • ¿Cuál es el resultado de analizar la variación de la resistencia a la compresión de un concreto endurecido respecto al porcentaje de fibras de PET reciclado, Trujillo, 2024? • ¿Cuál es el resultado de comparar la resistencia a la compresión de un concreto endurecido con diferentes porcentajes de fibras y partículas de PET reciclado, 	<p>Objetivo general:</p> <p>Determinar la influencia de la forma y porcentaje de PET reciclado sobre la resistencia a la compresión de un concreto endurecido, Trujillo, 2024</p> <p>Objetivos específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Analizar la variación de la resistencia a la compresión de un concreto endurecido respecto al porcentaje de partículas de PET reciclado, Trujillo, 2024 • Analizar la variación de la resistencia a la compresión de un concreto endurecido respecto al porcentaje de partículas de PET reciclado, Trujillo, 2024 • Comparar la resistencia a la compresión de un concreto endurecido con diferentes porcentajes de fibras y partículas de PET reciclado, Trujillo, 2024 	<p>Hipótesis general</p> <p>La forma y porcentaje de PET reciclado influyen significativamente en resistencia a la compresión de un concreto endurecido, Trujillo, 2024</p>	<p>Variable Dependiente:</p> <p>Resistencia a la compresión de un concreto endurecido</p> <p>Variables independientes:</p> <p>Forma de PET reciclado</p> <p>Porcentaje de PET reciclado</p>

	Trujillo, 2024?		
--	-----------------	--	--

Anexo 2: Matriz de operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA
VI 1: Forma de PET reciclado	Presentación física del PET reciclado, ya sea en partículas o fibras, utilizada como refuerzo en concreto (Autores, 2024)	Se usará el PET reciclado como material de refuerzo en sus formas de fibras o partículas	Forma del refuerzo	Partícula Fibra	Razón
VI 2: Porcentaje de PET reciclado	Proporción en peso de PET reciclado añadida al concreto, expresada generalmente como un porcentaje del material total (Autores, 2024)	Se usará cierta proporción del PET reciclado en relación al peso de la mezcla total	Cantidad	1, 3 y 5%	Razón

<p>VD: Resistencia a la compresión de un concreto endurecido</p>	<p>Capacidad del concreto endurecido para soportar fuerzas de compresión sin fracturarse, medida en kg/cm² o MPa l (Autores, 2024)</p>	<p>Después de 28 días de curado se medirá la resistencia a la compresión de los cilindros de concreto</p>	<p>Propiedad Mecánica</p>	<p>- Resistencia a la compresión</p>	<p>Razón</p>
--	---	---	---------------------------	--------------------------------------	--------------

Anexo 3: Panel fotográfico

Imagen 01: elaboración de probetas



Imagen 02: Probeta con partículas de PET reciclado



Imagen 03: Probeta con fibra de PET reciclado



Anexo 4: Certificado de ensayos



CONSTANCIA DE USO DE LABORATORIOS

El que suscribe, Wesley John Leonardo Carrasco, hace constar por medio de la presente que Junior William Julca Blas con ID CARD N00209054 y Hellen Mishell Rodríguez Narro con ID CARD N00199338, han realizado ensayos en las instalaciones del laboratorio de **Concreto** de esta universidad, requeridos para la tesis ***"INFLUENCIA DE LA FORMA Y PORCENTAJE DE PET RECICLADO SOBRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN CONCRETO ENDURECIDO, TRUJILLO, 2024"***.

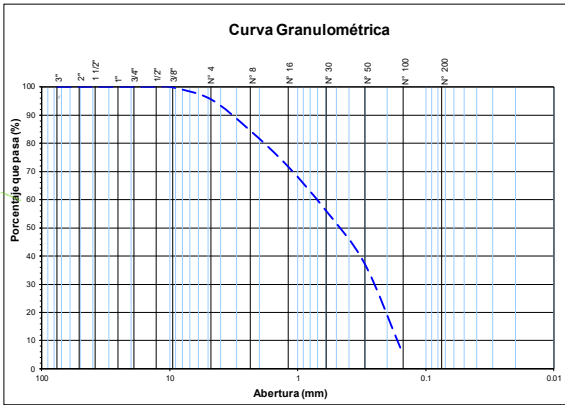
Se expide esta constancia a solicitud de los interesados, para los fines que estimen conveniente.


Trujillo, 28 noviembre de 2024




Wesley J. Leonardo Carrasco
Supervisor de Laboratorios Especializados
de Ingeniería Civil


Anexo 5: Resultados de laboratorio

UPN UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE		REPORTE DE CONTROL DE CALIDAD DE AGREGADOS Análisis Granulométrico de Agregados (NTP 400.012)						
Tesistas: Junior William Julca Blas - Hellen Mishell Rodríguez Narro Tesis: INFLUENCIA DE LA FORMA Y PORCENTAJE DE PET RECICLADO SOBRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN CONCRETO ENDURECIDO, TRUJILLO, 2024								
DATOS DE LA MUESTRA Identificación: Muestra fino Tamaño Max.: Procedencia: El Milagro Tamaño Max. Nominal: Peso Inicial Seco: 498.9 gr.								
Tamiz	Abert. (mm)	Peso Ret. (gr)	% Ret (%)	% Ret. Acum. (%)	% Que Pasa (%)	NTP 400.037 Mínimo Máximo		Descripción de la Muestra Muestreo realizado a pie de obra Características Físicas Módulo de Finura: 2.5 % Mat < Malla 200: % Contenido de Humedad: 2.00 %
3"	75.000		-	-				
2"	50.000		-	-				
1 1/2"	37.500		-	-				
1"	25.000		-	-				
3/4"	19.000		-	-				
1/2"	12.500		-	-				
3/8"	9.500	1.0	0.2	0.2	99.8			
Nº 4	4.750	21.2	4.2	4.4	95.8			
Nº 8	2.360	54.8	11.0	15.4	84.6			
Nº 16	1.180	64.8	13.0	28.4	71.6			
Nº 30	0.600	77.5	15.5	44.0	56.0			
Nº 50	0.300	93.5	18.7	62.7	37.3			
Nº 100	0.150	161.1	32.3	95.0	5.0			
Nº 200	0.075	25.0	5.0	100.0	-			
Fondo		0.4	0.1	100.1	(0)			

		PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN NORMA DE ENSAYO NTP 400.021			
TESIS: INFLUENCIA DE LA FORMA Y PORCENTAJE DE PET RECICLADO SOBRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN CONCRETO ENDURECIDO, TRUJILLO, 2024		Junior William Julca Blas - Hellen Mishell Rodríguez Narro			
TESISTAS:		Junior William Julca Blas - Hellen Mishell Rodríguez Narro			
RESULTADOS DE ENSAYO					
Descripción	U.M	Prueba 1	Prueba 2	Promedio	
Peso de la muestra seca en horno al aire	gr	491.5	490.1		
Peso del pcinometro lleno de agua	gr	1438.8	1438.8		
Peso del pcinometro lleno de muestra de agua	gr	1740.4	1738.9		
Peso de la muestra saturada SSS	gr	500	489.3		
Peso especifico base seca	gr/cm3	2.48	2.47	2.48	
Peso especifico base SSS	gr/cm3	2.52	2.51	2.52	
Absorcion	%	1.7	1.7	1.70	

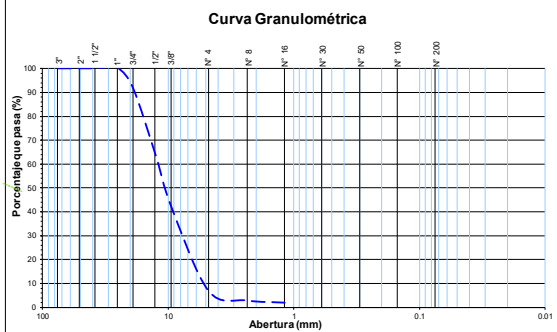

 LUIS ALBERTO ALVA REYES
 Ingeniero Civil
 CIP N° 115238

	PESO UNITARIO SUELO Y COMPACTADO NORMA DE ENSAYO NTP 400.017				
TESIS:	INFLUENCIA DE LA FORMA Y PORCENTAJE DE PET RECICLADO SOBRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN CONCRETO ENDURECIDO, TRUJILLO, 2024				
TESISTAS:	Junior William Julca Blas - Hellen Mishell Rodríguez Narro				
RESULTADOS DE ENSAYO					
Descripción	U.M	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	promedio
Peso de recipiente +muestra suelta	kg	21.54	21.52	21.54	
Peso de recipiente + muestra apisonada	kg	23.28	23.32	23.32	
Peso de recipiente	kg	6.56	6.56	6.56	
Peso de muestra en estado suelto	kg	14.98	14.96	14.98	
Peso de muestra en estado compactado	kg	16.72	16.76	16.76	
Volumen de recipiente	m3	0.0091	0.0091	0.0091	
Peso unitario suelto	kg/m3	1646	1644	1646	1645
Peso unitario compactado	kg/m3	1837	1842	1842	1840

	CONTENIDO DE HUMEDAD NORMA DE ENSAYO NTP 339.185				
TESIS:	INFLUENCIA DE LA FORMA Y PORCENTAJE DE PET RECICLADO SOBRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN CONCRETO ENDURECIDO,				
TESISTAS:	Junior William Julca Blas - Hellen Mishell Rodríguez Narro				
RESULTADOS DE ENSAYO					
Descripción	U.M	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	promedio
Peso de recipiente	gr	0.0	0.0	0.0	
Peso de recipiente + muestra humeda	gr	500.0	500.0	500.0	
Peso de recipiente + muestra seca	gr	489.7	490.7	489.7	
Peso muestra humeda	gr	500.0	500.0	500.0	
Peso muestra seca	gr	489.7	490.7	489.7	
peso de agua	gr	10	9	10	
Contenido de humedad	%	2.1	1.9	2.1	2.0




LUIS ALBERTO ALVA REYES
 Ingeniero Civil
 CIR-Nº 115238


UPN UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE		REPORTE DE CONTROL DE CALIDAD DE AGREGADOS Análisis Granulométrico de Agregados (NTP 400.012)			
Tesistas: Junior William Julca Blas - Hellen Mishell Rodríguez Narro Tesis: INFLUENCIA DE LA FORMA Y PORCENTAJE DE PET RECICLADO SOBRE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN CONCRETO ENDURECIDO, TRUJILLO, 2024					
DATOS DE LA MUESTRA					
Identificación : Muestra grueso Procedencia : El Milagro		Tamaño Max. : 3/4" Tamaño Max. Nominal : 3/4" Peso Inicial Seco : 4995.1 gr.			
Tamiz	Abert. (mm)	Peso Ret. (gr)	% Ret. (%)	% Ret. Acum. (%)	% Que Pasa (%)
NTP 400.037					
Mínimo Máximo					
3"	75.000	-	-	-	-
2"	50.000	-	-	-	-
1 1/2"	37.500	-	-	-	-
1"	25.000	-	-	-	-
3/4"	19.000	408.8	8.2	8.2	91.8
1/2"	12.500	1,420.0	28.4	36.6	63.4
3/8"	9.500	1,038.2	20.8	57.4	42.6
Nº 4	4.750	1,790.4	35.8	93.2	6.8
Nº 8	2.360	196.7	3.9	97.2	2.8
Nº 16	1.180	45.9	0.9	98.1	1.9
Fondo		95.1	1.9	100.0	(0.0)
Descripción de la Muestra Muestreo realizado a pie de obra		Características Físicas Módulo de Finura : 6.54 Met. < Malla 200 : % Contenido de Humedad : 1.10 %			

UPN UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE		PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN NORMA DE ENSAYO NTP 400.021			
TESIS: INFLUENCIA DE LA FORMA Y PORCENTAJE DE PET RECICLADO SOBRE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN CONCRETO ENDURECIDO, TRUJILLO, 2024		TESISTAS: Junior William Julca Blas - Hellen Mishell Rodríguez			
RESULTADOS DE ENSAYO					
Descripcion	U.M	Prueba 1	Prueba 2	Promedio	
Peso de la muestra seca en horno al aire	gr	3078	3329		
Peso de la muestra en estado SSS al aire	gr	3115	3365		
Peso de la muestra saturada en agua	gr	1884	2027		
Peso específico base seca	gr/cm3	2.5	2.49	2.50	
Peso específico base SSS	gr/cm3	2.53	2.51	2.52	
Absorción	%	1.2	1.1	1.15	




LUIS ALBERTO ALVA REYES
 Ingeniero Civil
 CIP-Nº 115238

	PESO UNITARIO SUELO Y COMPACTADO NORMA DE ENSAYO NTP 400.017				
TESIS:	INFLUENCIA DE LA FORMA Y PORCENTAJE DE PET RECICLADO SOBRE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN CONCRETO ENDURECIDO, TRUJILLO, 2024				
TESISTAS:	Junior William Julca Blas - Hellen Mishell Rodríguez Narro				
RESULTADOS DE ENSAYO					
Descripción	U.M	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	promedio
Peso de recipiente +muestra suelta	kg	20.8	20.78	20.84	
Peso de recipiente + muestra apisonada	kg	22.2	22.22	22.22	
Peso de recipiente	kg	6.54	6.54	6.54	
Peso de muestra en estado suelto	kg	14.26	14.24	14.3	
Peso de muestra en estado compactado	kg	15.66	15.68	15.68	
Volumen de recipiente	m3	0.0091	0.0091	0.0091	
Peso unitario suelto	kg/m3	1567	1565	1571	1568
Peso unitario compactado	kg/m3	1721	1723	1723	1722

	CONTENIDO DE HUMEDAD NORMA DE ENSAYO NTP 339.185				
TESIS:	INFLUENCIA DE LA FORMA Y PORCENTAJE DE PET RECICLADO SOBRE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN CONCRETO ENDURECIDO, TRUJILLO, 2024				
TESISTAS:	Junior William Julca Blas - Hellen Mishell Rodríguez Narro				
RESULTADOS DE ENSAYO					
Descripción	U.M	Prueba 1	Prueba 2	Promedio	
Peso de recipiente	gr	283.1	282.6		
Peso de recipiente + muestra humeda	gr	4317.6	4327.4		
Peso de recipiente + muestra seca	gr	4217.9	4283.3		
Peso muestra humeda	gr	4034.5	4044.8		
Peso muestra seca	gr	3988.8	4000.7		
peso de agua	gr	45.7	44.1		
Contenido de humedad	%	1.1	1.1	1.1	


 LUIS ALBERTO ALVA REYES
 Ingeniero Civil
 CIP-N° 115238

 Resistencia a la compresión de concreto ASTM C39						
Tesis	INFLUENCIA DE LA FORMA Y PORCENTAJE DE PET RECICLADO SOBRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN CONCRETO ENDURECIDO, TRUJILLO, 2024					
Tesista	Junior William Julca Blas - Hellen Mishell Rodríguez Narro					
Probeta	Forma	Edad (días)	GC	1%	3%	5%
01	Partícula	28	210	247	275	304
02	Partícula	28	210	254	273	301
03	Partícula	28	210	258	271	300
04	Partícula	28	210	257	270	303
05	Partícula	28	210	252	270	305
06	Partícula	28	210	251	273	304
07	Partícula	28	210	250	278	301
08	Partícula	28	210	254	275	300
09	Partícula	28	210	255	274	302
10	Partícula	28	210	257	271	303

 Resistencia a la compresión de concreto ASTM C39						
Tesis	INFLUENCIA DE LA FORMA Y PORCENTAJE DE PET RECICLADO SOBRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN CONCRETO ENDURECIDO, TRUJILLO, 2024					
Tesista	Junior William Julca Blas - Hellen Mishell Rodríguez Narro					
Probeta	Forma	Edad (días)	GC	1%	3%	5%
01	Fibra	28	210	235	257	281
02	Fibra	28	210	242	254	279
03	Fibra	28	210	246	253	277
04	Fibra	28	210	245	256	276
05	Fibra	28	210	240	258	276
06	Fibra	28	210	239	257	279
07	Fibra	28	210	238	254	284
08	Fibra	28	210	242	253	281
09	Fibra	28	210	243	255	280
10	Fibra	28	210	245	256	277

Anexo 6: Resultados estadísticos

```

ONEWAY Compresion_particula BY Porcentaje_PET
/PLOT MEANS
/MISSING ANALYSIS
/POSTHOC=TUKEY ALPHA(0.05).
  
```

Unidireccional

ANOVA

Compresion_particula

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	45001,800	3	15000,600	2719,142	,000
Dentro de grupos	198,600	36	5,517		
Total	45200,400	39			

Pruebas post hoc

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: Compresion_particula
HSD Tukey

(I) Porcentaje_PET	(J) Porcentaje_PET	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de ... Límite inferior
GC	1%	-43,50000 ^a	1,05040	,000	-46,3290
	3%	-63,00000 ^a	1,05040	,000	-65,8290
	5%	-92,30000 ^a	1,05040	,000	-95,1290
1%	GC	43,50000 ^a	1,05040	,000	40,6710
	3%	-19,50000 ^a	1,05040	,000	-22,3290
	5%	-48,80000 ^a	1,05040	,000	-51,6290
3%	GC	63,00000 ^a	1,05040	,000	60,1710
	1%	19,50000 ^a	1,05040	,000	16,6710
	5%	-29,30000 ^a	1,05040	,000	-32,1290
5%	GC	92,30000 ^a	1,05040	,000	89,4710
	1%	48,80000 ^a	1,05040	,000	45,9710
	3%	29,30000 ^a	1,05040	,000	26,4710

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: Compresion_particula

HSD Tukey

(I) Porcentaje_PET	(J) Porcentaje_PET	Intervalo de ...
		Límite superior
GC	1%	-40,6710
	3%	-60,1710
	5%	-89,4710
1%	GC	46,3290
	3%	-16,6710
	5%	-45,9710
3%	GC	65,8290
	1%	22,3290
	5%	-26,4710
5%	GC	95,1290
	1%	51,6290
	3%	32,1290

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Subconjuntos homogéneos

Compresion_particula

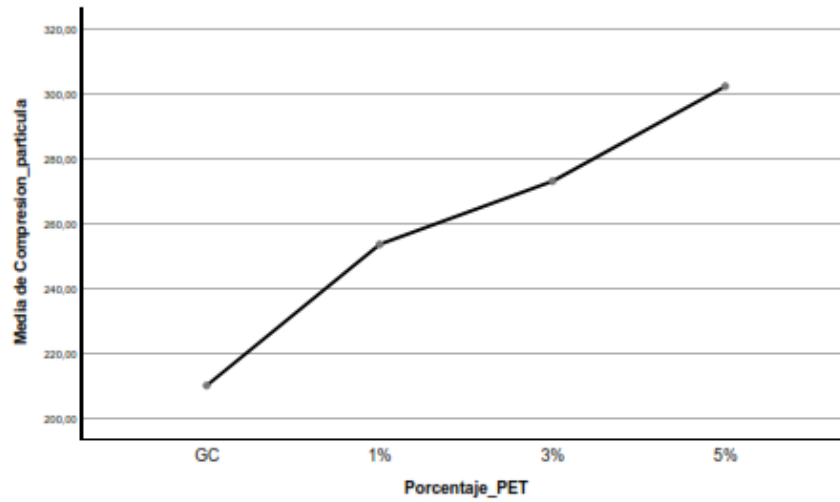
 HSD Tukey^a

Porcentaje_PET	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
GC	10	210,0000			
1%	10		253,5000		
3%	10			273,0000	
5%	10				302,3000
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 10,000.

Gráficos de medias



```
ONEWAY Compresion_fibra BY Porcentaje_PET
/PLOT MEANS
/MISSING ANALYSIS
/POSTHOC=TUKEY ALPHA(0.05).
```

Unidireccional

ANOVA

Compresion_fibra					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	24909,300	3	8303,100	1505,094	,000
Dentro de grupos	198,600	36	5,517		
Total	25107,900	39			

Pruebas post hoc

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: Compresion_tbra
HSD Tukey

(I) Porcentaje_PET	(J) Porcentaje_PET	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de ... Limite inferior
GC	1%	-31,50000 ^a	1,05040	,000	-34,3290
	3%	-45,30000 ^a	1,05040	,000	-48,1290
	5%	-69,00000 ^a	1,05040	,000	-71,8290
1%	GC	31,50000 ^a	1,05040	,000	28,6710
	3%	-13,80000 ^a	1,05040	,000	-16,6290
	5%	-37,50000 ^a	1,05040	,000	-40,3290
3%	GC	45,30000 ^a	1,05040	,000	42,4710
	1%	13,80000 ^a	1,05040	,000	10,9710
	5%	-23,70000 ^a	1,05040	,000	-26,5290
5%	GC	69,00000 ^a	1,05040	,000	66,1710
	1%	37,50000 ^a	1,05040	,000	34,6710
	3%	23,70000 ^a	1,05040	,000	20,8710

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: Compresion_tbra
HSD Tukey

(I) Porcentaje_PET	(J) Porcentaje_PET	Intervalo de ... Límite superior
GC	1%	-28,6710
	3%	-42,4710
	5%	-66,1710
1%	GC	34,3290
	3%	-10,9710
	5%	-34,6710
3%	GC	48,1290
	1%	16,6290
	5%	-20,8710
5%	GC	71,8290
	1%	40,3290
	3%	26,5290

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Subconjuntos homogéneos

Compresion_fibra

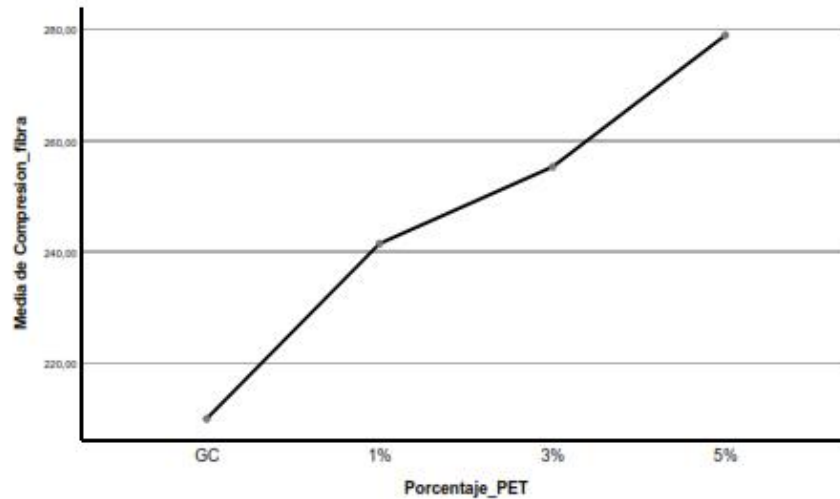
HSD Tukey^a

Porcentaje PET	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
GC	10	210,0000			
1%	10		241,5000		
3%	10			255,3000	
5%	10				279,0000
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 10,000.

Gráficos de medias



```
ONEWAY Compresion_particula Compresion_fibra BY Porcentaje_PET
/PLOT MEANS
/MISSING ANALYSIS
/POSTHOC=TUKEY ALPHA(0.05).
```

Unidireccional

ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F
Compresion_particula	Entre grupos	45001,800	3	15000,600	2719,142
	Dentro de grupos	198,600	36	5,517	
	Total	45200,400	39		
Compresion_fibra	Entre grupos	24909,300	3	8303,100	1505,094
	Dentro de grupos	198,600	36	5,517	
	Total	25107,900	39		

ANOVA

		Sig.
Compresion_particula	Entre grupos	,000
	Dentro de grupos	
	Total	
Compresion_fibra	Entre grupos	,000
	Dentro de grupos	
	Total	

Pruebas post hoc

Comparaciones múltiples

HSD Tukey

Variable dependiente	(I) Porcentaje_PET	(J) Porcentaje_PET	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	
Compresion_particula	GC	1%	-43,50000*	1,05040	
		3%	-63,00000*	1,05040	
		5%	-92,30000*	1,05040	
	1%	GC	43,50000*	1,05040	
		3%	-19,50000*	1,05040	
		5%	-48,80000*	1,05040	
	3%	GC	63,00000*	1,05040	
		1%	19,50000*	1,05040	
		5%	-29,30000*	1,05040	
	5%	GC	92,30000*	1,05040	
		1%	48,80000*	1,05040	
		3%	29,30000*	1,05040	
	Compresion_fibra	GC	1%	-31,50000*	1,05040
			3%	-45,30000*	1,05040
			5%	-69,00000*	1,05040
1%		GC	31,50000*	1,05040	
		3%	-13,80000*	1,05040	
		5%	-37,50000*	1,05040	
3%		GC	45,30000*	1,05040	
		1%	13,80000*	1,05040	
		5%	-23,70000*	1,05040	
5%		GC	69,00000*	1,05040	
		1%	37,50000*	1,05040	
		3%	23,70000*	1,05040	

Comparaciones múltiples

HSD Tukey

Variable dependiente	(I) Porcentaje_PET	(J) Porcentaje_PET	Sig.	Intervalo de ... Límite inferior
Compresion_particula	GC	1%	,000	-46,3290
		3%	,000	-65,8290
		5%	,000	-95,1290
	1%	GC	,000	40,6710
		3%	,000	-22,3290
		5%	,000	-51,6290
	3%	GC	,000	60,1710
		1%	,000	16,6710
		5%	,000	-32,1290
	5%	GC	,000	89,4710
		1%	,000	45,9710
		3%	,000	26,4710
Compresion_fibra	GC	1%	,000	-34,3290
		3%	,000	-48,1290
		5%	,000	-71,8290
	1%	GC	,000	28,6710
		3%	,000	-16,6290
		5%	,000	-40,3290
	3%	GC	,000	42,4710
		1%	,000	10,9710
		5%	,000	-26,5290
	5%	GC	,000	66,1710
		1%	,000	34,6710
		3%	,000	20,8710

Comparaciones múltiples

HSD Tukey

Variable dependiente	(I) Porcentaje_PET	(J) Porcentaje_PET	Intervalo de ...
			Límite superior
Compresion_particula	GC	1%	-40,6710
		3%	-60,1710
		5%	-89,4710
	1%	GC	46,3290
		3%	-16,6710
		5%	-45,9710
	3%	GC	65,8290
		1%	22,3290
		5%	-26,4710
	5%	GC	95,1290
		1%	51,6290
		3%	32,1290
Compresion_fibra	GC	1%	-28,6710
		3%	-42,4710
		5%	-66,1710
	1%	GC	34,3290
		3%	-10,9710
		5%	-34,6710
	3%	GC	48,1290
		1%	16,6290
		5%	-20,8710
	5%	GC	71,8290
		1%	40,3290
		3%	26,5290

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Subconjuntos homogéneos

Compresion_particula

 HSD Tukey^a

Porcentaje_PET	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
GC	10	210,0000			
1%	10		253,5000		
3%	10			273,0000	
5%	10				302,3000
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 10,000.

Compresion_fibra

 HSD Tukey^a

Porcentaje_PET	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
GC	10	210,0000			
1%	10		241,5000		
3%	10			255,3000	
5%	10				279,0000
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 10,000.

Gráficos de medias

