

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
FACULTAD DE INGENIERÍA**



**UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
INFLUENCIA DE FIBRAS GEOMETRICAS DE TEREFTALATO
DE POLIETILENO EN LA RESISTENCIA AL CONCRETO $F'C=210$
KG/CM², JAÉN-2025**

TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

Autor: Bach. Rony Aldair Rojas Fernández

Asesores: Mg. Billy Alexis Cayatopa Calderón

Dr. José Luis Piedra Tineo

Línea de investigación: LI_IC_01 ESTRUCTURAS

JAÉN – PERÚ

2026

13% Similitud general

Plagio detectado en el documento

Sección

Comentarios

Sección principal

Sección de temas

Sección de temas


Sección de temas


Sección de temas

Sección de temas

Rony Aldair Rojas Fernández

INFLUENCIA DE FIBRAS GEOMETRICAS DE TEREFTALATO DE POLIETILENO EN LA RESISTENCIA AL CONCRETO FC=210 KG...

 Prueba 1

 Proyectos

 Universidad Nacional de Jaen

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::1:3511539628

111 páginas

Fecha de entrega

19 mar 2026, 11:50 a.m. GMT-5

23.658 palabras

129.217 caracteres

Fecha de descarga

19 mar 2026, 11:58 a.m. GMT-5

Nombre del archivo

INFLUENCIA_DE_FIBRAS_GEOMETRICAS_DE_TEREFTALATO_DE_POLIETILENO_EN_LA_RESISTENCIA_....pdf

Tamaño del archivo

2.2 MB

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Dr. Christiaan Zayed Apaza Panca
RESPONSABLE DE LA UNIDAD DE INVESTIGACION
DE LA FACULTAD DE INGENIERIA




13% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

- 10%  Fuentes de Internet
- 3%  Publicaciones
- 6%  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.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Dr. Christian Zayed Apaza Panca
RESPONSABLE DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Ley de Creación N° 29304

Universidad Licenciada con Resolución del Consejo Directivo N° 002-2018-
SUNEDU/CD



FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 30 de marzo del año 2026, siendo las 17:00 horas, se reunieron de manera presencial los integrantes del Jurado:

Presidente : Mg. Edinson Viamney Llamo Goicochea

Secretario : Dr. Manuel Emilio Milla Pino

Vocal : Dr. Fernando Demetrio Llatas Villanueva

Para evaluar la Sustentación del **Informe Final**:

() Trabajo de Investigación

(**X**) Tesis

() Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado:

"INFLUENCIA DE FIBRAS GEOMETRICAS DE TEREFTALATO DE POLIETILENO EN LA RESISTENCIA AL CONCRETO $F'_{C}=210$ KG/CM², JAÉN-2025", presentado por, *Rony Aldair Rojas Fernández*, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

(**X**) Aprobar () Desaprobar (**X**) Unanimidad () Mayoría

Con la siguiente mención:

- | | | |
|----------------|------------|---------------|
| a) Excelente | 18, 19, 20 | () |
| b) Muy bueno | 16, 17 | () |
| c) Bueno | 14, 15 | (15) |
| d) Regular | 13 | () |
| e) Desaprobado | 12 ò menos | () |

Siendo las 18:00 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.

Mg. Edinson Viamney Llamo Goicochea
Presidente

Dr. Manuel Emilio Milla Pino
Secretario

Dr. Fernando Demetrio Llatas Villanueva
Vocal

“Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia”

ANEXO N°06:

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO DE LA TESIS (PREGRADO)

Yo, Rony Aldair Rojas Fernández, bachiller de la carrera Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jaén, identificado con DNI 71224839.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy Autor del trabajo titulado:

“Influencia de fibras geométricas de tereftalato de polietileno en la resistencia al concreto $f'c=210$ kg/cm², Jaén-2025”.

Asesorado por Mg. Billy Alexis Cayatopa Calderón y Dr. José Luis Piedra Tineo.

El mismo que presento bajo la modalidad de tesis para optar; el Título Profesional de Ingeniero Civil.

2. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En el sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
3. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.
4. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.
5. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.
6. Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Nacional de Jaén y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Jaén, 12 de junio del 2026



Rony Aldair Rojas Fernandez

INDICE

INDICE DE TABLAS.....	iv
INDICE DE FIGURAS.....	vi
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT.....	ix
I. INTRODUCCIÓN	10
1.1. Realidad Problemática	10
1.2. Justificación	12
1.3. Antecedentes	13
1.4. Objetivos	19
II. MATERIALES Y MÉTODOS	21
2.1. Objetivo de Estudio.....	21
2.2. Ubicación Geográfica	21
2.3. Población, Muestra y Muestreo	21
2.4. Hipótesis	25
2.5. Variables de Estudio	25
2.6. Métodos, técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos	25
2.7. Análisis de Datos	69
III. RESULTADOS	70
3.1. Evaluar la influencia de fibras geométricas de tereftalato de polietileno en la resistencia al concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$, Jaén 2025.	70
3.2. Medir la resistencia a compresión y flexión del concreto sustituyendo fibras geométricas PET respecto al agregado fino.	71
3.3. Comparar la resistencia a compresión y flexión del concreto patrón y con el concreto con fibras geométricas PET.....	88
3.4. Determinar la resistencia optima a partir de los ensayos y métodos estadísticos.....	90
IV. DISCUSIÓN	101
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	103
5.1. Conclusiones	103
5.2. Recomendaciones	105

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	106
AGRADECIMIENTO	111
DEDICATORIA.....	112
ANEXOS.....	113

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Muestra de especímenes con fibras geométricas PET para el ensayo de compresión....	24
Tabla 2 Muestra de especímenes con fibras geométricas PET para el ensayo de flexión	24
Tabla 3 Materiales e insumos usados para la obtención de las fibras geométricas PET	27
Tabla 4 Materiales y equipos usados en la ejecución de los ensayos	29
Tabla 5 Normativas de los ensayos para determinar las propiedades físico-mecánicas de los agregados	37
Tabla 6 Normativas de los ensayos para determinar las propiedades físicas del concreto fresco	49
Tabla 7 Resistencia promedio a la compresión requerida para diseño según resistencia especificada.....	50
Tabla 8 Relación entre consistencia, asentamiento y trabajabilidad del concreto	51
Tabla 9 Numero de capas y golpes requeridos para la compactación de especímenes según dimensiones.....	51
Tabla 10 Clasificación del concreto según tamaño máximo de agregado y sus usos.....	52
Tabla 11 Volumen de agua de mezclado para concreto con y sin aire incorporado según asentamiento y tamaño máximo de agregado	53
Tabla 12 Relación a/c y resistencia a la compresión a 28 días para concreto con y sin aire incorporado	54
Tabla 13 Contenido de aire atrapado en concreto según tamaño máximo nominal del agregado	55
Tabla 14 Volumen de agregado grueso compactado por unidad de volumen de concreto según tamaño máximo nominal y módulo de finura del agregado fino	56
Tabla 15 Normativas del ensayo para determinar las propiedades mecánicas del concreto endurecido.....	65
Tabla 16 Edades de ensayo y tolerancias permisibles para la prueba de resistencia a la compresión.....	67
Tabla 17 Resumen de los resultados obtenidos	70
Tabla 18 Análisis estadístico de la investigación.....	71
Tabla 19 Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de los especímenes de concreto con sustitución de forma geométrica zigzag 0%, 2%, 5% y 7% respecto al agregado fino.	72
Tabla 20 Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de los especímenes de concreto con sustitución de forma geométrica rombo 0%, 2%, 5% y 7% respecto al agregado fino.	74

Tabla 21 Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de los especímenes de concreto con sustitución de forma geométrica circular 0%, 2%, 5% y 7% respecto al agregado fino.	76
Tabla 22 Resultados promedio del ensayo de resistencia a la compresión de los especímenes de concreto con sustitución de forma geométrica 0%, 2%, 5% y 7% respecto al agregado fino.	78
Tabla 23 Resultados del ensayo de resistencia a la flexión de las vigas de concreto con sustitución de forma geométrica zigzag 0%, 2%, 5% y 7% respecto al agregado fino.	80
Tabla 24 Resultados del ensayo de resistencia a la flexión de las vigas de concreto con sustitución de forma geométrica rombo 0%, 2%, 5% y 7% respecto al agregado fino.	82
Tabla 25 Resultados del ensayo de resistencia a la flexión de las vigas de concreto con sustitución de forma geométrica circular 0%, 2%, 5% y 7% respecto al agregado fino.	84
Tabla 26 Resultados promedio del ensayo de resistencia a flexión de los especímenes de concreto con sustitución de forma geométrica 0%, 2%, 5% y 7% respecto al agregado fino.	86
Tabla 27 Valores de Resistencia Mecánica del Concreto en Función de la Forma Interna y el Porcentaje de Modificación	88
Tabla 28 Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para la resistencia a la compresión según el porcentaje de sustitución y forma de la fibra geométrica PET	91
Tabla 29 Análisis de varianza (ANOVA) para la resistencia a la compresión en función del porcentaje de sustitución del agregado fino con fibras geométricas PET	93
Tabla 30 Prueba post hoc (Tunkey)	94
Tabla 31 Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para la resistencia a la flexión según el porcentaje de sustitución y forma de la fibra geométrica PET	96
Tabla 32 Análisis de varianza (ANOVA) para la resistencia a la flexión en función del porcentaje de sustitución del agregado fino con fibras geométricas PET	98
Tabla 33 Prueba POST HOC	99

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Forma geométrica Zigzag.....	22
Figura 2 Forma geométrica rombo	23
Figura 3 Forma geométrica circular.....	23
Figura 4 Recolección de materiales del agregado fino	30
Figura 5 Recolección de materiales del agregado grueso.....	31
Figura 6 Recolección de materiales de cemento.....	31
Figura 7 Recolección de materiales de las fibras geométricas PET	32
Figura 8 Normas técnicas peruanas e internacionales	33
Figura 9 Recolección de plástico PET.....	35
Figura 10 Elaboración de las fibras geométricas PET	36
Figura 11 Lavado y desinfección de las fibras geométricas PET	37
Figura 12 Ensayo de resistencia a la abrasión del agregado grueso mediante la máquina de Los Ángeles (Arenera Jaén).....	39
Figura 13 Ensayo de resistencia a la abrasión del agregado grueso mediante la máquina de Los Ángeles (Josecito).....	40
Figura 14 Análisis granulométrico del agregado grueso	41
Figura 15 Análisis granulométrico del agregado fino	42
Figura 16 Procedimiento del Ensayo de Contenido de Humedad de Agregado Grueso	43
Figura 17 Determinación del peso específico y absorción del agregado fino	45
Figura 18 Determinación del peso específico y absorción del agregado grueso	47
Figura 19 Determinación del peso unitario suelto de agregados fino.....	48
Figura 20 Determinación del peso unitario suelto de agregados grueso	49
Figura 21 Ensayo de Asentamiento del Concreto o Slump	59
Figura 22 Ensayo de Contenido de Aire.....	61
Figura 23 Ensayo de Temperatura de la Mezcla.....	62
Figura 24 Ensayo de Peso Unitario del Concreto Fresco	63
Figura 25 Elaboración de los especímenes	65
Figura 26 Ensayo de Resistencia a la Compresión	67
Figura 27 Ensayo de Resistencia a la Flexión	69

Figura 28 Variación de la resistencia a compresión del concreto con sustitución con fibra PET en forma zigzag a los 28 días.....	73
Figura 29 Variación de la resistencia a compresión del concreto con sustitución con fibra PET en forma rombo a los 28 días.....	75
Figura 30 Variación de la resistencia a compresión del concreto con sustitución con fibra PET en forma circular a los 28 días.....	77
Figura 31 Variación de la resistencia promedio a la compresión del concreto con sustitución con fibra PET a los 28 días.....	79
Figura 32 Variación de la resistencia a la flexión del concreto con sustitución con fibra PET en forma zigzag a los 28 días.....	81
Figura 33 Variación de la resistencia a la flexión del concreto con sustitución con fibra PET en forma rombo a los 28 días.....	83
Figura 34 Variación de la resistencia a la flexión del concreto con sustitución con fibra PET en forma circular a los 28 días.....	85
Figura 35 Variación de la resistencia promedio a la flexión del concreto con sustitución con fibra PET a los 28 días.....	87
Figura 36 Diagrama de cajas y bigotes de la distribución de datos de resistencia a la compresión según el porcentaje de sustitución del agregado fino con fibras geométricas PET	95
Figura 37 Diagrama de cajas y bigotes de la distribución de datos de resistencia a la flexión según el porcentaje de sustitución del agregado fino con fibras geométricas PET	100

RESUMEN

Esta investigación experimental evaluó la influencia de fibras geométricas de tereftalato de polietileno (PET) en formas zigzag, rombo y circular como sustituto parcial del agregado fino (en 0%, 2%, 5% y 7%) en la resistencia del concreto $f'_c=210$ kg/cm² en Jaén, 2025. Los resultados demostraron que la sustitución del 2% con fibras circulares produjo la máxima resistencia a compresión (281.42 kg/cm²), superando en un 5.2% al concreto patrón (267.50 kg/cm²), mientras que con fibras zigzag se logró la máxima resistencia a flexión (56.27 kg/cm²), representando un incremento del 7.0% respecto al patrón (52.59 kg/cm²). Por el contrario, los porcentajes del 5% y 7% generaron pérdidas significativas, con resistencias a compresión que cayeron hasta 165.29 kg/cm² (zigzag 7%) y a flexión hasta 23.79 kg/cm² (circular 7%), reducciones superiores al 30% y 55%, respectivamente. El análisis estadístico (ANOVA) confirmó que tanto la forma geométrica como el porcentaje de sustitución tienen un efecto estadísticamente significativo ($p < 0.001$) en las propiedades mecánicas. Se concluye que el 2% es el porcentaje óptimo para la incorporación de fibras geométricas de PET, validándose parcialmente la hipótesis de un incremento del 5% solo para la flexión con fibra zigzag, y se recomienda enfáticamente evitar sustituciones superiores al 2% para no comprometer la integridad estructural del concreto.

Palabras clave: Fibras PET, Resistencia a compresión, Resistencia a flexión, Sustitución de agregado fino, Dosificación.

ABSTRACT

This experimental research evaluated the influence of geometric polyethylene terephthalate (PET) fibers in zigzag, rhombus, and circular shapes as a partial substitute for fine aggregate (at 0%, 2%, 5%, and 7%) on the strength of concrete $f'_c=210$ kg/cm² in Jaén, 2025. The results showed that the 2% replacement with circular fibers produced the maximum compressive strength (281.42 kg/cm²), exceeding the standard concrete (267.50 kg/cm²) by 5.2%, while zigzag fibers achieved the maximum flexural strength (56.27 kg/cm²), representing a 7.0% increase over the standard (52.59 kg/cm²). In contrast, the 5% and 7% percentages generated significant losses, with compressive strengths falling to 165.29 kg/cm² (zigzag 7%) and flexural strengths to 23.79 kg/cm² (circular 7%), reductions of more than 30% and 55%, respectively. Statistical analysis (ANOVA) confirmed that both the geometric shape and the percentage of substitution have a statistically significant effect ($p < 0.001$) on the mechanical properties. It is concluded that 2% is the optimal percentage for the incorporation of geometric PET fibers, partially validating the hypothesis of a 5% increase only for flexure with zigzag fiber, and it is strongly recommended to avoid substitutions greater than 2% so as not to compromise the structural integrity of the concrete.

Keywords: PET fibers, Compressive strength, Flexural strength, Fine aggregate replacement, Dosage.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática

En el contexto mundial, los plásticos constituyen el 3.4% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, la fabricación de plásticos se cuadruplicó hasta llegar a los 460 millones de toneladas entre 2000 y 2019. Solo el 9% de los desechos plásticos se recicla, mientras que el 19% es incinerado, el 50% termina en vertederos controlados y el 22% evade los sistemas de gestión, depositándose en basurales clandestinos, quemándose al aire libre o acumulándose en entornos terrestres y acuáticos, se estima que 109 millones de toneladas de residuos plásticos se han acumulado en los ríos, y se estima que actualmente existen 30 millones de toneladas de plástico en los mares y océanos (OCDE, 2024). Asimismo, el acelerado crecimiento demográfico y el aumento en el consumo de productos plásticos han dado lugar a una crisis ambiental sin precedentes. La producción mundial de plásticos ha superado los 400 millones de toneladas anuales, y se proyecta que esta cifra continuará en ascenso. Paralelamente, el sector de la construcción continúa demandando grandes cantidades de materiales no renovables, como los agregados naturales, cuya explotación impacta negativamente en el medio ambiente. Aunque se han realizado investigaciones sobre el uso de plásticos reciclados como reemplazo parcial de agregados en mezclas de concreto y otros materiales constructivos, su aplicación práctica aún es limitada y poco documentada en contextos locales. Esta falta de integración entre la gestión de residuos plásticos y su aprovechamiento como recurso en la construcción representa una oportunidad de innovación con beneficios tanto ambientales como económicos (Ahmed & Ali, 2023).

A nivel nacional cada año se generan 267 mil toneladas de plástico PET, de las cuales el 72% (191 mil toneladas) termina como residuo en menos de un año, de ese total, solo el 22% (42 mil toneladas) es reciclado (Diario Correo, 2020, 11 de marzo). Esta cantidad equivale a 1,784,753 barriles de petróleo, suficientes para abastecer de combustible a 10,500 vehículos durante el mismo periodo (Pontificia Universidad Católica del Perú, 2016). Desde 2013 hasta 2018, la fabricación de productos plásticos en el país experimentó un incremento del 11.2%, lo que equivale a una tasa de incremento anual valor medio del 2.2% (IEES, 2019). Además, en el Perú solo hay 12 rellenos sanitarios lícitos, lo que provoca que cerca del 90% de los residuos generados terminen en botaderos informales, cuyo número asciende a aproximadamente 1,850 (Gestión, 2017). Si bien es

cierto existe la promulgación de la ley Nro. 30884, aprobada en 2018, la industria del plástico ha ido creciendo, según INEI, en 2015, existían 1,844 empresas en este sector y para el año 2022 había 2,795 empresas registradas, muchas de estas se dedican exclusivamente a la producción y comercialización de plásticos de un solo uso, por lo que necesitan de unos lineamientos claros, pues las empresas carecen de claridad para adaptarse a las nuevas normativas, lo que puede retrasar la transición hacia alternativas más sostenibles (Cambios, 2024).

A nivel local se ha determinado que en lo referente al destino final de los residuos sólidos municipales recolectados en la región Cajamarca el 81,9% termina en botaderos; 20,5% relleno sanitario; 13,4 % son reciclados; 7,1% son quemados y/o incinerados y sólo un 3,9% termina en compostajes, plantas de tratamiento y celda transitoria. Se ha determinado que 0,12% de municipalidades de la región Cajamarca cuenta con infraestructura de disposición final para los residuos sólidos recolectados, el 4,7% cuentan con rellenos sanitarios, el 42,06% de residuos son dispuestos adecuadamente, el 57,94% son dispuestos inadecuadamente y el 100% de áreas están degradadas para la recuperación (Sánchez et al., 2023). En la ciudad de Jaén también enfrenta desafíos similares debido a las limitaciones en las propiedades mecánicas del concreto utilizado en sus construcciones, lo que resalta la presencia de botellas PET en las calles, desechadas diariamente sin consideración por las consecuencias futuras. Se estima que el 60% de la población tiende a desecharlas de forma indiscriminada, mientras que el 24% las regala, el 11% las vende, el 3% las intercambia por otros bienes, el 1% las quema y el 1% las reutiliza (Castillo & Flores, 2024). La mayoría del PET utilizado en la construcción proviene de desechos no reciclados, lo que contribuye a la contaminación ambiental, especialmente en áreas rurales. Además, la fabricación de PET sigue siendo una de las principales causas de contaminación, lo que afecta a la calidad del aire y del suelo. Aunque existen algunas iniciativas para incorporar plásticos reciclados en proyectos de construcción, como el uso de bloques o pavimentos de PET, la escasa implementación y el costo elevado de estas tecnologías limitan su expansión.

1.1.1. Formulación del Problema

¿Cuál será la influencia de fibras geométricas de tereftalato de polietileno en la resistencia al concreto $f'c$ 210 kg/cm², Jaén - 2025?

1.2. Justificación

Esta investigación surge ante el escaso conocimiento sobre el uso de fibras geométricas de PET como material alternativo en la construcción, buscando aprovechar su potencial para mejorar las propiedades mecánicas del concreto. El estudio se centra en evaluar y comparar técnicamente su comportamiento frente al concreto convencional, garantizando el rigor científico y la validez de los resultados al alinearse con la Norma Técnica Peruana E.060 y estándares internacionales.

Desde el enfoque científico, la investigación aporta evidencia experimental sobre el uso de materiales reciclados en la ingeniería civil, contribuyendo al desarrollo de nuevas tecnologías constructivas sostenibles. Diversos estudios han demostrado que la incorporación controlada de PET puede influir significativamente en la resistencia mecánica del concreto, dependiendo del porcentaje de sustitución y su geometría (Kangavar et al., 2023). En ese sentido, este trabajo permite ampliar el conocimiento existente y validar resultados en el contexto local de Jaén.

En el ámbito ambiental, el estudio se fundamenta en la necesidad de reducir el impacto negativo generado por los residuos plásticos, fomentando su reincorporación en procesos productivos. La reutilización del PET en el concreto representa una estrategia viable para disminuir la contaminación ambiental, promover la economía circular y optimizar el uso de recursos naturales en la industria de la construcción (OCDE, 2024).

Desde la perspectiva social, esta investigación tiene un impacto positivo al promover el uso de materiales reciclados accesibles, lo cual puede reducir costos en la construcción y generar oportunidades económicas vinculadas al reciclaje. Además, contribuye a mejorar la calidad de vida al fomentar infraestructuras más sostenibles y resilientes, así como una mayor conciencia ambiental en la población, especialmente en contextos locales como la ciudad de Jaén, donde el manejo inadecuado de residuos sólidos es un problema significativo (Sánchez et al., 2023).

Asimismo, la presente investigación representa un avance tecnológico relevante con el potencial de transformar el sector de la construcción mediante la incorporación de fibras geométricas de tereftalato de polietileno (PET) en el concreto, ya que diversos estudios evidencian que el uso de materiales reciclados permite mejorar el desempeño del concreto y optimizar sus propiedades mecánicas cuando se emplean en proporciones adecuadas (Ahmed & Ali, 2023).

1.3. Antecedentes

1.3.1. *A Nivel Internacional*

Espindola et al. (2024), plantearon como objetivo investigar el impacto de la sustitución parcial del agregado fino en concreto estructural por tereftalato de polietileno reciclado (R-PET) en diversas proporciones. La metodología utilizada fue experimental, ya que se trituró y molió el R-PET hasta obtener partículas homogéneas de tamaños similares al agregado fino (0.25-0.45 mm). Como resultado, se observó que el concreto con un 5% de R-PET (C-P5) mostró mejoras significativas, presentando una resistencia a la compresión un 20% superior que la muestra en mención. Se concluyó que la adición de partículas de R-PET con una granulometría homogénea cercana a la del agregado fino ($\approx 0,35$ mm) incrementó considerablemente las resistencias a compresión y flexión. La muestra C-P5 exhibió una resistencia a la compresión superior aproximadamente 20% en comparación con la muestra de referencia (C-R), y fue alrededor de un 80% mayor que el valor esperado (40 MPa). Además, en la misma muestra, la resistencia a la flexión fue un 30% superior a la de C-R (4,6 MPa) y un 41,5% mayor que el valor estimado para este tipo de concreto (4,1 MPa).

Kangavar et al. (2023), propusieron como objetivo el desarrollo de un concreto sostenible utilizando gránulos reciclados de tereftalato de polietileno (PET) como agregado fino. La metodología empleada fue experimental, en la que se examinó el desempeño del concreto sostenible al incorporar gránulos de PET como reemplazo volumétrico parcial de arena en proporciones del 0%, 10%, 30% y 50%. Los resultados alcanzados mostraron resistencias a la compresión de 31.8 MPa, 33.6 MPa, 30.3 MPa y 26.4 MPa, respectivamente, según los porcentajes de sustitución. Se concluyó que la integración de agregados de PET al 10% incrementó las resistencias a la compresión del concreto, gracias a la flexibilidad y a la dispersión de los agregados en la mezcla. Sin embargo, el rendimiento disminuyó a niveles más altos de reemplazo debido al aumento de la porosidad asociado con un mayor porcentaje de agregado de PET.

Qaidi et al. (2022), formularon como objetivo evaluar la posibilidad de utilizar concreto con agregados de tereftalato de polietileno reciclado (PET) como sustituto parcial de los agregados finos para aplicaciones estructurales. La metodología fue experimental dado que se prepararon mezclas de concreto reemplazando 0%, 25% y 50% del agregado fino con partículas de PET

reciclado. Se obtuvo como resultado que al 25% de reemplazo, la resistencia se redujo entre 25% y 43%, dependiendo de la relación agua-cemento. Se concluyó que el concreto con PET reciclado puede ser utilizado para aplicaciones estructurales si se combina con confinamiento mediante CFRP, logrando recuperar gran parte de la resistencia perdida. Es posible sustituir hasta un 50% del agregado fino con PET en concreto confinado, promoviendo el uso de materiales sostenibles.

Alrshoudi et al. (2022), tuvieron como objetivo evaluar el impacto de la sustitución parcial de arena natural por polipropileno reciclado (rPP) como agregado fino en morteros de cemento. La metodología empleada fue experimental, utilizando diferentes porcentajes de rPP como sustituto del agregado fino en niveles del 10%, 20%, 30%, 40% y 50%. Los resultados mostraron que la resistencia a la compresión de la mezcla de concreto disminuyó en un 61,2%, 69,2% y 74,8% para las mezclas que contenían un 30%, 40% y 50% de rPP, respectivamente. Se concluyó que el uso de rPP como sustituto parcial es factible para aplicaciones no estructurales o de carga ligera en la construcción, tales como pavimentos o muros no portantes. Se recomendó limitar el reemplazo al 10% para mantener propiedades mecánicas aceptables, alcanzando una resistencia a la compresión de 25 MPa.

Dawood et al. (2021), formularon como objetivo las propiedades físicas y mecánicas del hormigón que contiene desechos de PET como reemplazo parcial de agregados finos. La metodología consistió en estudiar el efecto de la utilización de distintos porcentajes de residuos de PET cortados y triturados por máquinas especiales como sustituto parcial de los agregados finos en el concreto. Se obtuvo como resultado los incrementos de 34,03%, 42,16% y 28,31% en las muestras con porcentajes de residuos PET de 5%, 7,5% y 10%, respectivamente, a los 28 días. Se concluye que las resistencias a compresión, a tracción y a flexión aumentan con el incremento del porcentaje de residuos de PET hasta el 12,5%. El porcentaje óptimo de sustitución es del 7,5 %, en el que las resistencias a la compresión, a la tracción por división y a la flexión aumentan un 43,64 %, un 26,9 % y un 30,2 %, respectivamente, en comparación con la mezcla de referencia.

1.3.2. A Nivel Nacional

Peña & Tufino (2023), plantearon como objetivo de este estudio demostrar experimentalmente que la incorporación de fibras PET en zigzag y rugosas al concreto mejoraría sus propiedades mecánicas en comparación con el concreto simple y con el concreto que contenía

fibras PET lisas y rectas. La metodología empleada fue exploratoria, experimental y explicativa, ya que se buscaba examinar diversas investigaciones para obtener resultados que respaldaran la hipótesis planteada. Los resultados obtenidos indicaron que, con una proporción de 4 kg/m^3 , la resistencia a la compresión se redujo aproximadamente en un 5%. En el caso del concreto con fibras en una proporción de 8 kg/m^3 , la reducción de la resistencia a compresión fue mayor para las fibras zigzag (onduladas), rugosas y lisas, alcanzando alrededor del 10%. Por otro lado, el uso de fibras zigzag (onduladas) lisas produjo una reducción de la resistencia a la compresión de aproximadamente un 5%. Se concluyó que la adición de fibras de PET reciclado al concreto reduce su resistencia mecánica respecto al concreto patrón; sin embargo, las fibras en zigzag y rugosas mejoran significativamente la adherencia con la matriz cementicia, superando en desempeño a las fibras rectas y lisas. Se observó mejor comportamiento en proporciones de 4 kg/m^3 que en 8 kg/m^3 . Además, el uso de PET reciclado contribuye a la sostenibilidad ambiental y genera un ahorro económico de hasta S/. 96 por m^3 en comparación con fibras industriales.

Davila (2023), tuvo como objetivo examinar las propiedades físicas y mecánicas del concreto estructural, incorporando parcialmente tereftalato de polietileno (PET) como sustituto volumétrico del agregado fino en concretos con resistencias de $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ y $f'_c=280 \text{ kg/cm}^2$. La metodología aplicada fue experimental, ya que se manipularon las variables para obtener resultados. Esto implicó someter los materiales a ciertas condiciones para observar sus reacciones y registrarlas. Los resultados obtenidos a los 28 días indicaron reducciones progresivas en ambos grupos de diseños al incorporar PET, registrándose disminuciones del 15.4% y 22.1% en la resistencia a la compresión, junto con reducciones del 14.6% y 12.8% en el módulo de elasticidad para los diseños D21 y D28, consecutivamente, con un 8% de PET. Se concluyó que los diseños óptimos correspondieron a D21 y D28, con reemplazos del 4% y 2% de PET, respectivamente, ya que ofrecieron una trabajabilidad adecuada y propiedades mecánicas satisfactorias para concreto estructural.

Córdova (2023), planteó como objetivo evaluar las propiedades mecánicas del concreto mediante la incorporación de plástico reciclado como sustituto parcial del agregado fino. La metodología empleada fue experimental, ya que se manipularon intencionadamente un conjunto de variables independientes para poder compararlas y analizar sus efectos sobre un grupo de variables dependientes que se mantuvieron constantes. Los resultados obtenidos mostraron que al

añadir un 2.5% y un 5% de tereftalato de polietileno (PET), la resistencia del concreto aumentó en comparación con el diseño de referencia. Sin embargo, al sustituir el 10% y el 15% de PET, los resultados fueron negativos. A partir de esto, se concluyó que el reemplazo óptimo fue del 2.5% de PET, ya que este porcentaje produjo los mejores resultados en términos de resistencia, sugiriendo que una incorporación moderada de plástico reciclado puede ser beneficiosa para mejorar las características mecánicas del concreto sin comprometer su integridad estructural.

Huerta (2021), formuló como objetivo analizar y comparar el efecto de las partículas de botellas de PET recicladas como sustituto parcial del agregado fino en el comportamiento del concreto, tanto en su estado fresco como endurecido. La metodología utilizada fue experimental, variando los porcentajes de sustitución del agregado fino en 0%, 5%, 10%, 15% y 30%. Además, se aplicaron distintas relaciones agua/cemento (a/c) de 0.50, 0.60, 0.65 y 0.70. Los resultados obtenidos para la relación a/c de 0.50, se registraron resistencias de 355.72 kg/cm², 354.31 kg/cm², 318.79 kg/cm², 294.11 kg/cm² y 242.86 kg/cm²; para a/c de 0.60, las resistencias fueron de 311.21 kg/cm², 235 kg/cm², 221.05 kg/cm², 195.48 kg/cm² y 176.39 kg/cm²; con a/c de 0.65, se obtuvieron valores de 247.01 kg/cm², 230.49 kg/cm², 209.93 kg/cm², 185.34 kg/cm² y 166.96 kg/cm²; finalmente, para a/c de 0.70, se midieron resistencias de 228.98 kg/cm², 203.77 kg/cm², 194.62 kg/cm², 138.17 kg/cm² y 127.82 kg/cm². Se concluyó que al reemplazar el agregado fino con escamas de RPET afecta significativamente las propiedades del concreto. A mayor porcentaje de RPET, se reduce la trabajabilidad, el peso unitario y las resistencias mecánicas, mientras aumenta el contenido de aire. Sin embargo, con un 5% de RPET y una relación a/c de 0.50, el concreto mantiene un comportamiento similar al diseño patrón en resistencia a compresión y tracción, cumpliendo con una condición de no inferioridad.

Mendoza & Vilchez (2021), tuvieron como objetivo demostrar que la incorporación de agregado de polietileno de alta densidad (HDPE) como sustituto parcial del agregado fino mejora las propiedades que incrementan la durabilidad del concreto no estructural. La metodología aplicada fue experimental e incluyó la elaboración del HDPE para su uso como agregado fino, el análisis del agregado plástico y el diseño de mezclas para el concreto con reemplazos del 10%, 20% y 30% del agregado fino. Los resultados mostraron que, según el diseño de mezclas, las resistencias a la compresión con los reemplazos de HDPE (0%, 10%, 20% y 30%) fueron de 239 kg/cm², 249 kg/cm², 281 kg/cm² y 279 kg/cm², consecutivamente. Se concluyó que el porcentaje

óptimo de reemplazo del agregado fino por HDPE fue del 20%, ya que este nivel logró un incremento en la resistencia a compresión de hasta 17.7%. Además, se observó que la resistencia a tracción y flexión aumentaron 48.9% y 13.7%, respectivamente. Estos hallazgos resaltan el potencial del HDPE para mejorar las características mecánicas del concreto no estructural.

1.3.3. A nivel Regional y/o Local

Castillo & Flores (2024), formularon como objetivo analizar la influencia de las fibras metálicas recicladas en el contenido óptimo de fibras de tereftalato de polietileno (PET) para mejorar la resistencia a compresión de un concreto con una resistencia especificada de $f'c=210$ kg/cm². La metodología utilizada fue el método hipotético-deductivo, que se basa en formular hipótesis a partir de dos premisas: una universal y empírica. Los resultados mostraron que al incorporar un 7% de fibras metálicas recicladas junto con un 1% de fibras de PET, se sostuvo la resistencia a compresión del concreto en $f'c=210$ kg/cm², logrando incrementos de 15.0 kg/cm² y 18.05 kg/cm² en comparación con la muestra patrón. Se concluyó que el uso combinado de fibras PET (1%) y fibras metálicas recicladas (7%) mejoró la resistencia a compresión del concreto $f'c=210$ kg/cm², superando el diseño patrón, aunque sin alcanzar el 10% de incremento esperado. El asentamiento aumentó levemente con 1% de PET, pero disminuyó con mayores proporciones. La resistencia mejoró con la combinación de fibras, logrando incrementos de 8.73% y 8.45% a los 14 y 28 días, respectivamente, aunque no se validó completamente la hipótesis inicial.

Galvez & Sanchez (2023), tuvieron como objetivo de este estudio diseñar una mezcla de concreto mejorada mediante la adición de partículas de PET y fibras de acero reciclado. La metodología utilizada fue un diseño experimental que controló moderadamente las variables involucradas. Este estudio propuso un pavimento innovador que combinaba concreto tradicional con PET y acero reciclado. Los resultados mostraron que el aumento de la temperatura incrementó el efecto reductor en la fuerza de unión. A los 28 días, se contempló que la resistencia a la compresión del concreto con un $f'c=210$ kg/cm², sin refuerzo, alcanzó 237.03 kg/cm². Al incorporar fibra de polipropileno en dosificaciones del 5%, 7% y 10%, las resistencias fueron de 242.08 kg/cm², 230.84 kg/cm² y 203.32 kg/cm², respectivamente. Por otro lado, al añadir fibra de acero en dosificaciones del 0.8%, 1% y 2%, se obtuvieron resistencias de 239.19 kg/cm², 242.35 kg/cm² y 250.26 kg/cm². Se concluyó que, en la resistencia a la compresión, el 2% de fibra de

acero mostró la mayor resistencia a la compresión, flexión y tracción superando notablemente al concreto patrón y a las mezclas con PET, también que el aditivo más efectivo en todas las pruebas de resistencia es el 2% de fibra de acero, proporcionando la máxima resistencia en compresión, flexión y tracción en comparación con el concreto patrón y con las mezclas que incluyen PET.

Arteaga & Vásquez (2022), tuvieron como objetivo determinar el diseño óptimo de un concreto ecológico destinado a elementos no estructurales, reemplazando porcentajes del agregado fino por PET triturado. La metodología utilizada consistió en un diseño experimental, donde se manipuló la variable dependiente (PET triturado) para identificar el porcentaje óptimo en sustituto del agregado fino, asegurando que las propiedades mecánicas del concreto cumplieran con los requisitos establecidos. Se fabricaron mezclas con sustituciones del 0%, 5%, 10% y 15% de PET triturado, las cuales fueron evaluadas en términos de resistencia a la compresión en cuatro momentos diferentes. Los resultados indicaron que la resistencia a la compresión del concreto fue de 153.76 kg/cm² para el 0%, 145.10 kg/cm² para el 5%, 69.48 kg/cm² para el 10% y 13.62 kg/cm² para el 15%. Se concluyó que el diseño de mezcla convencional $f'_c=140$ kg/cm² cumple con los parámetros esperados. Al analizar la sustitución parcial del agregado fino por PET en proporciones de 5%, 10% y 15%, se observó una disminución en la calidad del concreto, siendo el 15% el más desfavorable. Las propiedades del concreto fresco se ven afectadas negativamente en su trabajabilidad y peso unitario a mayores porcentajes de PET, mientras que la resistencia a compresión y flexión sólo se mantiene adecuada con una adición del 1%. En términos económicos, el uso de PET no resulta rentable a medida que aumenta su proporción debido al costo de su procesamiento. Finalmente, se identificó que el 1% de PET triturado es el porcentaje óptimo, logrando un equilibrio entre calidad del concreto y viabilidad económica.

Llanos & Llanos (2019), plantearon como objetivo determinar el efecto del reemplazo del agregado grueso por plástico en proporciones del 10% y 15% sobre la resistencia a la compresión axial del concreto convencional, que tenía una resistencia especificada de $f'_c=210$ kg/cm². La metodología utilizada fue experimental, empleando diseños que permitieron un control riguroso y un enfoque cuantitativo en el procesamiento, análisis y evaluación de la investigación. Se consideraron variables como el tipo de plástico utilizado en las probetas de concreto y su resistencia a la compresión. Los resultados mostraron que los especímenes de concreto patrón alcanzaron una resistencia del 103.49%. Al añadir un 10% de plástico, la resistencia se redujo a

78.42%, y al incorporar un 15% de plástico, la resistencia cayó a 45.08%. Se concluyó que el sustituto del agregado grueso por plástico triturado en 10% y 15% provocó una disminución progresiva en la resistencia en comparación con el concreto patrón, lo cual sugiere que este tipo de concreto no es adecuado para aplicaciones estructurales.

Ramos (2019), en su estudio cuyo objetivo fue comparar la resistencia mecánica del concreto con una resistencia especificada de $f'_c=250 \text{ kg/cm}^2$, reforzado con fibras de polipropileno, acero y una combinación de ambas, en relación con el concreto patrón. La metodología empleada fue experimental, en la que se añadieron diversas dosificaciones de fibras. Los resultados a los 28 días mostraron que la resistencia a la compresión del concreto sin refuerzo alcanzó 294.934 kg/cm^2 . Para el concreto reforzado con fibra de polipropileno, se obtuvieron resistencias de 299.141 kg/cm^2 , 47.745 kg/cm^2 y 31.563 kg/cm^2 en dosificaciones de 400, 600 y 800 g/m^3 , respectivamente. En el caso del concreto reforzado con fibra de acero, las resistencias fueron de 290.773 kg/cm^2 , 50.484 kg/cm^2 y 29.604 kg/cm^2 para dosificaciones de 15, 30 y 45 kg/m^3 . Por otro lado, el concreto reforzado con ambas fibras en una proporción de 1:2 mostró resistencias de 323.363 kg/cm^2 , 49.302 kg/cm^2 y 28.369 kg/cm^2 . Se concluyó que el concreto reforzado con fibra de acero muestra una disminución en la resistencia de hasta 7.152%, mientras que el reforzado con fibra de polipropileno aumenta la resistencia en 5.705%. Además, el concreto que utilizó los dos tipos de fibras mostró un aumento en la resistencia de hasta un 9.639%.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

- Evaluar la influencia de fibras geométricas de tereftalato de polietileno en la resistencia al concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$, Jaén 2025.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Medir la resistencia a compresión y flexión del concreto sustituyendo fibras geométricas PET respecto al agregado fino.

- Comparar la resistencia a compresión y flexión del concreto patrón y con el concreto con fibras geométricas PET.
- Determinar la resistencia optima a partir de los ensayos y métodos estadísticos ensayados.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Objetivo de Estudio

El estudio estuvo realizado en el laboratorio: "F&M Engineering and Construction S.A.C", tiene como objetivo documentar el proceso de caracterización de materiales, diseño y verificación de la resistencia del concreto, en el marco del trabajo de investigación titulado: "influencia de fibras geométricas de tereftalato de polietileno en la resistencia al concreto $f_c=210$ kg/cm², Jaén-2025".

2.2. Ubicación Geográfica

La investigación tuvo lugar en el distrito de Jaén, provincia de Jaén, departamento de Cajamarca; en el laboratorio F&M ingeniería, Gerencia de proyectos y Construcción cuyas coordenadas UTM WGS 84 fueron 743641.70 E, 9366965 N.

2.3. Población, Muestra y Muestreo

2.3.1. Población

Según Díaz de León (2016), la población de una investigación está compuesta por los elementos que intervienen en el fenómeno que se está analizando, tales como individuos, objetos y organismos. En el presente estudio, la población estuvo constituida por 72 especímenes de concreto, elaborados de acuerdo con los procedimientos establecidos en la Norma Técnica Peruana E.060 Concreto Armado, específicamente en el numeral 5.3.3.2 (d). De esta población total, 36 especímenes fueron destinados a la evaluación de la resistencia a compresión y 36 especímenes a la evaluación de la resistencia a flexión. Los especímenes se elaboraron considerando diferentes porcentajes de sustitución del agregado fino mediante la incorporación de fibras de PET en forma geométricas.

2.3.2. Muestra

Para Díaz de León (2016), la muestra es una porción o sección de la población de interés que refleja las mismas características que la población total. De acuerdo con la Norma Peruana E-060, numeral 5.3.3.2, se establece que para cada relación agua-material cementante o contenido

de material cementante deben confeccionarse y curarse al menos tres probetas cilíndricas para cada edad de ensayo, de acuerdo con la Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory (ASTM C 192M). Las probetas deben ensayarse a los 28 días o a la edad de ensayo establecida para determinar f'_c (Norma E-060, s. f.). En esta investigación, se emplearon un total de 72 especímenes de concreto, los cuales se dividieron en 36 especímenes para ensayos de compresión y 36 especímenes para ensayos de flexión, con sustitución del 2%, 5% y 7% de fibras geométricas de PET respecto al agregado fino. Las fibras utilizadas tuvieron un tamaño de 15 mm x 2 mm. Posteriormente, los especímenes fueron sometidos a los ensayos correspondientes en laboratorio a los 28 días. El porcentaje de sustitución y el tamaño de las fibras se definieron a partir del análisis e interpretación de gráficos relacionados con el resumen de resultados de los antecedentes.

La forma zigzag se define como una línea quebrada que, a lo largo de su trayectoria, presenta una sucesión de ángulos alternados, generando entrantes y salientes de manera continua. Esta configuración geométrica se caracteriza por cambios direccionales repetitivos que le otorgan una forma no lineal (RAE, 2025).

Figura 1

Forma geométrica Zigzag

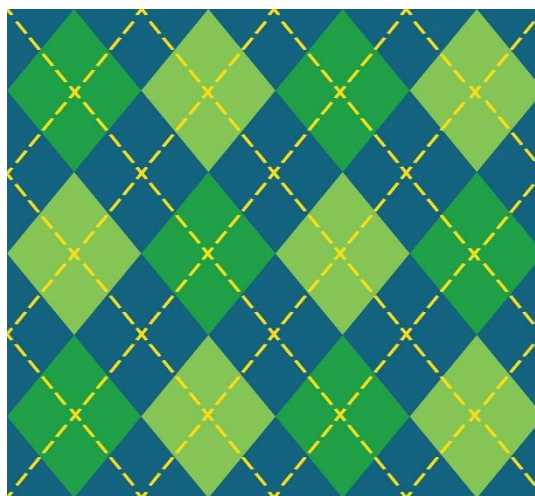


Fuente: Wikipedia, 2025, zigzag, <https://es.wikipedia.org/wiki/Zigzag>

La forma rombo es una figura geométrica de cuatro lados en la que todos sus lados poseen igual longitud. Además, sus lados opuestos son paralelos entre sí, lo que lo convierte en un tipo particular de paralelogramo equilátero Britannica Editors (2026).

Figura 2

Forma geométrica rombo

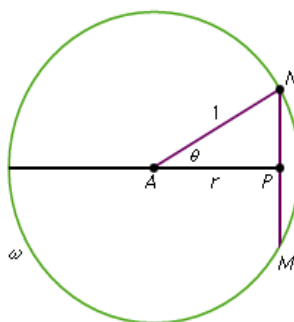


Fuente: Britannica Editors, 2026, rombo, <https://www.britannica.com/science/rhombus-mathematics>

La forma circular se refiere a toda forma o elemento que presenta una configuración redondeada, caracterizada por mantener una distancia aproximadamente constante desde un punto central hacia su contorno Britannica Editors (2026).

Figura 3

Forma geométrica circular



©1998 Encyclopaedia Britannica, Inc.

Fuente: Britannica Editors, 2026, circular, <https://www.britannica.com/science/circle-mathematics>

Tabla 1

Muestra de especímenes con fibras geométricas PET para el ensayo de compresión.

Forma geométrica	Edad (días)	0%	2%	5%	7%
Zigzag	28	3	3	3	3
Rombo	28	3	3	3	3
Circular	28	3	3	3	3

Fuente. Elaboración propia (2025).

La distribución de las probetas para el ensayo de compresión elaboradas con formas geométricas de fibras de PET zigzag, rombo y circular, todas ensayadas a la edad de 28 días, para cada forma geométrica se consideraron cuatro porcentajes de adición de PET 0%, 2%, 5% y 7%, como se detalla en la Tabla 1.

Tabla 2

Muestra de especímenes con fibras geométricas PET para el ensayo de flexión

Forma geométrica	Edad (días)	0%	2%	5%	7%
Ziz Zag	28	3	3	3	3
Rombo	28	3	3	3	3
Circular	28	3	3	3	3

Fuente. Elaboración propia (2025).

La distribución de las probetas para el ensayo de flexión elaboradas con formas geométricas de fibras de PET zigzag, rombo y circular, todas ensayadas a la edad de 28 días, para cada forma geométrica se consideraron cuatro porcentajes de adición de PET 0%, 2%, 5% y 7%, como se detalla en la Tabla 1.

2.3.3. Muestreo

Según Hernández Sampieri et al. (2014), el muestreo es una técnica estadística que consiste en seleccionar un subconjunto representativo de una población para estudiar sus características y hacer inferencias sobre toda la población. No obstante, en la presente investigación no se aplicó

ningún tipo de muestreo, debido a que la totalidad de la población fue considerada como muestra de estudio. En ese sentido, el estudio se desarrolló bajo un enfoque censal, donde se trabajó con los 72 especímenes de concreto elaborados, distribuidos en 36 especímenes para el ensayo de resistencia a compresión y 36 especímenes para el ensayo de resistencia a flexión, los cuales fueron fabricados utilizando diferentes porcentajes de sustitución con fibras de PET en el agregado fino.

2.4. Hipótesis

Al incorporar fibras geométricas de tereftalato de polietileno (PET) incrementará en un 5% su resistencia a compresión y flexión respecto al concreto patrón.

2.5. Variables de Estudio

2.5.1. Variable Independiente

Porcentaje de PET (2%, 5% y 7%)

2.5.2. Variable Dependiente

Resistencia a compresión y flexión del concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$

2.6. Métodos, técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos

2.6.1. Métodos

Método Deductivo.

Se trata de un método que parte de conclusiones generales para generar explicaciones específicas. Este enfoque emplea postulados, leyes y otros principios, aplicándolos a situaciones o hechos concretos (Bernal, 2010). En esta investigación, se opta por este método porque se inicia con una hipótesis general que será verificada más adelante mediante los resultados obtenidos de cada ensayo de compresión.

Método Inductivo.

Este método se basa en un razonamiento que comienza con hechos específicos para llegar a conclusiones generales (Bernal, 2010). El método inductivo es relevante para esta investigación,

ya que, mediante la realización de experimentos y la observación de los resultados, pude identificar patrones y analizar el efecto del sustituto de fibras geométricas en relación con el agregado fino. A partir de estas conclusiones, se pudo revisar y modificar nuestra hipótesis inicial.

2.6.2. Tipos de investigación

Según su Finalidad.

Es una investigación básica o pura, ya que se enfoca en realizar formulaciones hipotéticas que podrán ser aplicadas en estudios posteriores (Gomez, 2012), mediante procedimientos se logró determinar las propiedades 72 mecánicas como la resistencia a la compresión y flexión con la sustitución del agregado fino con fibras geométricas PET.

Según su diseño.

Esta es una investigación experimental, ya que se emplean procedimientos orientados a objetivos para probar hipótesis, resolver problemas y obtener conclusiones (Gomez, 2012). Es considerada experimental, ya que se manipulará la variable independiente sustituyendo el agregado fino por fibras polietileno de tereftalato (PET) con porcentajes de 2%, 5% y 7% para observar en la variable dependiente, estudiando los indicadores de resistencia a la compresión.

Según su alcance.

La investigación es descriptiva, ya que se basa en la observación y el análisis de las características y realidades del fenómeno u objeto de estudio (Gomez, 2012), en la investigación se compararán las resistencias obtenidas con la muestra patrón, lo que permitió verificar si cumplen con la resistencia base requerida.

Según su enfoque.

Es una investigación cuantitativa, ya que las variables se derivan de la hipótesis y se miden de manera numérica para realizar un análisis estadístico (Gomez, 2012), además se evaluó la utilización de fibras geométricas PET, y suscitar un desarrollo sostenible.

2.6.3. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Materiales Utilizados en la Producción de Fibras Geométricas PET (Zigzag, circular y rombo)

Tabla 3

Materiales e insumos usados para la obtención de las fibras geométricas PET

Material	Cantidad	Especificaciones Técnicas
Plástico PET	30 kg	<ul style="list-style-type: none"> – Material: Botellas PET – Marca: Genérica – Color: Transparente – Ancho (diámetro aprox.): 6–7 cm – Alto: 20–22 cm
Tijera De Formas 3 En 1	1 und	<ul style="list-style-type: none"> – Material: Plástico y acero inoxidable – Nombre comercial: Tijera de formas 3 en 1 – Color: Variados – Ancho: 6 cm – Alto (largo total): 15 cm – Función: 3 tipos de cortes decorativos en una sola tijera
Sacos	10 und	<ul style="list-style-type: none"> – Marca: Usa. – Nombre comercial: saco. – Color: blanco. – Material: Polietileno de alta densidad (PEAD). – Ancho: 60 cm. – Alto: 100 cm. – Capacidad: 50 kg

Pizarra acrílica	1 und	<ul style="list-style-type: none"> – Marca: Pizatec. – Color: blanco. – Tamaño: pequeño. – Nombre comercial: pizarra acrílica. – Material: lámina acrílica con marco de aluminio (Al). – Peso: 25 g. – Largo: 40 cm. – Ancho: 30 cm.
Plumón acrílico	1 und	<ul style="list-style-type: none"> – Marca: Faber Castell. – Color: rojo y azul. – Nombre comercial: marcador para pizarra. – Material: fibras sintéticas y pigmentos de resina. – Peso: 34 g. – Largo: 12 cm. – Ancho: 1.5 cm.

Fuente. Elaboración propia (2025).

Se desarrolló mediante la descripción de los materiales utilizados en la obtención de las fibras geométricas PET, incluyendo sus respectivas especificaciones técnicas, cantidades y unidades de medida, como se detalla en la Tabla 3.

Materiales Utilizados en los Ensayos de Agregados

Tabla 4

Materiales y equipos usados en la ejecución de los ensayos

Item	Ensayo	Materiales y Equipos
Agregados	– Contenido de humedad (NTP 339.185).	– Balanza con aproximación de $\pm 0,1$ g.
	– Granulometría (NTP 400.012).	
	– Peso específico y absorción (NTP 400.022, NTP 400.021).	– Horno de secado
	– Peso unitario suelto y compactado (NTP 400.017).	– Recipientes
	– Abrasión en la máquina de Los Ángeles (NTP 400.019).	– Juego de tamices
Concreto fresco	– Temperatura de mezclas del concreto (NTP 339.184).	– Termómetro digital
	– Asentamiento (Slump) del concreto (NTP 339.035).	– Recipientes
	– Peso unitario del concreto fresco (NTP 339.046).	– Mezcladora de concreto
		– Cono de Abrams
		– Flexómetro
		– Varilla de mezcla
Curado de especímenes	– Elaboración y curado de especímenes de concreto en laboratorio (NTP 339.146).	– Recipiente con agua
		– Termómetro
		– Especímenes
Concreto endurecido	– Resistencia a la compresión (NTP 339.034).	– Prensa de concreto
	– Resistencia a la flexión (NTP 339.079)	– Especímenes
		– Calibrador Vernier
		– Guantes de látex
		– Libreta de apuntes

Fuente. Elaboración propia (2025).

Se desarrolló mediante la presentación de un inventario detallado de los materiales y equipos utilizados en la ejecución de los ensayos de laboratorio, destinados al análisis de las propiedades de los agregados y a la elaboración de concreto endurecido reemplazando el agregado fino por fibras geométricas PET, como se detalla en la Tabla 4.

Materiales Empleados en la Elaboración Especímenes de Concreto y Vigas

Paso 1: La recolección de materiales del agregado fino, conforme a la NTP 400.012, se realizó utilizando arena zarandeada y procesada, asegurando la calidad requerida para los ensayos. La cantidad recolectada fue de 1/2 cubo, provenientes de la cantera Josecito, con el respaldo de la empresa Corporación Josecito, identificada con RUC N.º 20607068977, garantizando así la trazabilidad y procedencia del material empleado.

Figura 4

Recolección de materiales del agregado fino



Fuente. Elaboración propia (2025).

Paso 2. La recolección de materiales del agregado grueso, conforme a la NTP 400.012, se realizó utilizando piedra chancada, asegurando la calidad requerida para los ensayos. La cantidad recolectada fue de 1/2 cubo, provenientes de la cantera Josecito, con el respaldo de la empresa Corporación Josecito, identificada con RUC N.º 20607068977, garantizando así la trazabilidad y procedencia del material empleado.

Figura 5

Recolección de materiales del agregado grueso



Fuente. Elaboración propia (2025).

Paso 3. La recolección de materiales de cemento, conforme a la NTP 334.009, se realizó utilizando la marca Pacasmayo, tipo 1, asegurando la calidad requerida para los ensayos. La cantidad recolectada fue de 5 bolsas, de un peso de 42.5 kg, con el respaldo de la empresa Corporación Josecito, identificada con RUC N.º 20607068977, garantizando así la trazabilidad y procedencia del material empleado.

Figura 6

Recolección de materiales de cemento



Fuente. KONSTRUTECNIA.COM. (s. f.). <https://konstrutecnia.com/p/cemento-portland-tipo-i-42-5-kg-pacasmayo>

Paso 4. La recolección de materiales de agua, conforme a la NTP 334.088, se realizó utilizando la red EPS Marañon con RUC N.º 20141814312, asegurando la calidad requerida para los ensayos.

Paso 5. La recolección de las fibras geométricas de PET se realizó a partir de botellas plásticas recicladas, obteniéndose aproximadamente 30 kg de material, el cual fue procesado hasta alcanzar dimensiones de 15 mm de longitud y 2 mm de ancho. Este tamaño fue definido mediante un análisis cuantitativo de antecedentes, evidenciándose el uso de partículas de 0.25–0.45 mm (Espindola et al., 2024), fibras de 7 y 10 mm (Kangavar et al., 2023), hasta 15 mm (Qaidi et al., 2022), entre 5 y 15 mm (Dawood et al., 2021) y de 13 mm (Mendoza y Vélchez, 2021), así como longitudes de 4 a 5 cm con espesores de 2 a 3 mm (Peña y Tufino, 2023); en conjunto, esta información permitió determinar que los rangos intermedios de longitud y bajo espesor presentan mejor desempeño, por lo que se adoptó el tamaño de 15 mm x 2 mm al garantizar una adecuada adherencia, dispersión y comportamiento mecánico del concreto.

Figura 7

Recolección de materiales de las fibras geométricas PET



Fuente. Elaboración propia (2025).

Fuentes de Información.

En la presente investigación, durante la fase de recopilación de datos y muestreo, se recurrió a estudios precedentes relacionados con la temática abordada como fuente referencial. Además, se realizó una exhaustiva revisión de la normativa vigente, garantizando la congruencia de los procedimientos implementados con los lineamientos estipulados por las regulaciones peruanas e internacionales pertinentes. Entre estas normativas, se consultaron el Manual de Ensayo de Materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), las Normas Técnicas Peruanas (NTP), la American Society for Testing and Materials (ASTM) y el American Concrete Institute (ACI), entre otras. A continuación, se presenta una tabla que detalla estas normas.

Figura 8

Normas técnicas peruanas e internacionales

Ensayos	Normas aplicadas
Estudio de los agregados	– MTC E:2016 – Manual de Ensayo de Materiales.
	– ASTM C 136:2019 o NTP 400.012:2018 – Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global.
	– ASTM C 127:2024 o NTP 400.021:2018 – Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso.
	– ASTM C 128:2022 o NTP 400.022:2018 – Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino.
	– ASTM C 29:2023 o NTP 400.017:2021 – Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (peso unitario) y los vacíos en los agregados.
	– ASTM C 535:2024 o NTP 339.185:2021 – Determinación del contenido de humedad de agregados por secado.
– ASTM C 131:2021 o N.T.P. 400.019:2021 – Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles.	

Elaboración y curado de los especímenes	<ul style="list-style-type: none"> - NTP 334.009:2022 – Cementos Pórtland. - NTP 339.088:2021 – Agua para el concreto. - ACI 211.1:2022 – Práctica estándar para la selección de proporciones para concreto normal, pesado y en masa. - E.060:2023 – Concreto Armado. - NTP 339.036:2017 – Muestreo de mezclas de concreto fresco. - NTP 339.183:2018 – Elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio.
Concreto en estado fresco	<ul style="list-style-type: none"> - ASTM C 1064:2023 o NTP 339.184:2021 – Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura de mezclas de concreto. - ASTM C 143:2020 o NTP 339.035:2017 – Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto. - ASTM C 231:2024 o NTP 339.081:2018 – Método de ensayo volumétrico para determinar el contenido de aire del hormigón fresco. - ASTM C 138:2024 o NTP 339.046:2018 – Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire del hormigón (concreto).
Concreto en estado endurecido	<ul style="list-style-type: none"> - ASTM C 39:2024 o NTP 339.034:2021 – Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas. - ASTM C 78:2024 o NTP 339.078 HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para determinar la resistencia a - la flexión del hormigón en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo.
Fibras geométricas PET	<ul style="list-style-type: none"> - NTP 339.204 – HORMIGÓN (CONCRETO). Especificación normalizada del concreto y concreto proyectado reforzado con fibra.

Fuente. Elaboración propia (2025).

Se desarrolló mediante la aplicación de normas técnicas, tanto peruanas como internacionales, durante la fase experimental para la ejecución de los ensayos, como se detalla en la Tabla 5.

2.6.4. Procedimiento

Procedimiento para la Obtención de las Fibras Geométricas del PET

Recolección de Plástico PET

En esta etapa comprendió la búsqueda, recolección y transporte de plástico PET.

Figura 9

Recolección de plástico PET



Fuente. Elaboración propia (2025).

Elaboración de las Fibras Geométricas de Plástico PET

En esta etapa comprendió el cumplimiento con las dimensiones de 15 mm x 2 mm, también elegir la forma geométrica (zigzag, rombo y circular) permitió obtener un material uniforme y estandarizado para su incorporación en las mezclas de ensayo.

Figura 10

Elaboración de las fibras geométricas PET



Fuente. Elaboración propia (2025).

Lavado y Desinfección de las fibras geométricas PET

En esta etapa comprende asegurar que las fibras geométricas PET estuviera libre de impurezas, residuos orgánicos y microorganismos que pudieran alterar sus propiedades o afectar la calidad del producto final. Se mezcló una cucharada de cal (10 g) por cada litro (l) de agua, siguiendo las indicaciones de la norma técnica ASTM C 311.

Figura 11

Lavado y desinfección de las fibras geométricas PET



Fuente. Elaboración propia (2025).

Procedimiento de Ensayos de Laboratorio para el análisis de los agregados

En este estudio se emplearon agregado fino (arena) y agregado grueso (piedra chancada de 3/4") extraídos de la cantera Josecito y Arenera Jaén. Para la caracterización físico-mecánica de estos materiales, se realizó un conjunto de ensayos, ejecutados conforme a los procedimientos establecidos en las normas técnicas vigentes, tal como se detalla a continuación:

Tabla 5

Normativas de los ensayos para determinar las propiedades físico-mecánicas de los agregados

Ensayos		Referencias normativas	
Resistencia por abrasión			
en la máquina de Los Ángeles	MTC E 207	NTP 400.019	ASTM C 131
Granulometría	MTC E 204	NTP 400.012	ASTM C 136
Contenido de humedad	MTC E 215	NTP 339.185	ASTM C 535
Peso específico y absorción	MTC E 205	NTP 400.022/021	ASTM C 127/128

Peso unitario suelto y compactado	MTC E 203	NTP 400.017	ASTM C 29
Cantidad de material fino que pasa la malla N° 200	MTC E 202	NTP 400.018	ASTM C 117

Fuente. Elaboración propia (2025).

Se desarrolló mediante la aplicación de ensayos normalizados para evaluar las propiedades físicas de los agregados, conforme a las especificaciones del MTC E, NTP y ASTM, como se detalla en la Tabla 5.

Ensayo de Resistencia por Abrasión en la Máquina de Los Ángeles (NTP 400.019)

a. Materiales y/o equipos

Agregado grueso de 1/2" (5000 g)

Balanza (con aproximación de ± 1 g y exactitud a $\pm 0,1\%$)

Tamiz N° 200 (0.075 mm)

Máquina de los Ángeles (dimensiones 110.5 x 89 x 80 cm)

Esferas (acero inoxidable)

Horno (temperatura de 110 ± 5 °C)

Guantes termo protectores (Delta Plus)

Recipientes (modelo circular)

Pizarra acrílica (pequeña)

Plumones acrílicos (rojo y azul)

b. Muestreo

Se recolectó una muestra de 5000 gramos de agregado grueso para cada evaluación (Arenera Jaén y Josecito).

c. Procedimiento del ensayo

Se depositó la muestra de ensayo y la carga correspondiente en el interior de la máquina de Los Ángeles. A continuación, se activó el equipo, el cual hizo girar el contenedor a una velocidad comprendida entre 30 y 33 rpm durante un total de 500 vueltas. Una vez transcurrido este tiempo, se detuvo el equipo y se retiró el material abrasivo. Seguidamente, se realizó una separación preliminar del material mediante un tamiz normalizado de 1,70 mm (Nº 12). La porción más fina que atravesó la malla se analizó siguiendo el procedimiento establecido en la norma MTC E 204. Por otro lado, las partículas de mayor tamaño que quedaron retenidas en el tamiz fueron sometidas a un proceso de lavado y secado en un horno a una temperatura controlada de 110 ± 5 °C hasta alcanzar una masa constante. Finalmente, se determinó el peso de esta fracción con una precisión de un gramo (g).

Figura 12

Ensayo de resistencia a la abrasión del agregado grueso mediante la máquina de Los Ángeles (Arenera Jaén)



Fuente. Elaboración propia (2025).

Se desarrolló mediante el procedimiento para evaluar la resistencia a la abrasión del agregado grueso utilizando la máquina de Los Ángeles, con material proveniente de la Arenera Jaén de 1/2", como se detalla en la Figura 12.

Brocha (de 3" con mango de plástico): 1 ud.

Juego de tamices (con tapa y base): 1 ud.

Pizarra acrílica (pequeña): 1 ud.

Plumones acrílicos (rojo y azul): 2 uds.

b. Muestreo

Se utilizó una muestra seca de 1000 gramos de agregado fino y 2500 gramos de agregado grueso.

c. Procedimiento del ensayo

Para determinar la gradación de los agregados de cantera, se llevó a cabo un análisis granulométrico siguiendo las especificaciones técnicas de las normas MTC E 204 y NTP 400.012. Las muestras fueron sometidas a un proceso de secado en horno a una temperatura controlada de 110 ± 5 °C durante 24 horas. Posteriormente, las muestras secas fueron tamizadas en una serie de mallas de diferentes aberturas, y el material retenido en cada malla fue pesado. Con los datos obtenidos, se realizaron los cálculos correspondientes para determinar la distribución de tamaños de las partículas.

Figura 14

Análisis granulométrico del agregado grueso



Fuente. Elaboración propia (2025).

Se desarrolló mediante el procedimiento para el análisis granulométrico del agregado grueso de 1/2", como se detalla en la Figura 14.

Figura 15

Análisis granulométrico del agregado fino



Fuente. Elaboración propia (2025).

Se desarrolló mediante el procedimiento para el análisis granulométrico del agregado fino, como se detalla en la Figura 15.

2.6.4.1. Procedimiento del Ensayo de Contenido de Humedad de los Agregados Fino y Grueso (NTP 339.185)

a. Materiales y/o equipos

Agregados: fino (3000 g) y grueso (3000 g).

Horno (temperatura de 110 ± 5 °C): 1 ud.

Guantes termo protectores (Delta Plus): 2 uds.

Balanza (con aproximación de $\pm 0,1$ g y sensibilidad a $\pm 0,1\%$): 1 ud.

Recipientes (modelo circular): 2 uds.

Pizarra acrílica (pequeña): 1 ud.

Plumones acrílicos (rojo y azul): 2 uds.

b. Muestreo

Se empleó 6000 gramos de muestra alterada (agregado fino y grueso) extraída de la cantera de estudio. Las muestras fueron preservadas y transportadas de acuerdo a la Norma ASTM D 4220-89.

c. Procedimiento del ensayo

Se llevó a cabo un análisis del contenido de humedad de los agregados finos y gruesos extraídos de la cantera Josecito. Para ello, se tomaron muestras representativas de agregado y se sometieron a un proceso de secado en horno a una temperatura constante de 110 ± 5 °C. Posteriormente, se pesaron las muestras secas para calcular el porcentaje de humedad, estos resultados fueron analizados para determinar su conformidad con la norma NTP 339.185.

Figura 16

Procedimiento del Ensayo de Contenido de Humedad de Agregado Grueso



Fuente. Elaboración propia (2025).

Se desarrolló mediante la determinación del contenido de humedad en el agregado grueso de 1/2", donde se observa el cuarteo de la muestra proveniente de la cantera Josecito, como se detalla en la Figura 16.

Procedimiento del Ensayo de Peso Específico y Absorción del Agregado Fino (NTP 400.022)

a. Materiales y/o equipos

Agregado fino (500 g).

Horno (temperatura de 110 ± 5 °C)

Guantes termo protectores (Delta Plus)

Bomba de vacío (de capacidad de 51 l/min)

Balanza (con aproximación de $\pm 0,1$ g y sensibilidad a $\pm 0,1\%$)

Picnómetro (con molde cónico y pisón)

Embudo de plástico (polipropileno)

Cucharón de despacho de 1 kg (acero inoxidable)

Recipientes (modelo rectangular)

Fiola (de vidrio de 1000 ml)

Agua destilada (H₂O) 1000 ml.

Pizarra acrílica (pequeña)

Plumones acrílicos (rojo y azul)

b. Muestreo

Se utilizó una muestra seca de 500 gramos de agregado fino.

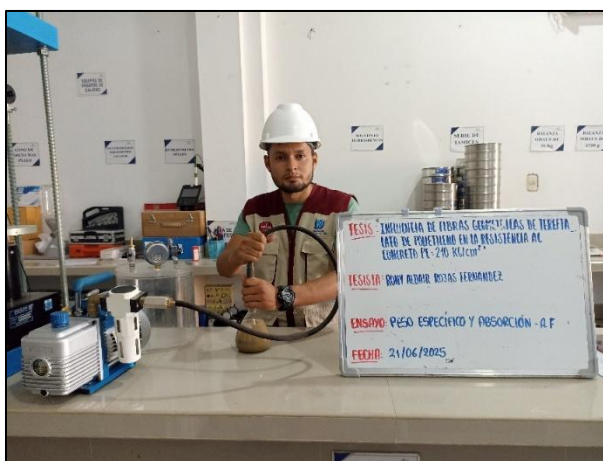
c. Procedimiento del ensayo

Para la muestra de agregado fino, se comenzó remojando el material en agua durante 24 horas, y luego se dejó secar a temperatura ambiente durante un período similar hasta alcanzar un

estado saturado superficialmente seco. Para verificar si se había alcanzado este estado, se realizó un ensayo utilizando un cono metálico truncado y un apisonador. Posteriormente, se pesó una tara para colocar la muestra y se pesó la muestra en estado saturado superficialmente seco (500 g) junto con la tara. A continuación, se pesó una fiola, la cual se llenó con agua hasta los 1000 ml, y se volvió a pesar para obtener el peso de la fiola más el agua. Después, se introdujo el agregado fino (500 g) en la fiola con agua y se agitó durante 20 minutos y luego se pesó. Finalmente, el material de la fiola se colocó en una tara y se llevó al horno durante 24 horas, siendo pesado una vez retirado de este.

Figura 17

Determinación del peso específico y absorción del agregado fino



Fuente. Elaboración propia (2025).

Se desarrolló mediante el ensayo para la determinación del peso específico y la absorción del agregado fino, como se detalla en la Figura 17.

Procedimiento del Ensayo de Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso (NTP 400.021)

a. Materiales y/o equipos

Agregado grueso de 1/2" (2500 g)

Horno (temperatura de 110 ± 5 °C)

Guantes termo protectores (Delta Plus)

Balanza (con aproximación de ± 1 g y exactitud a $\pm 0,1\%$)

Tamiz N° 4 (4.75 mm)

Bastidor de soporte (marco rígido de acero)

Franela (algodón con poliéster)

Canastilla (acero inoxidable)

Recipientes (modelo rectangular)

Pizarra acrílica (pequeña)

Plumones acrílicos (rojo y azul)

b. Muestreo

Se utilizó una muestra seca de 2500 gramos de agregado grueso.

c. Procedimiento del ensayo

La muestra de agregado grueso fue seleccionada y sumergida en agua durante un período de 24 horas. Posteriormente, se secó con una franela para alcanzar un estado de saturación superficialmente seco. Se procedió a pesar una tara para colocar el agregado y luego se pesó la muestra en su estado de condición saturada y seca superficialmente (s.s.s.) junto con la tara. La muestra fue colocada en una canastilla metálica y sumergida en un tanque de agua, sujeta a un gancho que se conectaba a una balanza para obtener el peso sumergido del agregado. Luego, la muestra fue colocada en una tara, pesada y llevada al horno durante 24 horas. Finalmente, se retiró la muestra del horno.

Figura 18

Determinación del peso específico y absorción del agregado grueso



Fuente. Elaboración propia (2025).

Se desarrolló mediante el ensayo para determinar el peso específico y la absorción del agregado grueso, como se detalla en la Figura 18.

Procedimiento del Ensayo de Peso Unitario de los Agregados Fino y Grueso (NTP 400.017)

a. Materiales y/o equipos

Agregados: fino (7500 g) y grueso de 1/2" (21000 g)

Balanza (con aproximación de $\pm 0,1$ g y sensibilidad a $\pm 0,1\%$)

Horno (temperatura de 110 ± 5 °C)

Guantes termo protectores (Delta Plus)

Recipientes (modelo circular)

Cucharón de despacho de 1 kg (acero inoxidable)

Varilla compactadora (acero de 30 cm de longitud)

Recipiente volumétrico (grande y pequeño)

Pizarra acrílica (pequeña)

Plumones acrílicos (rojo y azul)

b. Muestreo

Se tomó una muestra representativa que consistió en 7500 gramos de agregado fino y 21000 gramos de agregado grueso.

c. Procedimiento del ensayo

Para determinar el peso unitario de los agregados, se comenzó pesando el molde y colocándolo en una superficie plana sobre una bandeja metálica. Luego se vertió el agregado dentro del molde utilizando un cucharón metálico desde una altura no superior a 2 pulgadas. Una vez completado este procedimiento, se niveló la superficie del agregado con una varilla y se pesó el molde con el agregado en su interior, registrando el valor obtenido en kilogramos. Este proceso se repitió dos veces más para cada tipo de agregado, tanto para el fino como para el grueso.

Figura 19

Determinación del peso unitario suelto de agregados fino



Fuente. Elaboración propia (2025).

Se desarrolló mediante el procedimiento para determinar el peso unitario suelto del agregado fino, como se detalla en la Figura 19.

Figura 20

Determinación del peso unitario suelto de agregados grueso



Fuente. Elaboración propia (2025).

Se desarrolló mediante el procedimiento para determinar el peso unitario suelto del agregado grueso, como se detalla en la Figura 20.

Procedimiento de Ensayos de Laboratorio para el análisis del concreto fresco

Se llevaron a cabo ensayos sobre el concreto fresco y endurecido, siguiendo estrictamente los protocolos establecidos en las normas técnicas pertinentes, tal como se detalla a continuación:

Tabla 6

Normativas de los ensayos para determinar las propiedades físicas del concreto fresco

Ensayos	Referencias Normativas		
Asentamiento del concreto (Slump)	MTC E 705	NTP 339.035	ASTM C 143
Contenido de aire	MTC E 706	NTP 339.081	ASTM C 231
Temperatura de la mezcla	MTC E 724	NTP 339.184	ASTM C 1064
Peso unitario del concreto fresco	MTC E 714	NTP 339.046	ASTM C 138

Elaboración y curado de especímenes de concreto	MTC E 702	NTP 339.183	ASTM C 192
---	-----------	-------------	------------

Fuente. Elaboración propia (2025).

Se desarrolló mediante la aplicación de ensayos estandarizados para evaluar las propiedades físicas del concreto en estado fresco, conforme a las normas del MTC E, NTP y ASTM, como se detalla en la Tabla 6.

Procedimiento del Diseño de Mezcla del Concreto (ACI 211.1).

En esta investigación, se diseñó la mezcla de concreto según el método ACI 211.1 para alcanzar una resistencia a la compresión de $f'c=210$ kg/cm².

Determinación de la Resistencia Promedio Requerida (Norma E.060).

Tabla 7

Resistencia promedio a la compresión requerida para diseño según resistencia especificada

Resistencia especificada a la compresión		Resistencia promedio requerida a la compresión	
$f'c$ (MPa)	$f'c$ (kg/cm ²)	$f'cr$ (MPa)	$f'cr$ (kg/cm ²)
$f'c < 21$	$f'c < 210$	$f'cr = f'c + 7,0$	$f'cr = f'c + 70$
$21 \leq f'c \leq 35$	$210 \leq f'c \leq 350$	$f'cr = f'c + 8,5$	$f'cr = f'c + 84$
$f'c > 35$	$f'c > 350$	$f'cr = 1,1 f'c + 5,0$	$f'cr = f'c + 98$

Fuente. Norma E.060 Concreto Armado (2023).

Se desarrolló mediante los criterios para determinar la resistencia promedio a la compresión requerida para el diseño ($f'cr$) en función de la resistencia especificada del concreto ($f'c$), como se detalla en la Tabla 7.

Según el método ACI 211.1, se estableció que, si no había datos de registro de obras anteriores para la resistencia requerida, se debía sumar un factor a la resistencia nominal que se buscaba. Por lo tanto, para una resistencia nominal de $f'c=210$ kg/cm², según la tabla adjunta, se

le debían añadir 84 kg/cm². De esta manera, la resistencia a la compresión promedio resultante fue de $f'_{cr}=294$ kg/cm².

Medición del Asentamiento del Concreto Fresco (NTP 339.035).

Dada la necesidad de obtener un concreto de fácil manejo y alta resistencia, se optó por una consistencia plástica estándar, con un asentamiento de 3 a 4 pulgadas.

Tabla 8

Relación entre consistencia, asentamiento y trabajabilidad del concreto

Tipo de consistencia	Asentamiento		Trabajabilidad	Método de compactación
	pulg	Cm		
Seca	0 - 2	0 - 2.5	Poco trabajable	Vibración normal
Plástica	3 - 4	7.5 - 12.5	Trabajable	Vibración ligera
Fluida	≥ 5	≥ 19.0	Muy trabajable	Chuzeado

Fuente. Norma técnica peruana 339.035 (2017).

Se desarrolló la correlación entre el tipo de consistencia del concreto, el rango de asentamiento, la trabajabilidad y el método de compactación, como se detalla en la Tabla 8.

Tabla 9

Numero de capas y golpes requeridos para la compactación de especímenes según dimensiones

Dimensiones del espécimen (mm)	Número de capas de aproximadamente igual altura	
	Número de capas de	Número de golpes por capa
100	2	25
150	3	25
225	4	50

Fuente. Norma técnica peruana 339.035 (2017).

Se desarrolló el procedimiento de compactación de especímenes de concreto según su altura, estableciendo el número de capas y golpes por capa, como se detalla en la Tabla 9.

Selección del Tamaño Máximo del Agregado (ACI 211.1).

Para caracterizar los agregados, se llevó a cabo un ensayo de granulometría, el cual permitió conocer su tamaño máximo, tamaño máximo nominal y módulo de finura.

Tabla 10

Clasificación del concreto según tamaño máximo de agregado y sus usos

Tipo de concreto	Tamaño máximo (mm)	Usos
De grava fina	4.75 - 19	Columnas, muros, elementos esbeltos.
De grava común	19 - 37.5	Estructuras convencionales.
De grava gruesa	37.5 - 150	Pavimentos, presas.
Ciclópeo	> 150	Cimentaciones, rellenos.

Fuente. Adaptado de ACI 211.1 (2022).

Se desarrolló mediante la clasificación de los tipos de concreto según el tamaño máximo del agregado y sus usos típicos, como se detalla en la Tabla 10.

Estimación del Contenido de Agua y Aire en la Mezcla (ACI 211.1).

El tamaño máximo, la forma y la gradación de los agregados determinaban la cantidad de agua por m³ necesaria para lograr un asentamiento dado.

Tabla 11

Volumen de agua de mezclado para concreto con y sin aire incorporado según asentamiento y tamaño máximo de agregado

Asentamiento (pulg)	Volumen de agua en litros por metro cúbico (l/m ³) para el tamaño nominal máximo del agregado grueso y consistencia especificada							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concreto sin aire incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	-
Concreto con aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	-

Fuente. Adaptado de ACI 211.1 (2022).

Se desarrolló mediante el volumen aproximado de agua de mezclado requerido para diferentes rangos de asentamiento según el tamaño máximo del agregado y la presencia de aire incorporado, como se detalla en la Tabla 11.

Para un tamaño máximo nominal (TMN) del agregado grueso de 3/4" y un asentamiento de 3" a 4" sin aire incorporado, se determinó un volumen de 205 l/m³ de agua para el diseño de mezcla, tal como se especificó en la tabla anterior.

Selección de la Relación Agua/Cemento (a/c) (ACI 211.1).

Respecto a la elección de la relación agua-cemento (a/c), se optó por el valor más bajo, dentro de los límites permitidos por las especificaciones técnicas, como se detalla a continuación:

Tabla 12

Relación a/c y resistencia a la compresión a 28 días para concreto con y sin aire incorporado

Resistencia a la compresión a los 28 días (kg/cm ²)	Relación a/c de diseño en peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
450	0.38	-
420	0.41	-
400	0.43	-
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
280	0.57	0.48
250	0.62	0.53
210	0.68	0.59
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71
140	0.82	0.74

Fuente. Adaptado de ACI 211.1 (2022).

Se desarrolló mediante la relación entre el agua/cemento (a/c) y la resistencia a la compresión del concreto a los 28 días para mezclas con y sin aire incorporado, como se detalla en la Tabla 12.

Utilizando el método de interpolación, se estimó la relación agua-cemento necesaria para alcanzar una resistencia a la compresión de 294 kg/cm², donde se obtuvo un valor de 0.55. Como se observó en la tabla anterior, a medida que la resistencia aumentaba, la relación de a/c disminuía.

Cálculo del Contenido de Cemento (ACI 211.1).

La cantidad de cemento por unidad de volumen del concreto se calculó dividiendo la cantidad de agua entre la relación agua-cemento.

Contenido de Aire Atrapado (ACI 211.1).

A pesar de que el concreto no iba a tener aire incorporado, se consideró que siempre habrá un porcentaje de aire atrapado en la mezcla, la cual dependió de las características de los agregados utilizados. Para medir con exactitud el volumen de aire atrapado en el concreto fresco y el contenido total de aire en una mezcla, se utilizaron los procedimientos de ensayo definidos en la norma NTP 339.081.

Tabla 13

Contenido de aire atrapado en concreto según tamaño máximo nominal del agregado

Tamaño máximo nominal del agregado (pulg)	Tamaño máximo nominal del agregado (mm)	Cantidad de aire atrapado (%)
3/8"	9.5	3.0
1/2"	12.5	2.5
3/4"	19	2.0
1"	25	1.5
1 1/2"	37.5	1.0
2"	50	0.5
3"	75	0.3

Fuente. Norma técnica peruana 339.081 (2018).

Se desarrolló mediante la cantidad de aire atrapado en mezclas de concreto según el tamaño máximo nominal del agregado (TMN), como se detalla en la Tabla 13.

Se estableció un contenido de aire del 2.0% para las mezclas, dado que el tamaño máximo nominal del agregado grueso utilizado fue de 3/4". En la tabla anterior, se observó que existía una relación directa entre el tamaño máximo nominal del agregado grueso y el contenido de aire atrapado.

Estimación del Contenido de Agregado Grueso (ACI 211.1).

Se presentó una relación entre el tamaño máximo nominal (TMN) del agregado grueso, el módulo de finura del agregado fino y el volumen de agregado grueso por metro cúbico de concreto,

con una trabajabilidad específica. Estos parámetros fueron esenciales para el diseño de mezclas de concreto.

Tabla 14

Volumen de agregado grueso compactado por unidad de volumen de concreto según tamaño máximo nominal y módulo de finura del agregado fino

Tamaño máximo nominal del agregado grueso		Volumen de agregado grueso compactado por unidad de volumen para concreto para diferentes módulos de finura de agregado fino			
(pulg)	(mm)	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	9.5	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	19	0.66	0.64	0.62	0.59
1"	25	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	37.5	0.75	0.73	0.71	0.69
2"	50	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	75	0.82	0.80	0.78	0.76
6"	150	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente. Adaptado de ACI 211.1 (2022).

Se desarrolló mediante el volumen recomendado de agregado grueso en estado compactado por unidad de volumen de concreto según el tamaño máximo nominal del agregado y el módulo de finura del agregado fino, como se detalla en la Tabla 14.

Para calcular el peso total, se multiplicó el peso unitario compactado del agregado grueso por un factor que variaba según el módulo de finura.

Volumen Absoluto del Concreto (ACI 211.1).

Al realizar un recuento de los materiales y sus pesos previamente calculados, se determinó el volumen de los materiales que conformaron el metro cúbico de concreto.

Corrección por Humedad de los Agregados (ACI 211.1).

La cantidad de agua necesaria en la mezcla de concreto se ajustó en base a la capacidad de absorción de los agregados, la cual dependió de su humedad natural.

Corrección por Absorción de los Agregados (ACI 211.1).

La corrección por absorción, también conocida como ajuste por humedad superficial del agregado.

Proporciones en Peso de los Agregados (ACI 211.1).

Se utilizaron las siguientes proporciones de agregados en la mezcla de concreto: cemento, agregado fino, agregado grueso y agua.

Proporciones en Volumen de los Agregados (ACI 211.1).

Se determinaron los volúmenes de los agregados del concreto en estado suelto.

Diseño de Mezcla para la Elaboración del Concreto (ACI 211.1).

Se optó por el método ACI 211.1 para el diseño de la mezcla, dado que este es un procedimiento establecido que detalla los pasos necesarios para el dosificado de concretos sustituyendo el agregado fino por los porcentajes de 2%, 5% y 7%. Este método considera las correcciones por humedad de los agregados y permite realizar ajustes basados en mezclas de prueba.

a. Materiales y/o equipos

Agregados fino y grueso de 3/4"

Cemento Pacasmayo (Tipo I)

Agua (E.P.S. Marañón)

Mezcladora de concreto (Marca: Ingco), (Modelo: CM30-1220V)

Molde circular (acero inoxidable)

Balde de plástico (polietileno de alta densidad) (capacidad 20 l)

Cucharón de despacho de 1 kg (acero inoxidable)

Balanza (con aproximación de ± 1 g y exactitud a $\pm 0,1\%$)

Pizarra acrílica (pequeña)

Plumones acrílicos (rojo y azul)

b. Procedimiento del ensayo

Se elaboró una mezcla patrón de concreto, diseñada para alcanzar una resistencia a la compresión de $f'c=294$ kg/cm², utilizando el método de diseño por peso volumétrico establecido por el ACI 211.1. Para la dosificación, se emplearon los siguientes materiales: cemento Portland Tipo I (marca Pacasmayo), agregado fino y agregado grueso con un tamaño máximo nominal de 3/4", ambos procedentes de la cantera Josecito, y agua potable suministrada por la empresa EPS Maraón.

Todos los materiales se incorporaron en una mezcladora de concreto eléctrica, lo que garantizó una mezcla homogénea y una distribución uniforme de los componentes. Posteriormente, se diseñaron tres mezclas adicionales utilizando los mismos materiales base, pero se sustituyó de fibra geométricas de PET. Esta sustitución se realizó en proporciones de 2%, 5% y 7% calculadas en función del peso total del del agregado fino.

Ensayo de Asentamiento del Concreto o Slump (NTP 339.035).

a. Materiales y/o equipos

Molde circular (acero inoxidable)

Varilla compactadora (de 3/8")

Martillo (goma)

Base (acero inoxidable)

Flexómetro (10 m)

Cono de Abrams (altura 300 mm, base inferior 200 mm y superior 100 mm)

Pizarra acrílica (pequeña)

Plumones acrílicos (rojo y azul)

b. Procedimiento del ensayo

Para llevar a cabo la prueba de asentamiento del concreto, se inició humedeciendo el molde cónico de Abrams y colocándolo sobre una base de metal estable. A continuación, se vertió la mezcla de concreto en tres capas cubriendo previamente su superficie interna. Seguidamente, se llevó a cabo un proceso de compactación manual, aplicando 25 golpes por capa con una varilla metálica en forma de espiral. Después de cada capa, se eliminó el aire atrapado golpeando la mezcla con un martillo de goma. Finalmente, se retiró cuidadosamente el molde y se midió la diferencia entre la altura del molde y la altura promedio de la superficie del cono de concreto deformado; para ello, se realizó la medición del asentamiento en un lapso no menor a 5 segundos después de retirar el molde.

Figura 21

Ensayo de Asentamiento del Concreto o Slump



Fuente. Elaboración propia (2025).

Ensayo de Contenido de Aire (NTP 339.081).

a. Materiales y/o equipos

Medidor tipo B

Tazón en forma cilíndrica

Tapa con dial de lectura de presión calibrado para indicar el porcentaje de aire.

Recipiente de calibración

Paleta de albañilería

Varilla de apisonamiento

Martillo de goma

Barra de corte

b. Procedimiento del ensayo

Humedecer el tazón y ponerlo en una superficie plana, firme y nivelada, el concreto se coloca en tres capas de volumen aproximadamente igual cada capa con 25 golpes con la barrilla de apisonamiento, luego golpear las caras del tazón 10 a 15 veces con el martillo de goma, una vez lleno cortar la superficie superior resbalando la barra de corte a través del borde.

Cerrar la válvula de la cámara de aire y bombear hasta que la aguja del manómetro alcance la línea de presión inicial. Permitir unos segundos para que el aire comprimido se estabilice a la temperatura ambiente. Ajustar la aguja del dial en la línea de presión inicial mediante bombeo o liberación de aire, según sea necesario, golpeando ligeramente el dial con los dedos para estabilizarla.

Posteriormente, cerrar ambas llaves de purga y abrir la válvula de la cámara de aire. Golpear suavemente las caras del tazón con un martillo de goma para eliminar posibles restricciones locales. Repetir el golpeteo ligero del dial con los dedos para asegurar la estabilidad de la aguja. Finalmente, registrar el porcentaje de aire indicado en el manómetro.

Figura 23

Ensayo de Temperatura de la Mezcla



Fuente. Elaboración propia (2025).

Ensayo de Peso Unitario del Concreto Fresco (NTP 339.046).

a. Materiales y/o equipos

Molde circular (acero inoxidable)

Martillo (goma)

Varilla compactadora (de 3/8")

Cucharón de despacho de 1 kg (acero inoxidable)

Balanza (con aproximación de ± 1 g y exactitud a $\pm 0,1\%$)

Pizarra acrílica (pequeña)

Plumones acrílicos (rojo y azul)

b. Procedimiento del ensayo

El procedimiento consistió en llenar el molde metálico en tres capas debidamente compactadas, aplicando 12 golpes con un martillo de goma en cada una de ellas. Se registró

previamente el peso del molde vacío y, posteriormente, se registró el peso del molde con concreto. Con el volumen ya definido, se procedió a calcular el peso unitario del concreto en estado fresco.

Figura 24

Ensayo de Peso Unitario del Concreto Fresco



Fuente. Elaboración propia (2025).

Elaboración y Curado de Especímenes de Hormigón (Concreto) en el Laboratorio (NTP 339.183)

La elaboración de los especímenes de concreto se basó en el procedimiento que debe seguir normas técnicas establecidas (como la NTP 339.034 o la ASTM C31/C39) para garantizar resultados confiables y representativos. Para ello, se fabricaron 36 muestras de las cuales están subdivididas en 3 para concreto patrón, 3 para sustitución del 2%, 3 para sustitución del 5% y 3 para sustitución del 7%.

a. Materiales y/o equipos

Moldes de especímenes (6 x 10 x 20 cm)

Brocha (3" con mango de plástico)

Balanza (con aproximación de ± 1000 g y exactitud a $\pm 0,1\%$)

Varilla compactadora (de 3/8")

Martillo (goma)

b. Procedimiento del ensayo

Engrasar los moldes (NTP 339.183). Los moldes fueron engrasados con grasa de litio (Li) multiusos (EP-2 Roja Vistony) para evitar la adhesión del concreto a las paredes del molde. Este procedimiento resultó fundamental para facilitar el desmoldeo de los especímenes, asegurando que mantuvieran su forma y superficie adecuada.

Introducir el material en los moldes (NTP 339.183). Se vertió la mezcla de concreto en los moldes. Este procedimiento aseguró que los especímenes cumplieran con las especificaciones dimensionales requeridas.

Compactar el concreto en el molde (NTP 339.183). Se compactó cada capa de la mezcla de concreto dentro del molde utilizando una varilla metálica graduada, lo que permitió eliminar las burbujas de aire y asegurar una mayor densidad, así como una distribución homogénea de la mezcla (NTP 339.183).

Desmoldar los especímenes (NTP 339.183). Transcurridas $24 \text{ h} \pm 8 \text{ h}$ después del vaciado, se desmoldaron los especímenes y fueron sumergidos en una tina (polipropileno) de curado para iniciar el proceso de endurecimiento. Posteriormente, fueron retirados a los 28 días (NTP 339.183).

Una vez desmoldados, los especímenes fueron curados en un cuarto de humedad a una temperatura constante de $23 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$, manteniendo una humedad relativa no menor al 95%. Se garantizó la estabilidad de la temperatura del agua mediante el uso de un termómetro digital. Además, se evitó la exposición directa de los especímenes a la luz solar y al viento, así como a chorros o corrientes de agua, condiciones que podrían haber acelerado la evaporación del agua, tal como lo estipula la NTP 339.183.

Durante las primeras 48 horas del curado, el almacenamiento se realizó en un ambiente libre de vibraciones, lo que contribuyó a un proceso de endurecimiento uniforme. El curado se llevó a cabo utilizando una tina de plástico (polipropileno) para el almacenamiento de agua, cumpliendo con los requisitos establecidos en la NTP 334.077. Este proceso se extendió por un período de 28 días, con retiradas programadas de los especímenes a los 7, 14 y 28 días para evaluar su progreso en el endurecimiento.

Figura 25

Elaboración de los especímenes



Fuente. Elaboración propia (2025).

Procedimiento de Ensayos de Laboratorio para el análisis del concreto endurecido

El ensayo de resistencia a la compresión y flexión del concreto a los 28 días tiene como finalidad evaluar el comportamiento mecánico del material frente a esfuerzos de carga axial y de flexión. En esta investigación se analizaron especímenes con diseños zigzag, circular y rombo, incorporando sustituciones del 0 %, 2 %, 5 % y 7 % de material reciclado en la mezcla. El propósito fue determinar cómo la forma del modelo y el porcentaje de sustitución influyen en la resistencia estructural y la ductilidad del concreto, identificando las configuraciones más eficientes para optimizar su desempeño.

Tabla 15

Normativas del ensayo para determinar las propiedades mecánicas del concreto endurecido

Ensayo		Referencias normativas	
Resistencia a la compresión	MTC E 704	NTP 339.034	ASTM C 39
Resistencia a la flexión	MTC E 709	NTP 339.078	ASTM C 78

Fuente. Elaboración propia (2025).

Se desarrolló mediante el ensayo estandarizado para evaluar las propiedades mecánicas del concreto en estado endurecido, conforme a las normas del MTC E, NTP y ASTM, como se detalla en la Tabla 15.

Ensayo de Resistencia a la Compresión del Concreto (NTP 399.034).

a. Materiales y/o equipos

36 especímenes de concreto

Prensa de concreto (Marca: PINZUAR), (Modelo: PC-42)

Balanza (con aproximación de ± 1 g y exactitud a $\pm 0,1\%$)

Guantes de látex (policloruro de vinilo)

Lentes de plástico (resina de policarbonato)

Calibrador Vernier (Marca: INSIZE), (Modelo:1108-200W)

Libreta de apuntes (Marca: Moleskine), (Modelo: Classic)

Pizarra acrílica (pequeña)

Plumones acrílicos (rojo y azul)

b. Procedimiento del ensayo

Para la colocación de la muestra en el ensayo de compresión, se ubica el bloque de carga inferior en la plataforma de la máquina y se limpia junto con el bloque superior. Luego, se coloca el espécimen alineando su eje con el centro de presión del bloque superior, asegurando la correcta posición de la rótula y verificando que el indicador de carga esté en cero antes de iniciar el ensayo.

La aplicación de la carga debe realizarse de forma continua y sin impactos, con una velocidad controlada de $0,25 \pm 0,05$ MPa/s (35 ± 7 psi/s), manteniéndose constante al menos durante la segunda mitad del ciclo. La carga se incrementa hasta que comienza a disminuir de manera continua, indicando la falla del cilindro, la cual debe presentar un patrón definido. Se

registra la carga máxima soportada y el tipo de falla observado. Si la resistencia obtenida es menor a la esperada, se inspecciona el espécimen en busca de defectos, segregación o problemas en el refrentado.

Tabla 16

Edades de ensayo y tolerancias permisibles para la prueba de resistencia a la compresión

Edad de ensayo	Tolerancia permisible
1 d	± 0.5 h o 2.1%
3 d	± 2 h o 2.8%
7 d	± 6 h o 3.6%
14 d	± 12 h o 3.6%
28 d	± 20 h o 3.0%
56 d	± 24 h o 1.8%
90 d	± 48 h o 2.2%

Fuente. Norma técnica peruana 339.034 (2021).

Se desarrolló mediante las edades recomendadas para evaluar la resistencia a la compresión del concreto y las tolerancias admisibles en el tiempo de ensayo según la NTP 339.034, como se detalla en la Tabla 16.

Figura 26

Ensayo de Resistencia a la Compresión



Fuente. Elaboración propia (2025).

Ensayo de Resistencia a la Flexión del Concreto (NTP 399.034).

a. Materiales y/o equipos

36 vigas de concreto

Prensa de concreto (Marca: PINZUAR), (Modelo: PC-42)

Balanza (con aproximación de ± 1 g y exactitud a $\pm 0,1\%$)

Guantes de látex (policloruro de vinilo)

Lentes de plástico (resina de policarbonato)

Calibrador Vernier (Marca: INSIZE), (Modelo:1108-200W)

Libreta de apuntes (Marca: Moleskine), (Modelo: Classic)

Pizarra acrílica (pequeña)

Plumones acrílicos (rojo y azul)

Apoyos y rodillos de carga

b. Procedimiento del ensayo

En el ensayo de flexión del concreto, la muestra se centra entre los apoyos y los rodillos de carga, aplicando inicialmente entre 3 % y 6 % de la carga estimada. Se verifican los contactos con calibradores y se corrigen irregularidades mediante refrentado o láminas de cuero. La carga se aplica de forma continua y sin impactos, con una tasa de incremento de 0,9 a 1,2 MPa/min, hasta la rotura del espécimen. Finalmente, se miden las dimensiones promedio y la línea de fractura para el análisis de resultados.

Figura 27

Ensayo de Resistencia a la Flexión



Fuente. Elaboración propia (2025).

2.7. Análisis de Datos

El análisis estadístico se llevó a cabo con el programa IBM SPSS Statistics, utilizando un nivel de significancia del 5% ($\alpha = 0,05$), con el propósito de evaluar el efecto de la forma geométrica (zigzag, rombo y circular) y el porcentaje de sustitución del agregado fino (0% -grupo patrón-, 2%, 5% y 7%) sobre la resistencia a la compresión y flexión a los 28 días. El procedimiento se basó en verificar la normalidad de los datos para cada combinación de variables mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Cuando se cumplía el supuesto de normalidad ($p > 0,05$), se aplicaba la prueba paramétrica ANOVA de un factor, y si este análisis indicaba diferencias significativas, se procedía con una prueba post hoc de Tukey para identificar las comparaciones específicas responsables de dichas diferencias.

III. RESULTADOS

3.1. Evaluar la influencia de fibras geométricas de tereftalato de polietileno en la resistencia al concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, Jaén 2025.

Tabla 17

Resumen de los resultados obtenidos

Mezcla	Compresión 28 días (kg/cm ²)	Flexión 28 días (kg/cm ²)	Observaciones generales
Zigzag 0%	268.25	52.59	Mezcla de referencia
Zigzag 2%	269.63	56.27	Mejor desempeño en todas las propiedades evaluadas para la forma zigzag.
Zigzag 5%	215.23	53.88	Disminuye la resistencia a compresión significativamente, pero aumenta la resistencia a flexión.
Zigzag 7%	165.29	45.73	Reducción significativa en todas las propiedades para la forma zigzag.
Rombo 0%	266.04	52.78	Mezcla de referencia
Rombo 2%	275.66	47.76	Mejor desempeño en todas las propiedades evaluadas para la forma rombo.
Rombo 5%	222.53	40.48	Disminuye la resistencia a compresión y flexión significativamente.
Rombo 7%	173.66	34.64	Reducción significativa en todas las propiedades para la forma rombo.
Circular 0%	267.50	53.08	Mezcla de referencia
Circular 2%	281.42	32.91	Mejor desempeño en todas las propiedades evaluadas para la forma circular.
Circular 5%	229.48	28.13	Disminuye la resistencia a compresión y flexión significativamente.
Circular 7%	184.26	23.79	Reducción significativa en todas las propiedades para la forma circular.

Fuente. Elaboración propia (2025).

Se muestra que la sustitución del 2% de agregado fino con PET incrementa la resistencia a la compresión en todas las formas geométricas, destacando la forma circular con el mayor valor

(281.42 kg/cm²); sin embargo, en la resistencia a la flexión se observa un comportamiento contrastante, ya que en las formas zigzag y rombo se mantiene o aumenta, mientras que en la circular disminuye considerablemente. Asimismo, al incrementar la sustitución al 5% y 7%, ambas resistencias disminuyen significativamente respecto a la mezcla de referencia (0%), independientemente de la forma geométrica, como se detalla en la Tabla 17.

Tabla 18

Análisis estadístico de la investigación

Propiedad	Prueba de la normalidad (p-valor)	Prueba de ANOVA (p-valor)	Prueba de Post Hoc (Tukey)
Compresión	0.942	0.000	0.000
Flexión	0.806	0.000	0.000

Fuente. Elaboración propia (2025).

Se presenta el análisis estadístico resumido para la resistencia a la compresión y a la flexión, donde los datos cumplieron con el supuesto de normalidad, permitiendo aplicar la prueba ANOVA de un factor. Posteriormente, la prueba post hoc de Tukey permitió identificar que estas diferencias se presentan entre determinados porcentajes de sustitución y formas geométricas, como se detalla en la Tabla 18.

3.2. Medir la resistencia a compresión y flexión del concreto sustituyendo fibras geométricas PET respecto al agregado fino.

3.2.1. Determinación de la Resistencia a la Compresión del Concreto (NTP 339.034).

Se realizaron pruebas de resistencia a la compresión en los especímenes de concreto, de acuerdo con la norma NTP 339.034, para el concreto patrón y las demás sustituciones respecto al agregado fino 2%, 5% y 7% con fibras geométricas PET (zigzag, rombo, circular) a una edad de 28 días. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 19

Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de los especímenes de concreto con sustitución de forma geométrica zigzag 0%, 2%, 5% y 7% respecto al agregado fino.

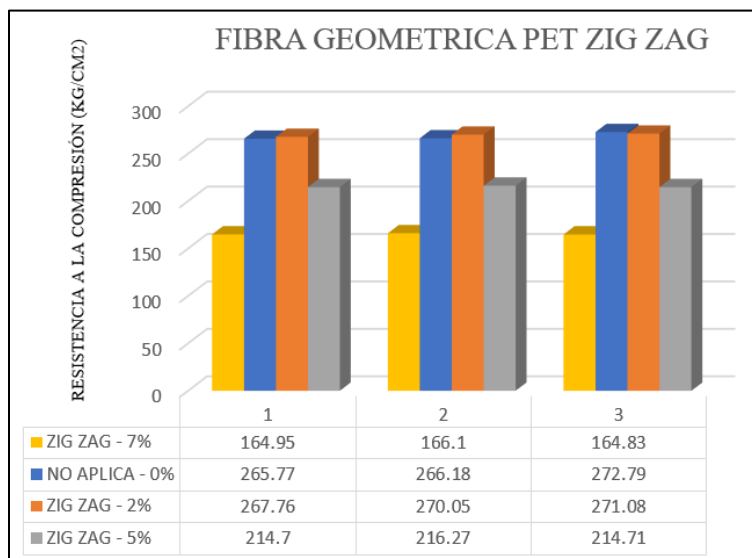
Forma geométrica del PET / (% sustitución)	Resistencia a la compresión (kg/cm²)	Resistencia promedio (kg/cm²)
No Aplica - 0%	265.77	268.25
	266.18	
	272.79	
Zigzag - 2%	267.76	269.63
	270.05	
	271.08	
Zigzag - 5%	214.70	215.23
	216.27	
	214.71	
Zigzag - 7%	164.95	165.29
	166.10	
	164.83	

Fuente. F&M (2025).

Se presentan los resultados del efecto de la sustitución del agregado fino por fibras de PET en forma de zigzag sobre la resistencia a la compresión del concreto en diferentes porcentajes, como se detalla en la Tabla 19.

Figura 28

Variación de la resistencia a compresión del concreto con sustitución con fibra PET en forma zigzag a los 28 días.



Fuente. Elaboración propia (2025).

El comportamiento de la resistencia a la compresión del concreto con fibra geométrica de PET en forma de zigzag para distintas dosificaciones (0 %, 2 %, 5 % y 7 %) muestra que las mezclas con 0 % y 2 % alcanzan las mayores resistencias, superando los 268.25 kg/cm², con un ligero predominio en la dosificación de 2 %. Sin embargo, al incrementarse la proporción al 5 % y 7 %, la resistencia disminuye progresivamente hasta 215.23 kg/cm² y 165.29 kg/cm², evidenciando que mayores contenidos de fibra reducen la capacidad resistente del material, como se detalla en la Figura 28.

Tabla 20

Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de los especímenes de concreto con sustitución de forma geométrica rombo 0%, 2%, 5% y 7% respecto al agregado fino.

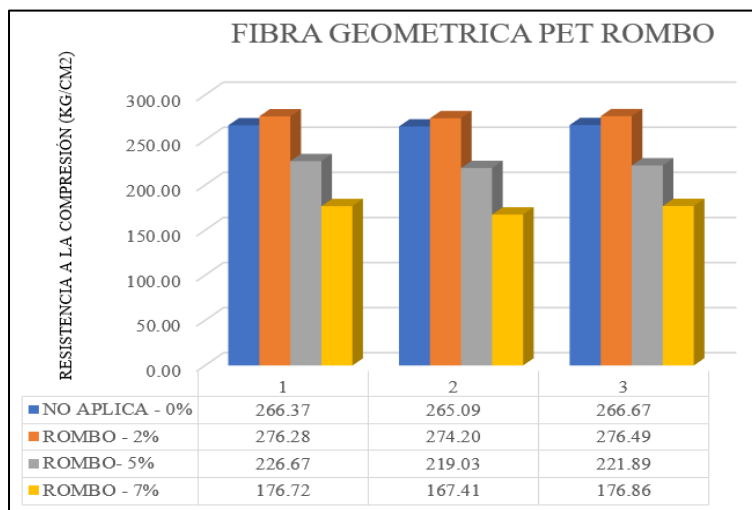
Forma geométrica del PET / (% sustitución)	Resistencia a la compresión (kg/cm²)	Resistencia promedio (kg/cm²)
No Aplica - 0%	266.37	266.04
	265.09	
	266.67	
Rombo - 2%	276.28	275.66
	274.20	
	276.49	
Rombo - 5%	226.67	222.53
	219.03	
	221.89	
Rombo - 7%	176.72	173.66
	167.41	
	176.86	

Fuente. F&M (2025).

La sustitución del agregado fino por fibras de PET en forma de zigzag muestra que con un 2 % de reemplazo la resistencia a la compresión se mantiene prácticamente similar al concreto de referencia, alcanzando 275.66 kg/cm² frente a 266.04 kg/cm². Sin embargo, al incrementarse la dosificación al 5 % y 7 %, la resistencia disminuye notablemente hasta 222.53 kg/cm² y 173.66 kg/cm², evidenciando que porcentajes mayores al 2 % afectan negativamente la capacidad resistente del material compuesto, como se detalla en la Tabla 20.

Figura 29

Variación de la resistencia a compresión del concreto con sustitución con fibra PET en forma rombo a los 28 días.



Fuente. Elaboración propia (2025).

El comportamiento de la resistencia a la compresión del concreto con fibra geométrica de PET en forma de zigzag para distintas dosificaciones (0 %, 2 %, 5 % y 7 %) evidencia que las mezclas con 0 % y 2 % de fibra alcanzan las mayores resistencias, superando los 266.04 kg/cm², con un ligero predominio en la dosificación de 2 %. Sin embargo, al incrementarse la proporción al 5 % y 7 %, la resistencia disminuye progresivamente hasta valores cercanos a 222.53 kg/cm² y 173.66 kg/cm², lo que sugiere que mayores contenidos de fibra reducen la compacidad de la mezcla y, en consecuencia, su capacidad resistente, como se detalla en la Figura 29.

Tabla 21

Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de los especímenes de concreto con sustitución de forma geométrica circular 0%, 2%, 5% y 7% respecto al agregado fino.

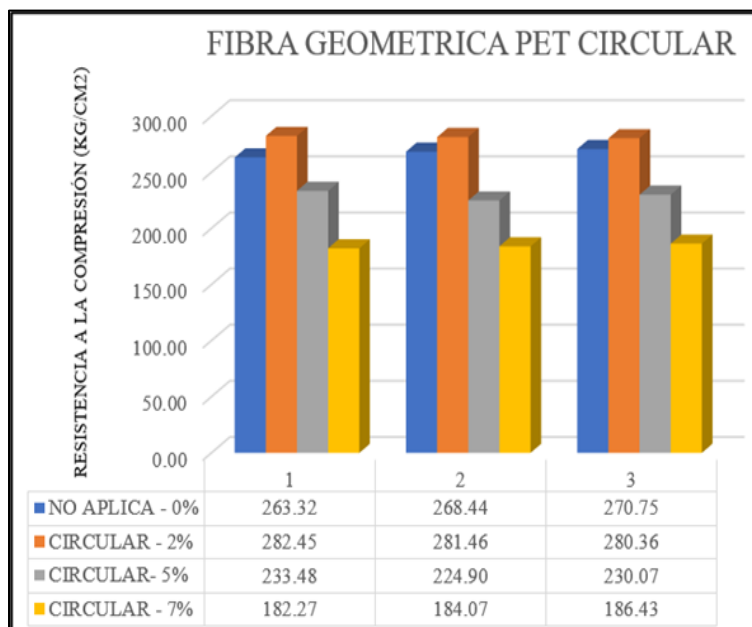
Forma geométrica del PET / (% sustitución)	Resistencia a la compresión (kg/cm²)	Resistencia promedio (kg/cm²)
No Aplica - 0%	263.32	267.50
	268.44	
	270.75	
Circular - 2%	282.45	281.42
	281.46	
	280.36	
Circular - 5%	233.48	229.48
	224.90	
	230.07	
Circular - 7%	182.27	184.26
	184.07	
	186.43	

Fuente. F&M (2025).

La sustitución del agregado fino por fibras de PET en forma de zigzag muestra que con un 2 % de reemplazo la resistencia a la compresión presenta un ligero incremento, alcanzando 281.42 kg/cm² frente a 267.50 kg/cm² del concreto de referencia sin PET. No obstante, al incrementarse la dosificación al 5 % y 7 %, la resistencia disminuye notablemente hasta 229.48 kg/cm² y 184.26 kg/cm², evidenciando que porcentajes superiores al 2 % afectan negativamente la capacidad resistente del material compuesto, como se detalla en la Tabla 21.

Figura 30

Variación de la resistencia a compresión del concreto con sustitución con fibra PET en forma circular a los 28 días.



Fuente. Elaboración propia (2025).

El comportamiento de la resistencia a la compresión del concreto con fibra geométrica de PET en forma de zigzag para diferentes dosificaciones (0 %, 2 %, 5 % y 7 %) evidencia que las mezclas con 0 % y 2 % alcanzan las mayores resistencias, superiores a 267.50 kg/cm², con un ligero predominio en la dosificación de 2 %. Sin embargo, al incrementarse la proporción al 5 % y 7 %, la resistencia disminuye progresivamente hasta valores cercanos a 229.48 kg/cm² y 184.26 kg/cm², lo que indica que contenidos elevados de fibra reducen la capacidad resistente del material, como se detalla en la Figura 30.

Tabla 22

Resultados promedio del ensayo de resistencia a la compresión de los especímenes de concreto con sustitución de forma geométrica 0%, 2%, 5% y 7% respecto al agregado fino.

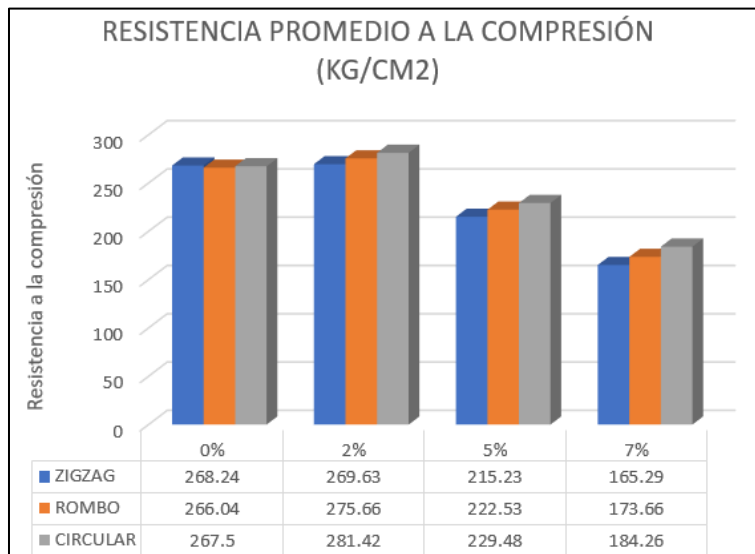
Forma geométrica del PET	Porcentaje de sustitución	Resistencia promedio a la compresión (kg/cm²)
Zigzag	0 %	268.24
	2 %	269.63
	5 %	215.23
	7 %	165.29
Rombo	0 %	266.04
	2 %	275.66
	5 %	222.53
	7 %	173.66
Circular	0 %	267.50
	2 %	281.42
	5 %	229.48
	7 %	184.26

Fuente. F&M (2025).

La resistencia a la compresión del concreto sustituido con fibras geométricas de PET (zigzag, rombo y circular) en porcentajes de 0 %, 2 %, 5 % y 7 % evidencia que con una dosificación del 2 % la resistencia se mantiene o presenta un ligero incremento en las tres formas, alcanzando el valor máximo con la fibra de forma circular (281.42 kg/cm²). Sin embargo, al incrementarse los porcentajes al 5 % y 7 %, la resistencia disminuye notablemente en todos los casos, registrándose el menor valor con la forma zigzag al 7 % (165.29 kg/cm²), lo que sugiere que el 2 % constituye el porcentaje óptimo de sustitución, como se detalla en la Tabla 22.

Figura 31

Variación de la resistencia promedio a la compresión del concreto con sustitución con fibra PET a los 28 días.



Fuente. Elaboración propia (2025).

La relación entre la forma geométrica del PET, el porcentaje de sustitución y la resistencia a la compresión evidencia que las barras correspondientes al 2 % de sustitución son consistentemente las más altas dentro de sus respectivos grupos, superando en todos los casos a las del 0 %, destacando la forma circular como la combinación más eficiente. Asimismo, la disminución marcada en los porcentajes de 5 % y 7 % indica la existencia de un umbral a partir del cual la sustitución de PET afecta negativamente la resistencia estructural del concreto, como se detalla en la Figura 31.

3.2.2. Determinación de la Resistencia a la Flexión del Concreto (NTP 339.059).

Tabla 23

Resultados del ensayo de resistencia a la flexión de las vigas de concreto con sustitución de forma geométrica zigzag 0%, 2%, 5% y 7% respecto al agregado fino.

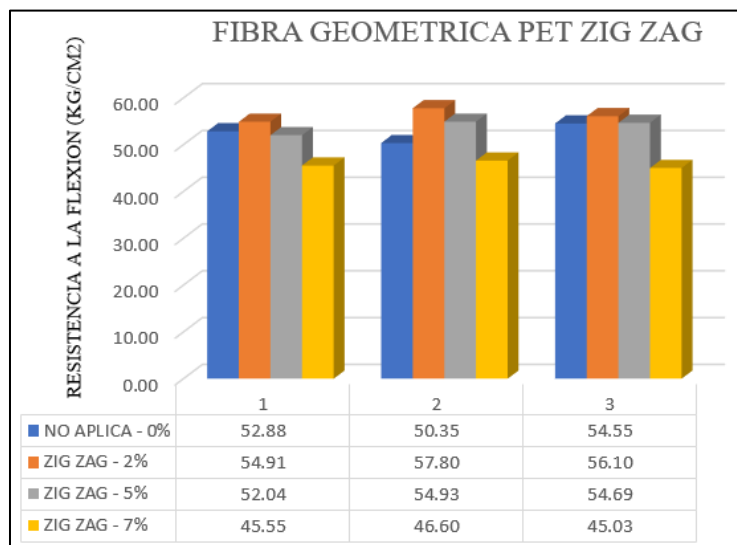
Forma geométrica del PET / (% sustitución)	Resistencia a la flexión (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)
No Aplica - 0%	52.88	52.59
	50.35	
	54.55	
Zigzag - 2%	54.91	56.27
	57.80	
	56.10	
Zigzag - 5%	52.04	53.88
	54.93	
	54.69	
Zigzag - 7%	45.55	45.73
	46.60	
	45.03	

Fuente. F&M (2025).

La sustitución del agregado fino por fibras de PET en forma de zigzag sobre la resistencia a la flexión muestra que con un 2 % de reemplazo los valores se mantienen similares al concreto de referencia, alcanzando 56.27 kg/cm² frente a 52.59 kg/cm². Sin embargo, al incrementarse la dosificación al 5 % y 7 %, la resistencia disminuye a 53.88 kg/cm² y 45.73 kg/cm², evidenciando que porcentajes superiores al 2 % afectan negativamente la capacidad flexional del material, como se detalla en la Tabla 23.

Figura 32

Variación de la resistencia a la flexión del concreto con sustitución con fibra PET en forma zigzag a los 28 días.



Fuente. Elaboración propia (2025).

El comportamiento de la resistencia a la flexión del concreto con fibra geométrica de PET en forma de zigzag para diferentes dosificaciones (0 %, 2 %, 5 % y 7 %) evidencia que las mezclas con 0 % y 2 % alcanzan las mayores resistencias, con un valor máximo de 56.27 kg/cm², superior al del concreto patrón (52.59 kg/cm²). Sin embargo, al incrementarse la dosificación al 5 % y 7 %, la resistencia disminuye progresivamente hasta 53.88 kg/cm² y 45.73 kg/cm², indicando que contenidos elevados de fibra afectan negativamente la capacidad flexional del material, como se detalla en la Figura 32.

Tabla 24

Resultados del ensayo de resistencia a la flexión de las vigas de concreto con sustitución de forma geométrica rombo 0%, 2%, 5% y 7% respecto al agregado fino.

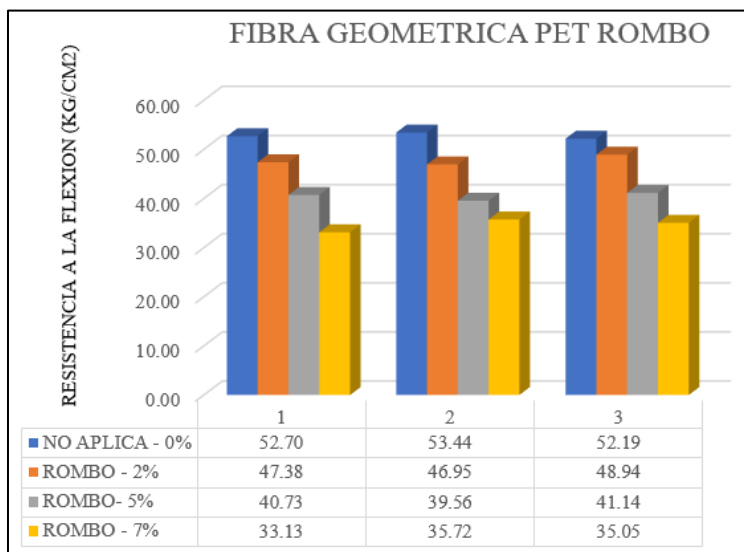
Forma geométrica del PET / (% sustitución)	Resistencia a la flexión (kg/cm²)	Resistencia promedio (kg/cm²)
NO APLICA - 0%	52.70	52.78
	53.44	
	52.19	
ROMBO - 2%	47.38	47.76
	46.95	
	48.94	
ROMBO - 5%	40.73	40.48
	39.56	
	41.14	
ROMBO - 7%	33.13	34.64
	35.72	
	35.05	

Fuente. F&M (2025).

La sustitución del agregado fino por fibras de PET en forma de rombo sobre la resistencia a la flexión evidencia que con un 2 % de reemplazo los valores se mantienen cercanos al concreto de referencia, alcanzando 47.76 kg/cm² frente a 52.78 kg/cm². Sin embargo, al incrementarse la dosificación al 5 % y 7 %, la resistencia disminuye notablemente a 40.48 kg/cm² y 34.64 kg/cm², indicando que porcentajes superiores al 2 % afectan negativamente la capacidad flexional del material, como se detalla en la Tabla 24.

Figura 33

Variación de la resistencia a la flexión del concreto con sustitución con fibra PET en forma rombo a los 28 días.



Fuente. Elaboración propia (2025).

El comportamiento de la resistencia a la flexión del concreto con fibra geométrica de PET en forma de rombo para diferentes dosificaciones (0 %, 2 %, 5 % y 7 %) evidencia que el concreto patrón (0 %) alcanza la mayor resistencia con 52.78 kg/cm², seguido por la mezcla con 2 % (47.76 kg/cm²). Al incrementarse la dosificación al 5 % y 7 %, la resistencia disminuye progresivamente hasta 40.48 kg/cm² y 34.64 kg/cm², indicando que contenidos elevados de fibra afectan negativamente la capacidad flexional del material, como se detalla en la Figura 33.

Tabla 25

Resultados del ensayo de resistencia a la flexión de las vigas de concreto con sustitución de forma geométrica circular 0%, 2%, 5% y 7% respecto al agregado fino.

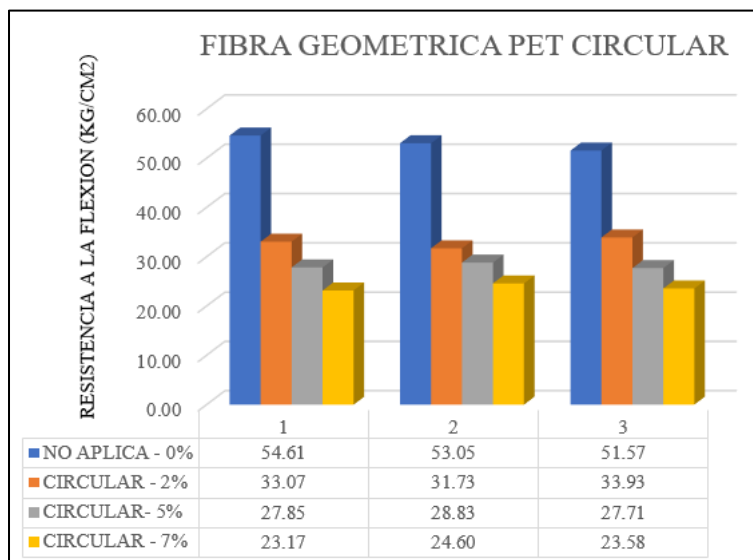
Forma geométrica del PET / (% sustitución)	Resistencia a la flexión (kg/cm²)	Resistencia promedio (kg/cm²)
NO APLICA - 0%	54.61	53.08
	53.05	
	51.57	
CIRCULAR - 2%	33.07	32.91
	31.73	
	33.93	
CIRCULAR - 5%	27.85	28.13
	28.83	
	27.71	
CIRCULAR - 7%	23.17	23.79
	24.60	
	23.58	

Fuente. F&M (2025).

La incorporación de fibras de PET en forma circular sobre la resistencia a la flexión evidencia que desde un 2 % de sustitución la resistencia disminuye a 32.91 kg/cm², valor considerablemente menor al del concreto sin PET (53.08 kg/cm²). Esta tendencia se acentúa al 5 % y 7 %, alcanzando promedios de 28.13 kg/cm² y 23.79 kg/cm², lo que indica que el PET de forma circular debilita la estructura del material compuesto incluso en bajos porcentajes, como se detalla en la Tabla 25.

Figura 34

Variación de la resistencia a la flexión del concreto con sustitución con fibra PET en forma circular a los 28 días.



Fuente. Elaboración propia (2025).

El comportamiento de la resistencia a la flexión del concreto con fibra geométrica de PET en forma circular para diferentes dosificaciones (0 %, 2 %, 5 % y 7 %) evidencia que desde un 2 % de sustitución la resistencia disminuye considerablemente a 32.91 kg/cm² respecto al concreto patrón (53.08 kg/cm²). Esta reducción se acentúa al 5 % y 7 %, alcanzando valores de 28.13 kg/cm² y 23.79 kg/cm², lo que indica que el PET de forma circular afecta negativamente la capacidad flexional del material, como se detalla en la Figura 34.

Tabla 26

Resultados promedio del ensayo de resistencia a flexión de los especímenes de concreto con sustitución de forma geométrica 0%, 2%, 5% y 7% respecto al agregado fino.

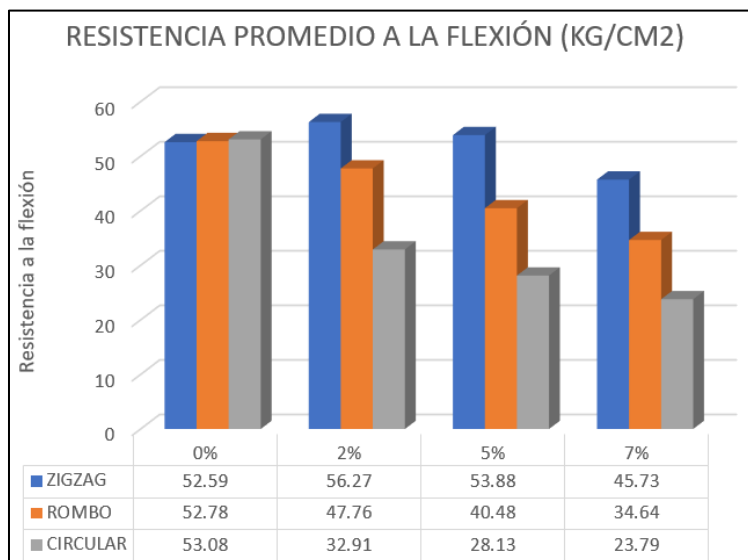
Forma geométrica del PET	Porcentaje de sustitución	Resistencia promedio a la flexión (kg/cm²)
ZIGZAG	0 %	52.59
	2 %	56.27
	5 %	53.88
	7 %	45.73
ROMBO	0 %	52.78
	2 %	47.76
	5 %	40.48
	7 %	34.64
CIRCULAR	0 %	53.08
	2 %	32.91
	5 %	28.13
	7 %	23.79

Fuente. F&M (2025).

La resistencia promedio a la flexión del concreto modificado con PET evidencia una disminución notable en la forma circular, pasando de 53.08 kg/cm² hasta 23.79 kg/cm². Por otro lado, la forma zigzag constituye una excepción, ya que con una sustitución del 2 % alcanza el valor máximo de 56.27 kg/cm², superando ligeramente al concreto de referencia (0 %), aunque al incrementarse los porcentajes al 5 % y 7 % también se observa una reducción en la resistencia, como se detalla en la Tabla 26.

Figura 35

Variación de la resistencia promedio a la flexión del concreto con sustitución con fibra PET a los 28 días.



Fuente. Elaboración propia (2025).

La relación entre la forma geométrica del PET y el porcentaje de sustitución en la resistencia a la flexión evidencia una disminución general a medida que aumenta el contenido de PET, con caídas más pronunciadas en las formas rombo y circular al pasar del 0 % al 7 %. Se destaca como mejor desempeño la combinación de 2 % de PET en forma zigzag, que supera ligeramente la resistencia del concreto de referencia, mientras que el valor más bajo corresponde a la forma circular con 7 % de sustitución, como se detalla en la Figura 35.

3.3. Comparar la resistencia a compresión y flexión del concreto patrón y con el concreto con fibras geométricas PET.

Tabla 27

Valores de Resistencia Mecánica del Concreto en Función de la Forma Interna y el Porcentaje de Modificación

FORMA	RESISTENCIA A COMPRESION (KG/CM ²)	RESISTENCIA PROMEDIO (KG/CM ²)	RESISTENCIA A FLEXION (KG/CM ²)	RESISTENCIA PROMEDIO (KG/CM ²)
ZIGZAG 0%	265.77		52.88	
ZIGZAG 0%	266.18	268.25	50.35	52.59
ZIGZAG 0%	272.79		54.55	
ZIGZAG 2%	267.76		54.91	
ZIGZAG 2%	270.05	269.63	57.80	56.27
ZIGZAG 2%	271.08		56.10	
ZIGZAG 5%	214.70		52.04	
ZIGZAG 5%	216.27	215.23	54.93	53.88
ZIGZAG 5%	214.71		54.69	
ZIGZAG 7%	164.95		45.55	
ZIGZAG 7%	166.10	165.29	46.60	45.73
ZIGZAG 7%	164.83		45.03	
ROMBO 0%	266.37		52.70	
ROMBO 0%	265.09	266.04	53.44	52.78
ROMBO 0%	266.67		52.19	
ROMBO 2%	276.28		47.38	
ROMBO 2%	274.20	275.66	46.95	47.76
ROMBO 2%	276.49		48.94	
ROMBO 5%	226.67		40.73	
ROMBO 5%	219.03	222.53	39.56	40.48
ROMBO 5%	221.89		41.14	
ROMBO 7%	176.72		33.13	
ROMBO 7%	167.41	173.66	35.72	34.64
ROMBO 7%	176.86		35.05	
CIRCULAR 0%	263.32		54.61	
CIRCULAR 0%	268.44	267.51	53.05	53.08

CIRCULAR 0%	270.75		51.57	
CIRCULAR 2%	282.45		33.07	
CIRCULAR 2%	281.46	281.42	31.73	32.91
CIRCULAR 2%	280.36		33.93	
CIRCULAR 5%	233.48		27.85	
CIRCULAR 5%	224.90	229.48	28.83	28.13
CIRCULAR 5%	230.07		27.71	
CIRCULAR 7%	182.27		23.17	
CIRCULAR 7%	184.07	184.26	24.60	23.79
CIRCULAR 7%	186.43		23.58	

Fuente. Elaboración propia (2025).

Los valores obtenidos en los ensayos de resistencia a compresión y flexión del concreto para cada porcentaje de inclusión y forma geométrica evaluada evidencian cómo la sustitución con fibras de PET afecta el comportamiento mecánico del material, mostrando variaciones según la forma y dosificación, como se detalla en la Tabla 27.

3.3.1. Comparación entre el Concreto Patrón y el Concreto con Fibras PET en Forma Zigzag

Resistencia a compresión. Los resultados muestran que el concreto patrón 0% presenta una resistencia promedio de 268.25 kg/cm², al incorporar un 2% de forma zigzag, la resistencia aumenta ligeramente hasta alcanzar un promedio de 269.63 kg/cm², lo cual indica una mejora estructural moderada. Sin embargo, al incrementar el porcentaje a 5%, la resistencia desciende abruptamente a 215.23 kg/cm², y la caída es aún más pronunciada al 7%, donde se obtiene solo 165.29 kg/cm².

Resistencia a flexión. El concreto zigzag muestra una tendencia diferente en flexión. El patrón presenta un valor medio de 52.59 kg/cm², mientras que el 2% eleva esta resistencia hasta 56.27 kg/cm², logrando la mejor respuesta flexional de toda la investigación. Al 5% la resistencia se mantiene similar al patrón 53.22 kg/cm², mientras que al 7% desciende marcadamente a 45.73 kg/cm².

3.3.2. Comparación entre el Concreto Patrón y el Concreto con Fibras PET en Forma Rombo

Resistencia a compresión. El concreto con forma rombo muestra una mejora marcada a nivel de compresión para el 2%, alcanzando un promedio de 275.66 kg/cm², superior al concreto patrón. Sin embargo, al incrementarse el porcentaje a 5%, la resistencia disminuye a 222.53 kg/cm², y al 7% cae drásticamente a 173.66 kg/cm².

Resistencia a flexión. La forma rombo presenta un comportamiento adverso en flexión. El patrón registra valores alrededor de 52.77 kg/cm², mientras que el 2% se reduce a 47.75 kg/cm², el 5% baja a 40.48 kg/cm², y el 7% desciende aún más hasta 34.63 kg/cm².

3.3.3. Comparación entre el Concreto Patrón y el Concreto con Fibras PET en Forma Circular

Resistencia a compresión. El concreto con fibra de forma circular muestra la mayor mejora inicial en compresión, el 2% alcanza un promedio de 281.42 kg/cm², superando a todas las demás formas y porcentajes evaluados. Sin embargo, al 5% la resistencia baja considerablemente a 229.48 kg/cm² y al 7% cae hasta 184.25 kg/cm².

Resistencia a flexión. Pese a la mejora en compresión, la forma circular evidencia un comportamiento claramente desfavorable en flexión. Mientras el concreto patrón muestra 53.07 kg/cm², al 2% la resistencia cae abruptamente a 32.91 kg/cm² y continúa reduciéndose en 5% (28.13 kg/cm²) y 7% (23.78 kg/cm²).

3.4. Determinar la resistencia optima a partir de los ensayos y métodos estadísticos

3.4.1. Comparar Estadísticamente la Resistencia a la Compresión de la Forma Geométrica y el Porcentaje de Sustitución

Prueba de Normalidad.

Se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para evaluar si los datos se ajustan a una distribución normal. Se optó por esta prueba debido a que el tamaño de la muestra ($n = 36$) era inferior a 50 ($n \leq 50$), criterio bajo el cual se recomienda el uso de Shapiro-Wilk. En caso de haber

contado con una muestra mayor ($n > 50$), se habría considerado el uso de la prueba de Kolmogórov-Smirnov. Para analizar la normalidad de los datos, se planteó una prueba de hipótesis con la siguiente formulación:

Hipótesis nula (**H0**): Los datos siguen una distribución normal.

Hipótesis alternativa (**Ha**): Los datos no siguen una distribución normal.

Criterios de decisión:

Si $p \leq 0.05$, se rechaza la hipótesis nula ($H0$) y se considera la hipótesis alternativa (Ha).

-Si $p > 0.05$, se considera la hipótesis nula ($H0$) y se rechaza la hipótesis alternativa (Ha).

Tabla 28

Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para la resistencia a la compresión según el porcentaje de sustitución y forma de la fibra geométrica PET

Variable dependiente	Forma geométrica de la fibra PET	Porcentaje	Shapiro-Wilk			Interpretación
			Estadístico	gl	Sig.	
Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Zigzag	0%	,794	3	,099	No hay diferencias significativas
		2%	,954	3	,588	No hay diferencias significativas
		5%	,755	3	,011	Hay diferencias significativas
		7%	,820	3	,164	No hay diferencias significativas
	Rombo	0%	,886	3	,343	No hay diferencias significativas
		2%	,818	3	,159	No hay diferencias significativas
		5%	,979	3	,725	No hay diferencias significativas
		7%	,761	3	,025	Hay diferencias significativas
	Circular	0%	,954	3	,589	No hay diferencias significativas
		2%	,999	3	,942	No hay diferencias significativas

5%	,986	3	,775	No hay diferencias significativas
7%	,994	3	,852	No hay diferencias significativas

Fuente. IBM SPSS STATISTICS (2025).

Los resultados de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk aplicada a los datos de resistencia a la compresión en función del porcentaje de sustitución del agregado fino (0 %, 2 %, 5 % y 7 %) evidencian que la mayoría de los grupos presentan valores de significancia mayores a 0.05, lo que indica que no se rechaza la hipótesis nula de normalidad (H_0). No obstante, se detectan excepciones en los grupos R_7 ($p = 0.0247$) y Z_5 ($p = 0.0106$), cuyos valores inferiores a 0.05 indican una ligera desviación de la distribución normal, como se detalla en la Tabla 27.

Prueba de Análisis de Varianza (ANOVA).

Dado que los datos cumplieron con el supuesto de normalidad, es decir, que se ajustan a una distribución normal, se justificó el uso de la prueba ANOVA para evaluar si existían diferencias significativas entre al menos dos de las medias correspondientes a las distintas dosificaciones de sustitución del agregado fino con fibras geométricas PET.

Para la aplicación del análisis de varianza (ANOVA), se plantearon las siguientes hipótesis:

Hipótesis nula (H_0): No existen diferencias significativas en la resistencia a la compresión entre los distintos tratamientos con la sustitución del agregado fino con fibras geométricas PET; es decir, las medias de los grupos son iguales ($\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6 = \mu_7 = \mu_8 = \mu_9 = \mu_{10} = \mu_{11} = \mu_{12}$).

Hipótesis alternativa (H_a): Al menos uno de los tratamientos con la sustitución del agregado fino con fibras geométricas PET genera una diferencia significativa en la resistencia a la compresión; es decir, al menos una de las medias difiere de las demás ($\mu_1 \neq \mu_2$).

Criterios de decisión:

-Si $p \leq 0.05$, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se considera la hipótesis alternativa (H_a).

-Si $p > 0.05$, se considera la hipótesis nula (H_0) y se rechaza la hipótesis alternativa (H_a).

Tabla 29

Análisis de varianza (ANOVA) para la resistencia a la compresión en función del porcentaje de sustitución del agregado fino con fibras geométricas PET

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos (Combinado)	58654,211	3	19551,404	491,600	,000
Dentro de grupos	1272,672	32	39,771		
Total	59926,883	35			

Fuente. IBM SPSS STATISTICS (2025).

El análisis de varianza (ANOVA) aplicado para evaluar las diferencias en la resistencia a la compresión del concreto según la forma del refuerzo (zigzag, rombo y circular) y el porcentaje de sustitución evidencia un valor $F(3, 32) = 491.600$ con significancia $p < 0.001$. Esto permite rechazar la hipótesis nula (H_0) de igualdad de medias y confirma que tanto la forma del refuerzo como el nivel de sustitución influyen de manera estadísticamente significativa en la resistencia a compresión, como se detalla en la Tabla 28.

Prueba Post Hoc (Tukey HSD)

Se verificó que los datos presentaran una distribución normal mediante la prueba de Shapiro-Wilk, obteniéndose valores de significancia mayores a 0.05, lo que confirmó la normalidad de los grupos. Luego se procedió con la prueba ANOVA, que mostró diferencias significativas en la resistencia a la compresión entre los grupos evaluados ($p < 0.05$). Al existir esta diferencia global, fue necesario aplicar la prueba Post Hoc (Tukey HSD) para determinar específicamente qué tratamientos difieren entre sí. Este método se seleccionó por su robustez, confiabilidad y porque controla el error tipo I en comparaciones múltiples, permitiendo identificar con precisión las combinaciones que presentan diferencias reales en los promedios de resistencia.

Tabla 30*Prueba post hoc (Tukey)*

(I) PORCENTAJE	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
2,00	-8,3056	2.97288	0.041	-16.3602	-0.2510
,00	5,00	44,8511	2.97288	36.7965	52.9057
	7,00	92,8600	2.97288	84.8054	100.9146
	,00	8,3056	2.97288	0.2510	16.3602
2,00	5,00	53,1567	2.97288	45.1021	61.2113
	7,00	101,1656	2.97288	93.1110	109.2202
	,00	-44,8511	2.97288	-52.9057	-36.7965
5,00	2,00	-53,1567	2.97288	-61.2113	-45.1021
	7,00	48,0089	2.97288	39.9543	56.0635
	,00	-92,8600	2.97288	-100.9146	-84.8054
7,00	2,00	-101,1656	2.97288	-109.2202	-93.1110
	5,00	-48,0089	2.97288	-56.0635	-39.9543

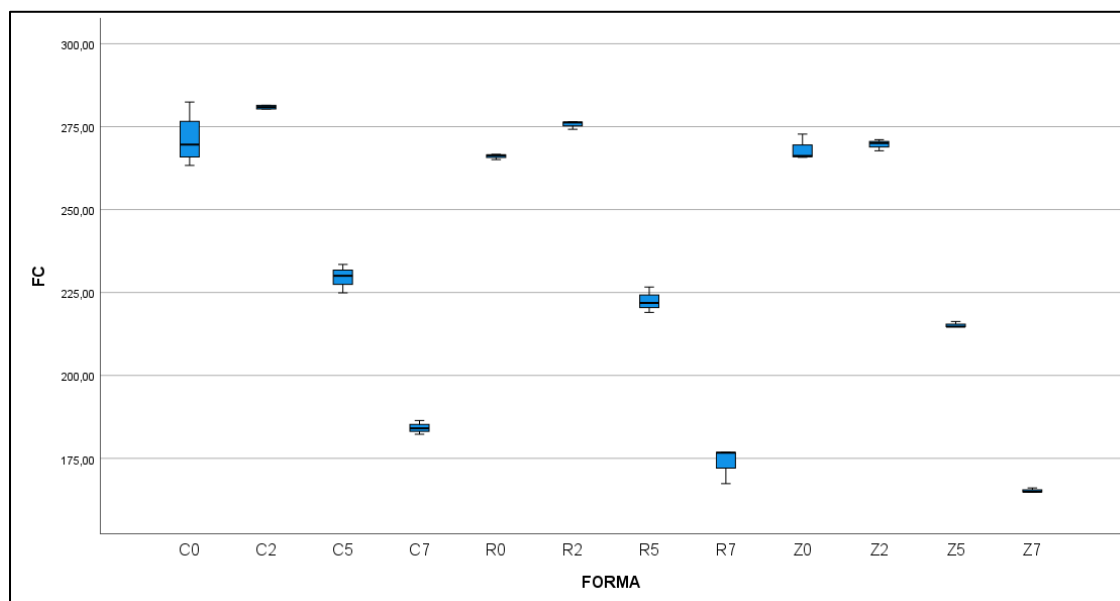
Fuente. IBM SPSS STATISTICS (2025).

Las comparaciones muestran diferencias significativas entre todos los porcentajes evaluados, indicando que cada incremento en la sustitución afecta la resistencia a compresión. Sin embargo, los valores positivos de las diferencias (I-J), especialmente al 5 % y 7 %, reflejan una disminución respecto al 0 %, confirmando el efecto negativo de altas concentraciones. El 7 % presenta la mayor separación frente al patrón, y los intervalos de confianza que no incluyen el cero respaldan que la reducción es consistente y estadísticamente significativa, como se detalla en la Tabla 29.

Diagrama de Cajas y Bigotes.

Figura 36

Diagrama de cajas y bigotes de la distribución de datos de resistencia a la compresión según el porcentaje de sustitución del agregado fino con fibras geométricas PET



Fuente. Elaboración propia (2025).

El diagrama de cajas y bigotes de la resistencia a la compresión según el porcentaje de sustitución del agregado fino con fibras geométricas de PET (0 %, 2 %, 5 % y 7 %) evidencia una tendencia decreciente de la resistencia a medida que aumenta la sustitución. Los grupos de 0 % y 2 % presentan medianas más altas y menor dispersión, mientras que a partir del 5 % las resistencias disminuyen notablemente, registrándose los valores más bajos en el 7 %, lo que refleja una pérdida significativa de la capacidad resistente del concreto, como se detalla en la Figura 36.

3.4.2. Comparar Estadísticamente la Resistencia a la Flexión de la Forma Geométrica y el Porcentaje de Sustitución

Prueba de Normalidad.

Se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para evaluar si los datos se ajustan a una distribución normal. Se optó por esta prueba debido a que el tamaño de la muestra ($n = 36$) era inferior a 50 ($n \leq 50$), criterio bajo el cual se recomienda el uso de Shapiro-Wilk. En caso de haber contado con una muestra mayor ($n > 50$), se habría considerado el uso de la prueba de Kolmogórov-Smirnov. Para analizar la normalidad de los datos, se planteó una prueba de hipótesis con la siguiente formulación:

-Hipótesis nula (**H0**): Los datos siguen una distribución normal.

-Hipótesis alternativa (**Ha**): Los datos no siguen una distribución normal.

Criterios de decisión:

-Si $p \leq 0.05$, se rechaza la hipótesis nula ($H0$) y se considera la hipótesis alternativa (Ha).

-Si $p > 0.05$, se considera la hipótesis nula ($H0$) y se rechaza la hipótesis alternativa (Ha).

Tabla 31

Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para la resistencia a la flexión según el porcentaje de sustitución y forma de la fibra geométrica PET

Variable dependiente	Forma geométrica de la fibra PET	Porcentaje	Shapiro-Wilk			Interpretación
			Estadístico	gl	Sig.	
Resistencia a la flexión (kg/cm ²)	Zigzag	0%	,986	3	,775	No hay diferencias significativas
		2%	,990	3	,806	No hay diferencias significativas
		5%	,812	3	,143	No hay diferencias significativas
		7%	,963	3	,632	No hay diferencias significativas
	Rombo	0%	,989	3	,798	No hay diferencias significativas

	2%	,903	3	,395	No hay diferencias significativas
	5%	,928	3	,483	No hay diferencias significativas
	7%	,928	3	,481	No hay diferencias significativas
	0%	1,000	3	,971	No hay diferencias significativas
Circular	2%	,984	3	,761	No hay diferencias significativas
	5%	,842	3	,220	No hay diferencias significativas
	7%	,943	3	,539	No hay diferencias significativas

Fuente. IBM SPSS STATISTICS (2025).

Los resultados de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk aplicada a los datos de resistencia a la flexión (kg/cm^2) según el porcentaje de sustitución del agregado fino (0 %, 2 %, 5 % y 7 %) muestran que todos los grupos presentan valores de significancia mayores a 0.05, lo que indica que no se rechaza la hipótesis nula de normalidad (H_0), como se detalla en la Tabla 30.

Prueba de Análisis de Varianza (ANOVA).

Dado que los datos cumplieron con el supuesto de normalidad, es decir, que se ajustan a una distribución normal, se justificó el uso de la prueba ANOVA para evaluar si existían diferencias significativas entre al menos dos de las medias correspondientes a las distintas dosificaciones de sustitución del agregado fino con fibras geométricas PET.

Para la aplicación del análisis de varianza (ANOVA), se plantearon las siguientes hipótesis:

Hipótesis nula (H_0): No existen diferencias significativas en la resistencia a la FLEXIÓN entre los distintos tratamientos con la sustitución del agregado fino con fibras geométricas PET; es decir, las medias de los grupos son iguales ($\mu_1=\mu_2=\mu_3=\mu_4=\mu_5=\mu_6=\mu_7=\mu_8=\mu_9=\mu_{10}=\mu_{11}=\mu_{12}$).

Hipótesis alternativa (H_a): Al menos uno de los tratamientos con la sustitución del agregado fino con fibras geométricas PET genera una diferencia significativa en la resistencia a la FLEXIÓN; es decir, al menos una de las medias difiere de las demás ($\mu_1\neq\mu_2$).

Criterios de decisión:

-Si $p \leq 0.05$, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se considera la hipótesis alternativa (H_a).

-Si $p > 0.05$, se considera la hipótesis nula (H_0) y se rechaza la hipótesis alternativa (H_a).

Tabla 32

Análisis de varianza (ANOVA) para la resistencia a la flexión en función del porcentaje de sustitución del agregado fino con fibras geométricas PET

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos (Combinado)	1581,227	3	527,076	6,504	,000
Dentro de grupos	2593,353	32	81,042		
Total	4174,581	35			

Fuente. IBM SPSS STATISTICS (2025).

El análisis de varianza (ANOVA) aplicado para evaluar las diferencias en la resistencia a la flexión del concreto según la forma del refuerzo (zigzag, rombo y circular) y el porcentaje de sustitución evidencia un valor $F(11, 24) = 247.79$ con significancia $p < 0.001$. Esto permite rechazar la hipótesis nula (H_0) de igualdad de medias y confirma que tanto la forma del refuerzo como el nivel de sustitución influyen de manera estadísticamente significativa en la resistencia a la flexión, como se detalla en la Tabla 31.

Prueba Post Hoc (Tukey)

Se verificó que los datos presentaran una distribución normal mediante la prueba de Shapiro-Wilk, obteniéndose valores de significancia mayores a 0.05, lo que confirmó la normalidad de los grupos. Luego se procedió con la prueba ANOVA, que mostró diferencias significativas en la resistencia a la compresión entre los grupos evaluados ($p < 0.05$). Al existir esta diferencia global, fue necesario aplicar la prueba Post Hoc (Tukey HSD) para determinar específicamente qué tratamientos difieren entre sí. Este método se seleccionó por su robustez, confiabilidad y porque controla el error tipo I en comparaciones múltiples, permitiendo identificar con precisión las combinaciones que presentan diferencias reales en los promedios de resistencia.

Tabla 33*Prueba POST HOC*

(I) PORCENTAJE		Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
,00	2,00	7,1700	4,24375	,346	-4,3278	18,6678
	5,00	11,9844	4,24375	,038	,4866	23,4823
	7,00	18,1011	4,24375	,001	6,6033	29,5990
2,00	,00	-7,1700	4,24375	,346	-18,6678	4,3278
	5,00	4,8144	4,24375	,671	-6,6834	16,3123
	7,00	10,9311	4,24375	,067	-,5667	22,4290
5,00	,00	-11,9844	4,24375	,038	-23,4823	-,4866
	2,00	-4,8144	4,24375	,671	-16,3123	6,6834
	7,00	6,1167	4,24375	,484	-5,3812	17,6145
7,00	,00	-18,1011	4,24375	,001	-29,5990	-6,6033
	2,00	-10,9311	4,24375	,067	-22,4290	,5667
	5,00	-6,1167	4,24375	,484	-17,6145	5,3812

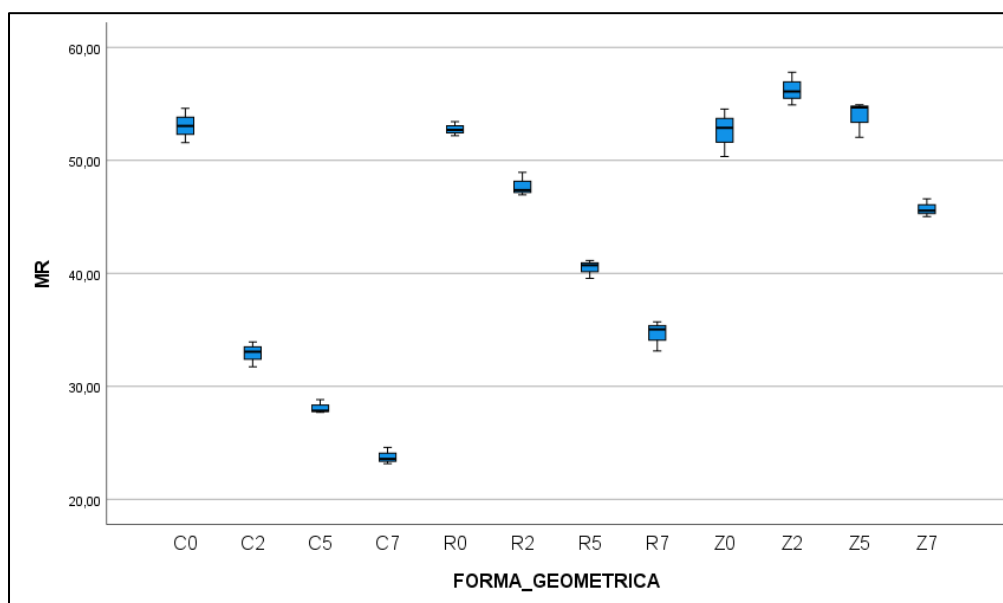
Fuente. IBM SPSS STATISTICS (2025).

Las comparaciones muestran diferencias significativas entre el 0 % y los porcentajes de 5 % y 7 %, evidenciando una disminución notable de la resistencia a flexión, especialmente en el 7 %, que se aleja más del patrón. Esto indica que concentraciones elevadas de sustitución afectan negativamente el comportamiento del concreto, como se detalla en la Tabla 32.

3.4.2.1. Diagrama de Cajas y Bigotes.

Figura 37

Diagrama de cajas y bigotes de la distribución de datos de resistencia a la flexión según el porcentaje de sustitución del agregado fino con fibras geométricas PET



Fuente. Elaboración propia (2025).

El diagrama de cajas y bigotes de la resistencia a la flexión, agrupado según el porcentaje de sustitución del agregado fino con fibras geométricas PET (0 %, 2 %, 5 % y 7 %), evidencia claramente una tendencia decreciente de la resistencia a medida que aumenta la sustitución. Los grupos Z2, Z5, C0, R0 y Z0 presentan las resistencias más altas, con medianas superiores a 50 MR, destacando Z2 como la de mayor resistencia a la flexión, lo que sugiere que estas combinaciones son las más efectivas. En contraste, los grupos C7, C5, R7 y R5 muestran una marcada disminución, con la mediana de C7 alcanzando el valor más bajo, cerca de 24 MR, como se detalla en la Figura 37.

IV. DISCUSIÓN

En el marco del objetivo general de evaluar la influencia de fibras geométricas de tereftalato de polietileno (PET) en la resistencia del concreto $f'_c=210$ kg/cm² en Jaén 2025, mis resultados muestran que el 2% de PET fue el único porcentaje capaz de mantener valores similares al concreto patrón, mientras que el 5% redujo la resistencia entre 15% y 20%, y el 7% generó pérdidas mayores al 30%, especialmente en la forma geométrica circular y rombo. Estos comportamientos coinciden con Espindola et al. (2024), quienes reportaron que un 5% de R-PET incrementó la resistencia a compresión en 20% y la resistencia a flexión en 30%, debido a que trabajaron con partículas finas (0.25–0.45 mm). Al mismo tiempo también coinciden con Qaidi et al. (2022), quienes demostraron reducciones de 25% a 43% de resistencia al incorporar 25% de PET, atribuyendo este descenso al aumento de porosidad, esto coincide con mis resultados del 30–35% al 7% de PET, evidenciando un efecto similar aun con porcentajes menores debido a la forma geométrica del material. Sin embargo, difiero de Dawood et al. (2021), quienes obtuvieron incrementos de 34.03%, 42.16% y 28.31% con 5%, 7.5% y 10% de PET, considero que esta diferencia responde al hecho de que ellos usaron PET triturado, mientras que yo trabajé con fibras geométricas.

En el marco del primer objetivo específico de medir la resistencia a compresión y flexión del concreto con sustitución de fibras geométricas de PET respecto al agregado fino, los valores experimentales demuestran que la resistencia a compresión del concreto patrón (promedio 268–270 kg/cm²) se ve afectada cuando se incorporan fibras geométricas PET, al 2%, la resistencia se mantuvo dentro del rango del patrón entre 267 y 272 kg/cm², mientras que al 5% cayó a 214–216 kg/cm², y al 7% descendió aún más hasta valores entre 164 y 166 kg/cm². Estos resultados difieren con Espindola et al. (2024), quienes reportaron un aumento del 20% en compresión y 30% en flexión con un 5% de PET, también difiero con Dawood et al. (2021), quienes encontraron incrementos del 34% al 12.5% de PET, en mis resultados, el 7% representó la peor caída. Sin embargo, mis resultados sí coinciden con Peña & Tufiño (2023), quienes concluyeron que las fibras PET en zigzag reducen la resistencia entre 5% y 10% en proporciones de 4 kg/m³ y más aún en 8 kg/m³. También coincido con Davila (2023), quien reportó reducciones de 15.4% y 22.1% de resistencia al 8% de PET, un comportamiento muy similar a mis resultados del 20% en el 5% y más de 30% en el 7%.

Con respecto al segundo objetivo específico, que consistió en comparar la resistencia a compresión y a flexión del concreto patrón con el concreto incorporado con fibras geométricas de PET, los resultados encontré que las mezclas con PET mantienen comportamientos aceptables únicamente hasta el 2%, mientras que el 5% y 7% presentan disminuciones significativas, tanto en compresión como en flexión. Este comportamiento coincide con lo encontrado por Arteaga & Vásquez (2022), quienes concluyeron que la resistencia comienza a disminuir a partir del 5% de PET, llegando a valores muy bajos al 15%. También coincide con Córdova (2023), quien encontró que el porcentaje óptimo es 2.5%, ya que incrementos mayores generan pérdidas. Por otro lado, difiero de Kangavar et al. (2023), quienes reportaron que el 10% de PET aumentó la resistencia hasta 33.6 MPa. En mis resultados, los porcentajes más altos (5% y 7%) fueron los más críticos, considero que la diferencia radica en que ellos usaron PET granulado, el cual se dispersa mejor, mientras que las fibras geométricas poseen mayor rigidez y generan zonas de vacíos.

Con respecto al tercer objetivo específico, que consistió en determinar la resistencia óptima a partir de los ensayos y métodos estadísticos aplicados, los análisis estadísticos realizados normalidad, ANOVA y post hoc Tukey confirmaron que el 2% de incorporación de PET es el porcentaje óptimo, porque no presentó diferencias significativas con el concreto patrón, en compresión, el 2% zigzag alcanzó 271.08 kg/cm², valor muy similar al patrón (268–272 kg/cm²), mientras que los demás porcentajes mostraron reducciones estadísticamente significativas. Este resultado coincide con Davila (2023), quien determinó que los porcentajes óptimos para concreto estructural se encuentran entre 2% y 4% de PET, donde la resistencia se mantiene dentro de rangos aceptables. También coincide con Córdova (2023), que encontró que el mejor desempeño se da al 2.5% de PET. Sin embargo, difiero de Dawood et al. (2021), quienes identificaron un porcentaje óptimo de 7.5%, con mejoras de hasta 42%. Esta diferencia se explica porque ellos emplearon residuos triturados, mientras que en mi investigación se usaron fibras en zigzag, rombo y circular, lo que afecta la distribución y la compactación interna. Finalmente, mi porcentaje óptimo también coincide con Huerta (2021), quien concluyó que el 5% de RPET mantiene un comportamiento similar al patrón cuando la relación a/c se controla adecuadamente.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- La incorporación de fibras geométricas de tereftalato de polietileno (PET) influye directamente en la resistencia del concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$, efecto depende del porcentaje de incorporación y de la geometría de la fibra, los resultados demostraron que únicamente la sustitución del 2% de PET mantuvo valores comparables al concreto patrón, registrando resistencias a compresión entre 267 y 272 kg/cm^2 y de flexión entre 54 y 57 kg/cm^2 , sin embargo, porcentajes de 5% y 7%, redujeron la resistencia de forma significativa.
- La resistencia a compresión del concreto se mantiene estable únicamente cuando se incorpora 2% de PET en forma geométrica, mientras que con 5% se reduce a valores promedio entre 214 y 216 kg/cm^2 , y con 7% desciende hasta rangos de 164 a 167 kg/cm^2 ; en cuanto a la resistencia a flexión, el 2% de PET presentó un ligero incremento, alcanzando valores de hasta 57.80 kg/cm^2 , mientras que los porcentajes de 5% y 7% ocasionaron disminuciones progresivas.
- El concreto patrón presentó el mejor comportamiento mecánico frente a la mayoría de mezclas modificadas con fibras PET, la comparación evidenció que el 2% de PET mantiene valores equivalentes al concreto convencional, mientras que las mezclas con 5% y 7% registran pérdidas significativas de resistencia a compresión y flexión, entre las geometrías evaluadas, la fibra en forma zigzag mostró el mejor desempeño dentro de las mezclas modificadas, mientras que las geometrías rombo y circular evidenciaron mayor reducción de resistencia.
- Los análisis estadísticos mediante pruebas de normalidad, ANOVA y prueba post hoc de Tukey confirmó que el 2% de PET representa el nivel de incorporación óptimo dentro de las condiciones evaluadas, al no presentar diferencias estadísticamente significativas respecto al concreto patrón; por el contrario, los porcentajes de 5% y 7% mostraron diferencias significativas, lo que confirma su efecto negativo sobre las propiedades mecánicas del concreto.
- La hipótesis de investigación fue rechazada, debido a que ninguno de los porcentajes de fibras PET evaluados generó un incremento del 5% en la resistencia a compresión del concreto; si bien el 2% de PET presentó valores similares al concreto patrón y ligeros incrementos en la

resistencia a flexión, estos no alcanzaron el nivel planteado en la hipótesis, por lo tanto, la incorporación de fibras geométricas PET no genera un aumento significativo de la resistencia mecánica del concreto y, en proporciones superiores al 2%, ocasiona una disminución considerable de su capacidad resistente.

5.2. Recomendaciones

- El uso de fibras geométricas de PET en concretos estructurales se limite estrictamente a porcentajes bajos, especialmente alrededor del 2%, ya que este fue el único nivel que mantuvo resistencias comparables con el concreto patrón. Sugiero evitar porcentajes iguales o superiores al 5%, debido a que mis resultados mostraron reducciones que oscilaron entre 20% y 35%, afectando la seguridad y confiabilidad del material. Asimismo, considerar análisis complementarios de durabilidad y microestructura cuando se pretenda incorporar PET, ya que su influencia no solo afecta la resistencia mecánica, sino también la cohesión interna y la formación de vacíos.
- Los estudios de sustitución parcial con PET consideren una caracterización minuciosa de la geometría y tamaño del material utilizado, ya que las fibras geométricas mostraron efectos estructurales distintos a los reportados en investigaciones con PET triturado o granulado. Replicar las pruebas con variaciones controladas en la longitud y espesor de las fibras, dado que los resultados mostraron que geometrías mayores tienden a generar más vacíos y pérdidas de resistencia, además mejorar el proceso de mezclado y compactación cuando se trabajen porcentajes del 2% o menos, que fueron los que mostraron un comportamiento estable.
- Emplear el concreto patrón como referencia obligatoria cuando se evalúen mezclas modificadas con PET, ya que permitió identificar claramente el punto en que la resistencia empieza a deteriorarse, se realicen comparaciones no solo a los 28 días, sino también a edades intermedias 7 y 14 días, para evaluar la evolución de la resistencia y determinar si el comportamiento temprano del PET difiere del comportamiento tardío. Además, que las comparaciones incluyan ensayos adicionales como módulo de elasticidad y absorción capilar, ya que estos pueden aportar información complementaria sobre la rigidez y permeabilidad del material.
- Futuras investigaciones se sigan aplicando métodos estadísticos como ANOVA y pruebas post hoc, ya que estos permitieron identificar con claridad el porcentaje óptimo de PET. Asimismo, se amplíe el número de réplicas por muestra para obtener una mayor potencia estadística, especialmente en porcentajes críticos como el 5% donde se evidenciaron grandes variaciones entre probetas.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmed, S., & Ali, M. (2023). Potential Applications of Different Forms of Recycled Plastics as Construction Materials—A Review. *Engineering Proceedings*, 53(1), Article 1.
<https://doi.org/10.3390/IOCBD2023-15177>
- Alrshoudi, F., Abdus Samad, U., & Alothman, O. Y. (2022). Evaluation of the Effect of Recycled Polypropylene as Fine Aggregate Replacement on the Strength Performance and Chloride Penetration of Mortars. *Polymers*, 14(14), Article 14.
<https://doi.org/10.3390/polym14142806>
- Arteaga, C., & Vásquez, H. (2022). *Diseño de concreto ecológico para uso en elementos no estructurales reemplazando porcentajes de agregado fino por PET triturado, Jaén 2022* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio de la Universidad César Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/93957>
- Bernal, C. (2010). *Metodología de la investigación administración, economía, humanidades y ciencias sociales* (Tercera Edición). PEARSON EDUCACIÓN.
<https://abacoenred.org/wp-content/uploads/2019/02/El-proyecto-de-investigaci%C3%B3n-F.G.-Arias-2012-pdf.pdf>
- Britannica Editors (2026). circle. Encyclopedia Britannica.
<https://www.britannica.com/science/circle-mathematics>
- Cambios, P. C. de. (2024, diciembre 20). Impacto y desafíos de la Ley de Plásticos en el Perú. *Clima de cambios*. <https://www.pucp.edu.pe/climadecambios/noticias/impacto-y-desafios-de-la-ley-de-plasticos-en-el-peru/>
- Castillo, P., & Flores, G. (2024). *Influencia de las fibras metálicas sobre el óptimo contenido de fibras de tereftalato de polietileno en el concreto $F'_{C}=210 \text{ kg/cm}^2$* [Tesis de pregrado,

- Universidad Nacional de Jaén]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Jaén. <https://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/675>
- Córdova, R. (2023). *Estudio de las propiedades mecánicas del concreto adicionando plástico reciclado como reemplazo parcial del agregado fino* [Tesis de pregrado, Universidad Señor de Sipán]. Repositorio Institucional de la Universidad Señor de Sipán. <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/11846>
- Correo, D. (2020, 11 de marzo). *Al año se producen 1,4 millones de toneladas de plástico en Perú*. Diario Correo. <https://diariocorreo.pe/economia/al-ano-se-producen-14-millones-de-toneladas-de-plastico-en-peru-cifras-del-reciclaje-solo-el-15-del-plastico-que-se-desecha-al-ano-asociacion-civil-reciclame-grupo-gea-residuos-solidos-informalidad-ncze-noticia/>
- Davila, C. (2023). *Análisis de las propiedades físicas y mecánicas del concreto estructural, incorporando parcialmente tereftalato de polietileno (PET) como agregado fino* [Tesis de pregrado, Universidad Señor de Sipán]. Repositorio Institucional de la Universidad Señor de Sipán. <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/11386>
- Dawood, A. O., AL-Khazraji, H., & Falih, R. S. (2021). Physical and mechanical properties of concrete containing PET wastes as a partial replacement for fine aggregates. *Case Studies in Construction Materials*, 14, e00482. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00482>
- Díaz de León, N. T. (2016). *Población y Muestra*. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/63099>
- Espindola, A. C., Luna, M. A., Onofre, E., & Morales, A. B. (2024). Study of the Mechanical and Electrochemical Performance of Structural Concrete Incorporating Recycled Polyethylene Terephthalate as a Partial Fine Aggregate Replacement. *Recycling*, 9(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/recycling9030051>

- Galvez, M., & Sanchez, F. (2023). *Diseño de concreto con partículas PET y fibras de acero, en la calle Gregoria Hornez – Chirinos San Ignacio-Cajamarca 2023* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio de la Universidad César Vallejo.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/142053>
- Gestión. (2017). *Perú solo recicla el 15% de la basura que genera diariamente*. Gestión.
<https://gestion.pe/economia/empresas/peru-recicla-15-basura-genera-diariamente-143243-noticia/>
- Gomez, B. (2012). *Metodología de la Investigación*.
<https://usam.siabcloud.com/backendsiab/viewer/viewer.php?idobra=10201&urlindex=0>
- Hernández, S., Fernández, C., & Baptista, L. del P. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta Edición). McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES.
<https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>
- Huerta, D. (2021). *Estudio comparativo del comportamiento del concreto usando tereftalato de polietileno reciclado como sustituto parcial del agregado fino* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ingeniería. <http://hdl.handle.net/20.500.14076/22093>
- IEES. (2019). *REPORTE SECTORIAL N° 04—2019*. https://www.sni.org.pe/wp-content/uploads/2019/07/Reporte-Sectorial-PI%C3%A1sticos_2019.pdf
- Kangavar, M. E., Lokuge, W., Manalo, A., Karunasena, W., & Ozbakkaloglu, T. (2023). Development of sustainable concrete using recycled polyethylene terephthalate (PET)

granules as fine aggregate. *Developments in the Built Environment*, 15, 100192.

<https://doi.org/10.1016/j.dibe.2023.100192>

LibreTexts. (2022). *14.3: Diseño de experimentos mediante diseño aleatorio*.

[https://espanol.libretexts.org/Ingenieria/Ingenieria_Industrial_y_de_Sistemas/Libro%3A_Din%C3%A1mica_y_Control_de_Procesos_Qu%C3%ADmicos_\(Woolf\)/14%3A_Dise%C3%B1o_de_experimentos/14.03%3A_Dise%C3%B1o_de_experimentos_mediante_dise%C3%B1o_aleatorio](https://espanol.libretexts.org/Ingenieria/Ingenieria_Industrial_y_de_Sistemas/Libro%3A_Din%C3%A1mica_y_Control_de_Procesos_Qu%C3%ADmicos_(Woolf)/14%3A_Dise%C3%B1o_de_experimentos/14.03%3A_Dise%C3%B1o_de_experimentos_mediante_dise%C3%B1o_aleatorio)

Llanos, M., & Llanos, M. (2019). *Efecto de dos niveles de reemplazo del 10% y del 15% del agregado grueso por plástico sobre la resistencia a la compresión axial del concreto $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$* [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio

Institucional de la Universidad Privada del Norte. <https://hdl.handle.net/11537/21959>

Mendoza, J. & Vilchez, M. (2021). *Análisis del concreto con sustitución parcial del agregado fino por agregado de polietileno de alta densidad (HDPE) para concreto no estructural en Lima* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/655330>

Norma E-060. (s. f.). *Norma E.060 Concreto armado.pdf*. Google Docs. Recuperado 24 de abril de 2025, de

https://drive.google.com/file/d/19EYUVMgwvm6rDs47GV374avco2ylU5Kz/view?usp=sharing&usp=embed_facebook

OCDE. (2024). *Policy Scenarios for Eliminating Plastic Pollution by 2040*. OECD.

https://www.oecd.org/en/publications/policy-scenarios-for-eliminating-plastic-pollution-by-2040_76400890-en.html

- Peña, F., & Tufino, J. (2023). *Análisis comparativo de la influencia de la geometría y la rugosidad de las fibras para concreto en las capacidades mecánicas del concreto y propuesta de empleo de fibras en zigzag y rugosas de PET reciclado* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/671506>
- Pontificia Universidad Católica del Perú. (2016). Reciclando plástico PET en el Perú. *Clima de cambios*. <https://www.pucp.edu.pe/climadecambios/noticias/reciclando-plastico-pet-en-el-peru/>
- Qaidi, S., Al-Kamaki, Y. S. S., Al-Mahaidi, R., Mohammed, A. S., Ahmed, H. U., Zaid, O., Althoey, F., Ahmad, J., Isleem, H. F., & Bennetts, I. (2022). Investigation of the effectiveness of CFRP strengthening of concrete made with recycled waste PET fine plastic aggregate. *PLOS ONE*, *17*(7), e0269664. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0269664>
- Ramos, F. (2019). *Análisis comparativo del comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibra de polipropileno y acero* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Cajamarca. <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/2875>
- RAE. (2025). Zigzag | Diccionario panhispánico de dudas. «Diccionario panhispánico de dudas». <https://www.rae.es/dpd/zigzag>
- Sánchez, M., Valiente, M., Méndez, M., Sánchez, M., Valiente, M., & Méndez, M. (2023). Generación y disposición final de residuos sólidos municipales en la Región Cajamarca, Perú. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, *8*, 871-884. <https://doi.org/10.35381/r.k.v8i2.2986>

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más profundo agradecimiento a Dios, por darme salud, fortaleza y sabiduría para culminar esta etapa.

A mis asesores, por su orientación constante, sus valiosas enseñanzas y por exigirme siempre dar lo mejor de mí.

A la Universidad Nacional de Jaén y a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, por brindarme las herramientas académicas necesarias para mi formación profesional.

Finalmente, a mi familia y amigos, por su paciencia, comprensión y apoyo incondicional en cada paso de este camino. Este logro es el reflejo de su amor y confianza.

Rony Aldair Rojas Fernández

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía constante, mi fuente de sabiduría y fortaleza, y por permitirme llegar a la meta con salud y esperanza.

A mis amados padres, Elmer y Jovita, cuyo amor incondicional, sacrificio y esfuerzo han sido el cimiento de mi vida y mi carrera profesional. Esta tesis es el reflejo de sus sueños y su fe en mí.

A mis hermanos, Maycol y Luana, por ser mis primeros amigos, mis cómplices y mi apoyo inquebrantable; gracias por la motivación y las alegrías compartidas a lo largo de este camino.

Rony Aldair Rojas Fernández

ANEXOS