



*La investigación, su esencia y arte.*

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS**

**INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO PARA EVALUAR LAS PROPIEDADES  
MECÁNICAS Y FÍSICAS DEL CONCRETO EN CONDICIONES DE LABORATORIO -  
UNAT**

**Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Recursos hídricos y tecnología de materiales

**OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE:**

Ciudades y Comunidades Sostenibles

**CAMPO DE LA INVESTIGACIÓN Y EL DESARROLLO OCDE:**

2.01.01

**PRESENTADO POR:**

Bach. CANCHARI VILA, Ruth Karina

(ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-7778-4581>)

**ASESOR:**

Mg. CHIHUAN QUISPE, Ronald Julián

(ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6130-7792>)

**AHUAYCHA - PERÚ**

**2025**

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS EN LA MODALIDAD PRESENCIAL  
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

Expediente N° 14-2025-UNAT/FI-EPIC

Página 1 de 1

En esta acta, se hace constar que en el auditorium de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo, ubicado en el distrito de Ahuaycha, provincia de Tayacaja, departamento Huancavelica, el día **29 de diciembre del 2025**, a las **11:00** horas, se reunieron los miembros del Jurado Calificador designados con Resolución de Coordinación N° 36-2024-UNAT/FI de 2 de setiembre de 2024 con el propósito de llevar a cabo el **Acto de Sustentación** de la Tesis de Titulación Profesional:

**"INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO PARA EVALUAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y FÍSICAS DEL CONCRETO EN CONDICIONES DE LABORATORIO - UNAT"**



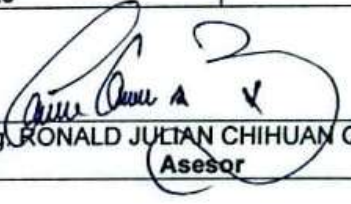
Dicha tesis ha sido presentada por la Bachiller en Ingeniería Civil **RUTH KARINA CANCHARI VILA**, asesorado por el docente **Mg. RONALD JULIAN CHIHUAN QUISPE** adscrito al Departamento Académico de Ingeniería Civil.

Después de haber calificado el informe final de tesis, escuchada la sustentación y las respuestas a las preguntas formuladas por el Jurado, se le declara<sup>1</sup>: Aprobado para optar el **Título Profesional de INGENIERO CIVIL**, con la calificación de 15 que corresponde a la condición<sup>2</sup>: Bueno.

En consecuencia, el sustentante:

- Queda en condición de recibir el indicado Título Profesional, de conformidad con las normas legales, estatutarias y reglamentarias aplicables en materia del proceso de titulación profesional.
- NO queda en condición de recibir el indicado Título Profesional, de conformidad con las normas legales, estatutarias y reglamentarias aplicables en materia del proceso de titulación profesional.

Siendo las 12:30 horas del mismo día, mes y año, se da por concluido el Acto de Sustentación, firmando a continuación los intervinientes, en señal de conformidad de lo acontecido y consignado.

	
Dr. VALQUI CASTAÑEDA CARLOS ALFREDO Presidente	Mg. VILCAHUAMAN TADEO RONALD Miembro
	
Mg. RONALD JULIAN CHIHUAN QUISPE Asesor	

1. Indicar: Aprobado y/o Desaprobado.  
2. Indicar: Excelente, Muy Bueno, Bueno, Regular y/o Desaprobado.



## CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD N° 069-2025

EL DIRECTOR DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE TAYACAJA DANIEL HERNÁNDEZ MORILLO, QUIEN SUSCRIBE:

### HACE CONSTAR:

Que, la tesis titulada: "INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO PARA EVALUAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y FÍSICAS DEL CONCRETO EN CONDICIONES DE LABORATORIO - UNAT", desarrollado por la tesista de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, **Ruth Karina Canchari Vila**, asesorado por el **Mg. Ronald Julian Chihuan Quispe**, cumple con los requisitos de conformidad de originalidad mediante (*Software Anti Plagio Turnitin*), evidenciándose en el informe de originalidad un porcentaje de similitud de diecinueve (19%), el cual se encuentra dentro del parámetro establecido por la Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo.

Se expide la presente constancia para los fines que estime conveniente.

Ahuaycha, 11 de diciembre de 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE TAYACAJA  
DANIEL HERNÁNDEZ MORILLO  
x   
Dr. Julia Aliaga  
DIRECTORA DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN  
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Constancia: N°069-2025.  
Cc. Archivo.

<https://unat.edu.pe/>



movadepartes@unat.edu.pe

OFICINA ADMINISTRATIVA  
Calle Arequipa N° 470, 475, Huancayo - Tarma - Huancavelica

OFICINA DE ADMISIÓN  
Calle Arequipa s/n s/n, Huancayo - Tarma - Huancavelica  
Tarma - Huancayo - Huancavelica

LOCAL ACADÉMICO  
Calle Arequipa s/n s/n, Huancayo - Tarma - Huancavelica  
Calle Arequipa s/n s/n, Huancayo - Tarma - Huancavelica

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo (UNAT), por haber financiado esta investigación mediante la Resolución de Comisión Organizadora N° 527-2024-CO-UNAT.

A mis docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, quienes me inculcaron los conocimientos fundamentales para mi formación profesional.

A mi asesor de tesis, el Mg. Ronald Julián Chihuan Quispe, quien me brindo su apoyo para poder desarrollar esta tesis.

Al Dr. Carlos Valqui Castañeda, quien me brindo su apoyo y hizo lo posible para presentarme al concurso de proyectos de financiamiento.

Al Mg. Delmer Huayra Romaní, quien me brindo su apoyo durante este proceso, dándome orientaciones, aportes e ideas que fueron esenciales para la ejecución de esta investigación.

A mi familia y amigos quienes, de una u otra forma, me brindaron su apoyo y compañía durante este proceso de la ejecución de mi proyecto de tesis.

Finalmente, a todas las personas que no se mencionan aquí, pero que contribuyeron con sus consejos, motivación y palabras de aliento para conseguir este objetivo.

## DEDICATORIA

Este trabajo se la dedico, en primer lugar, a Dios, por ser mi gran motivación, mi guía, mi fuerza, por estar siempre conmigo en los momentos difíciles y de angustias, frustraciones, transmitiendo su paz y amor incondicional en todo momento. Por las bendiciones diarias, por cuidarme en todo momento, por darme sabiduría, salud, esperanza y oportunidades que hicieron posible este logro.

A mi familia, por su apoyo incondicional en todos mis desafíos. En especial a mis padres, Eulogio Luis Canchari y Juana Vila, mi papá quien me apoyo en todo el proceso de la ejecución de mi proyecto de tesis, gracias papito. Ellos son mis mayores ejemplos y guías como persona. Sin ellos, este logro no habría sido posible. Siempre estuvieron ahí dándome ánimos, diciéndome vamos hija tú puedes, no te rindas, ya te falta poco, lo vas a lograr. También ellos son mi gran motivación en cada uno de mis metas, sueños, me enseñaron a ser perseverante y resiliente en cada desafío de la vida. Gracias por su amor, apoyo, confianza y por estar ahí conmigo siempre. Los amo profundamente.

A mis hermanas (os); Yudithza, Maricela, Lizet, Nataly, Leydi, Luis Angel, Gisselly y Decker, porque siempre estuvieron ahí cuando los necesitaba. Por su cariño y la confianza que me dan en cada paso que doy. En especial a mi hermana Yudithza y Lizet quienes se involucraron y fueron parte de la ejecución de mi proyecto de tesis, y por todo ello, les agradezco de corazón.

A mi abuela Rosa Gutiérrez, que siempre puso su confianza en mí, siempre estuvo motivándome, dándome ánimos para seguir adelante y no rendirme.

A mi tía Susana Vila y a su esposo Royer, que se sumaron en mi etapa universitaria apoyándome con lo que se podía, para lograr este logro que se hizo posible y por ello estoy agradecido de corazón.

## TABLA DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTO .....	iv
DEDICATORIA .....	v
TABLA DE CONTENIDOS .....	vi
ÍNDICE DE TABLAS .....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN .....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
I. INTRODUCCIÓN.....	15
1.1. Planteamiento del problema de investigación .....	15
1.1.1. Situación problemática.....	15
1.2. Formulación del problema.....	16
1.2.1. Problema general.....	16
1.2.2. Problemas específicos. ....	16
1.3. Objetivos.....	17
1.3.1. Objetivo general. ....	17
1.3.2. Objetivos específicos.....	17
1.4. Justificación .....	17
1.4.1. Justificación Teórica. ....	17
1.4.2. Justificación Practica.....	18
1.5. Limitaciones .....	19
II. MARCO TEÓRICO.....	20
2.1. Antecedentes.....	20
2.1.1. A nivel internacional .....	20
2.1.2. A nivel nacional .....	21

2.2.	Bases teóricas o Marco Conceptual.....	22
2.2.1.	Concreto .....	22
2.2.2.	Propiedades físicas del concreto .....	34
2.2.3.	Propiedades mecánicas del concreto .....	36
2.2.4.	PET reciclado .....	41
2.3.	Hipótesis .....	46
2.3.1.	Hipótesis general .....	46
2.3.2.	Hipótesis específicos .....	46
2.4.	Variables y definición conceptual y operacional.....	46
2.4.1.	Variable independiente.....	46
2.4.2.	Variable dependiente.....	46
2.4.3.	Matriz de operacionalización de variables .....	47
III.	METODOLOGÍA.....	48
3.1.	Diseño metodológico .....	48
3.1.1.	Tipo de investigación .....	48
3.1.2.	Enfoque de investigación .....	48
3.1.3.	Nivel de investigación.....	48
3.1.4.	Diseño de la investigación.....	48
3.2.	Diseño muestral .....	49
3.2.1.	Población.....	49
3.2.2.	Muestra.....	49
3.3.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	49
3.3.1.	Técnicas de recolección de datos .....	49
3.3.2.	Instrumentos de recolección de datos.....	50
3.4.	Procedimiento de recolección de datos .....	50
3.5.	Aspectos éticos y regulatorios .....	51

IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	52
4.1.	Resultados.....	52
4.1.1.	Agregados, características geotécnicas .....	52
4.1.2.	Dosificación de concreto convencional y experimental con inclusión parcial de PET 57	
4.1.3.	Propiedades físicas del concreto .....	58
4.1.4.	Propiedades mecánicas del concreto .....	62
4.2.	Contrastación de hipótesis .....	71
4.2.1.	Comprobación de hipótesis de $f'c$ .....	71
4.2.2.	Comprobación de hipótesis de T .....	72
4.2.3.	Comprobación de hipótesis de $M_r$ .....	74
4.3.	Discusión de resultados .....	76
V.	CONCLUSIONES .....	80
VI.	RECOMENDACIONES .....	81
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	82
VIII.	ANEXOS.....	85

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Tipos de aditivos para el concreto</i> .....	32
<b>Tabla 2</b> <i>Tipos de factura en un espécimen cilíndrico</i> .....	38
<b>Tabla 3</b> <i>Edades de prueba y tolerancias permitidas</i> .....	39
<b>Tabla 4</b> <i>Sistema para la identificación de los contenedores de PET</i> .....	42
<b>Tabla 5</b> <i>Comparación de las características del PET y el RPET</i> .....	44
<b>Tabla 6</b> <i>Propiedades mecánicas del Polietileno Tereftalato (PET)</i> .....	45
<b>Tabla 7</b> <i>Matriz de operacionalización de variables</i> .....	47
<b>Tabla 8</b> <i>Caracterización de los áridos</i> .....	55
<b>Tabla 9</b> <i>Caracterización del PET</i> .....	57
<b>Tabla 10</b> <i>Dosificación para un 1 m<sup>3</sup> de concreto sin y con inclusión parcial del PET al árido fino</i> .....	57
<b>Tabla 11</b> <i>Resultados detallados de la resistencia a la compresión de la mezcla D210</i> .....	62
<b>Tabla 12</b> <i>Resultados detallados de la resistencia a la compresión de la mezcla D210-PET3.5%</i> .....	62
<b>Tabla 13</b> <i>Resultados detallados de la resistencia a la compresión de la mezcla D210-PET4.5%</i> .....	63
<b>Tabla 14</b> <i>Resultados detallados de la resistencia a la compresión de la mezcla D210-PET5.5%</i> .....	63
<b>Tabla 15</b> <i>Resultados detallados de la tracción diametral de la mezcla D210</i> .....	65
<b>Tabla 16</b> <i>Resultados detallados de la tracción diametral en la mezcla D210-PET3.5%</i> .....	65
<b>Tabla 17</b> <i>Resultados detallados de la tracción diametral en la mezcla D210-PET4.5%</i> .....	66
<b>Tabla 18</b> <i>Resultados detallados de la tracción diametral en la mezcla D210-PET5.5%</i> .....	66

<b>Tabla 19</b> <i>Módulo de rotura (flexión) para la mezcla de concreto control (<math>f'c= 210</math> kg/cm<sup>2</sup>)</i> .....	68
<b>Tabla 20</b> <i>Módulo de rotura (flexión) para el concreto <math>f'c= 210</math> kg/cm<sup>2</sup> con 3.5 % de inclusión de PET</i> .....	68
<b>Tabla 21</b> <i>Módulo de rotura (flexión) para el concreto <math>f'c= 210</math> kg/cm<sup>2</sup> con 4.5 % de inclusión de PET</i> .....	69
<b>Tabla 22</b> <i>Módulo de rotura (flexión) para el concreto <math>f'c= 210</math> kg/cm<sup>2</sup> con 5.5 % de inclusión de PET</i> .....	69
<b>Tabla 23</b> <i>Resultados de la prueba de normalidad para las muestras sometidas a compresión</i> .....	71
<b>Tabla 24</b> <i>Contraste de hipótesis de las probetas ensayadas a compresión</i> .....	72
<b>Tabla 25</b> .....	72
<b>Tabla 26</b> <i>Contraste de hipótesis de las probetas ensayadas a tracción</i> .....	73
<b>Tabla 27</b> .....	74
<b>Tabla 28</b> <i>Contraste de hipótesis de las vigas ensayadas a flexión</i> .....	75
<b>Tabla 29</b> <i>Matriz de Consistencia</i> .....	85

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> <i>Agregado grueso</i> .....	27
<b>Figura 2</b> <i>Agregado fino</i> .....	28
<b>Figura 3</b> <i>Agregados según su forma</i> .....	29
<b>Figura 4</b> <i>Ensayo del asentamiento</i> .....	34
<b>Figura 5</b> <i>Resistencia a la compresión</i> .....	36
<b>Figura 6</b> <i>Flexión de una viga con carga en el centro</i> .....	40
<b>Figura 7</b> <i>Flexión de la viga con carga en los tercios</i> .....	40
<b>Figura 8</b> <i>Ensayo de tracción (método brasileño)</i> .....	41
<b>Figura 9</b> <i>Estructura química del PET</i> .....	41
<b>Figura 10</b> <i>Símbolo usado en envases</i> .....	42
<b>Figura 11</b> <i>Botellas PET reciclados</i> .....	42
<b>Figura 12</b> <i>El proceso para reciclar PET</i> .....	46
<b>Figura 13</b> <i>Representación gráfica de la granulometría del árido grueso</i> .....	53
<b>Figura 14</b> <i>Curva granulométrica del árido fino proveniente de cantera – Muestra 1 (No conforme)</i> .....	54
<b>Figura 15</b> <i>Curva granulométrica del árido fino proveniente del Rio Porvenir-Muestra 2 (Conforme)</i> .....	54
<b>Figura 16</b> <i>Curva granulométrica del PET</i> .....	56
<b>Figura 17</b> <i>Resultado del ensayo de asentamiento de las mezclas de concreto del diseño D210 con incorporación de PET reciclado</i> .....	58
<b>Figura 18</b> <i>Temperatura de las mezclas de concreto del diseño D210 sin y con inclusión de PET</i> .....	59
<b>Figura 19</b> <i>Contenido de aire de las mezclas de concreto del diseño D210 sin y con inclusión de PET</i> .....	60
<b>Figura 20</b> <i>Peso unitario de las mezclas de concreto del diseño D210 sin y con inclusión de PET</i> .....	61

<b>Figura 21</b> <i>Evolución de la resistencia a la compresión de los testigos sin y con inclusión de PET</i> .....	64
<b>Figura 22</b> <i>Evolución de la resistencia a la tracción diametral de los testigos sin y con inclusión de PET</i> .....	67
<b>Figura 23</b> <i>Evolución de la resistencia a la flexión de las vigas sin y con inclusión de PET</i> .....	70

## RESUMEN

El propósito de este estudio es evaluar las propiedades mecánicas y físicas del concreto bajo condiciones de laboratorio, incorporando parcialmente tereftalato de polietileno (PET) como reemplazo en volumen del agregado fino. La investigación se desarrolló bajo un diseño experimental puro. La población de estudio estuvo constituida por 108 especímenes de concreto. La muestra, está representado por 72 probetas cilíndricas y 36 prismáticas. Los instrumentos principales utilizados fueron una prensa eléctrica digital para compresión, prensa hidráulica universal para tracción y flexión, un molino triturador de botellas plásticas y un cono de Abrams. Se elaboraron cuatro diseños de mezcla usando el método ACI 211.1 para una resistencia característica de 210 kg/cm<sup>2</sup>, uno convencional (sin PET) y tres experimentales, en los que se reemplazó el agregado fino por PET reciclado en proporciones de 3.5, 4.5, y 5.5%. Se realizaron ensayos de asentamiento, temperatura, contenido de aire y peso unitario del concreto fresco, así como ensayos de resistencia a la compresión, tracción indirecta y flexión a los 7, 14 y 28 días de curado. Los resultados mostraron que la incorporación de PET reduce progresivamente el asentamiento llegando a reducir hasta un 31.3% con un 5.5% PET; de igual manera sucede con el peso unitario del concreto, mientras que incrementa ligeramente el contenido de aire y la temperatura se mantiene constante. En cuanto a las propiedades mecánicas, se observó una disminución progresiva de la resistencia a medida que se incrementó el porcentaje de PET, alcanzando una disminución de 8.4 % para la resistencia compresiva, y 3.8% para la resistencia de tracción indirecta y 18.8% para la resistencia a la flexión. No obstante, todas las mezclas superaron el valor nominal de diseño 210 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días. En conclusión, la mezcla con 3.5 y 4.5% de PET presentaron la menor variación respecto a la mezcla patrón, con una disminución del 3.0 y 4.5% en la resistencia a compresión, siendo consideradas las dosificaciones más óptimas por sus resultados de pruebas mecánicas cercano a los del diseño patrón. Esta alternativa no solo contribuye a la reducción del impacto ambiental de los residuos plásticos, sino que también permite desarrollar un concreto más sostenible.

**Palabras claves:** Concreto, propiedades físicas, propiedades mecánicas, tereftalato de Polietileno

## ABSTRACT

The purpose of this study was to evaluate the mechanical and physical properties of concrete under laboratory conditions, partially incorporating polyethylene terephthalate (PET) as a volume replacement for the fine aggregate. The research was conducted using a pure experimental design. The study population consisted of 108 concrete specimens. The sample was comprised of 72 cylindrical and 36 prismatic specimens. The main instruments used were a digital electric compression tester, a universal hydraulic press for tension and flexure testing, a plastic bottle crusher, and an Abrams cone. Four mix designs were prepared using the ACI 211.1 method for a characteristic strength of 210 kg/cm<sup>2</sup>: one conventional mix (without PET) and three experimental mixes, in which the fine aggregate was replaced by recycled PET in proportions of 3.5, 4.5, and 5.5%. Tests were performed on slump, temperature, air content, and unit weight of the fresh concrete, as well as compressive strength, indirect tensile strength, and flexural strength tests at 7, 14, and 28 days of curing. The results showed that the incorporation of PET progressively reduced slump, reaching a reduction of up to 31.3% with 5.5% PET; a similar reduction occurred with the unit weight of the concrete, while slightly increasing the air content and keeping the temperature constant. Regarding the mechanical properties, a progressive decrease in strength was observed as the percentage of PET increased, reaching a decrease of 8.4% for compressive strength, 3.8% for indirect tensile strength, and 18.8% for flexural strength. However, all mixtures exceeded the nominal design value of 210 kg/cm<sup>2</sup> at 28 days. In conclusion, the mixtures with 3.5% and 4.5% PET showed the least variation compared to the control mixture, with a decrease of 3.0% and 4.5% in compressive strength, respectively. These dosages were considered the most optimal due to their mechanical test results, which were close to those of the control mix. This alternative not only contributes to reducing the environmental impact of plastic waste but also allows for the development of more sustainable concrete.

**Keywords:** Concrete, physical properties, mechanical properties, polyethylene terephthalate.

## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Planteamiento del problema de investigación

#### 1.1.1. Situación problemática

Debido a la rápida urbanización y las mayores necesidades de la industria de la construcción, el uso del concreto, un material fundamental en la ingeniería civil, ha aumentado de forma considerable. Sin embargo, su fabricación depende del uso extensivo de recursos naturales, en particular de áridos finos como la arena, cuyo uso excesivo está agotando los recursos naturales de determinados lugares y degradando diversos ecosistemas terrestres y acuáticos.

Actualmente, uno de los mayores retos ambientales globales es la gestión de residuos plásticos. Dentro de esta problemática, el tereftalato de polietileno (PET), que se usa en la producción de botellas y envases, resalta por sus altos niveles de fabricación y descarte. La acumulación de estos residuos no solo causa contaminación visual y daño a los ecosistemas, sino que también libera microplásticos al medio ambiente, afectando la fauna, la flora y posiblemente la salud humana.

Cada día se producen enormes cantidades de productos de polímeros y plásticos en todo el mundo. La verdad es diferente, aunque la mayoría de ellos están hechos para ser reciclados. Según las estadísticas, los productos reciclables de plástico y polímero se reciclan a un ritmo relativamente bajo. Muchos productos de plástico, la mayoría de los cuales no son biodegradables, permanecen en el medio ambiente como contaminantes potenciales. Por ello, han surgido varias iniciativas para reutilizar estos materiales plásticos en otros contextos (Chowdhury et al., 2018).

En los recientes años, una proporción significativa de los desechos sólidos producidos a nivel global está vinculada al plástico, lo cual tiene serias implicancias tanto para el entorno natural como para la salud pública (Olofinnade et al., 2020).

La contaminación por botellas de plástico en Tayacaja, Huancavelica, es parte de un problema ambiental más amplio de gestión de residuos sólidos, especialmente en Pampas (Zarate, 2016).

Por otro lado, la industria de la construcción es una de las que mayor cantidad de recursos naturales utiliza, sobre todo a la hora de fabricar hormigón, que necesita muchos materiales finos, como la arena. Aunque estos materiales son esenciales para lograr las

propiedades mecánicas deseadas en las estructuras de concreto, su extracción excesiva provoca la degradación de ecosistemas acuáticos y terrestres.

Ante este panorama, se ha sugerido que el sector de la construcción recicle los residuos plásticos, como el PET reciclado, para reducir sus efectos perjudiciales. La incorporación de PET reciclado como sustituto del agregado fino en la producción de concreto puede generar un impacto ambiental positivo considerable, ya que disminuye la necesidad de extraer recursos naturales y favorece una mejor gestión de los desechos plásticos. No obstante, para determinar la utilidad técnica y práctica de esta sustitución en la industria de la construcción, es imperativo analizar cómo afecta las cualidades del hormigón, incluidas la resistencia a la compresión, flexión, la trabajabilidad y el contenido de aire.

En este contexto, se requiere una evaluación de laboratorio para examinar el impacto de la incorporación de PET reciclado triturado en proporciones de 3.5%, 4.5% y 5.5% sobre las propiedades del concreto. El objetivo es determinar si el PET reciclado es una alternativa sostenible y eficaz para las mezclas de concreto, ayudando a mitigar la explotación de agregados naturales y la acumulación de residuos plásticos.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general.**

¿Cómo influye la sustitución parcial del agregado fino por PET reciclado triturado en distintas concentraciones en las propiedades mecánicas y físicas del concreto, bajo condiciones de laboratorio?

### **1.2.2. Problemas específicos.**

- a) ¿Cómo afectan las distintas concentraciones de PET reciclado en las propiedades físicas del concreto fresco?
- b) ¿Cómo impactan las distintas concentraciones de PET reciclado en la resistencia a la compresión del concreto?
- c) ¿Cómo impactan las distintas concentraciones de PET reciclado en la resistencia a la tracción diametral del concreto?
- d) ¿Cómo impactan las distintas concentraciones de PET reciclado en la resistencia a la flexión del concreto?

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general.**

- Determinar la influencia de la incorporación del PET reciclado triturado en 3.5, 4.5 y 5.5% como sustituto parcial del agregado fino en las propiedades mecánicas y físicas del concreto bajo condiciones de laboratorio.

#### **1.3.2. Objetivos específicos.**

- a) Evaluar las propiedades físicas del concreto fresco en función de la incorporación de distintas concentraciones de PET reciclado.
- b) Evaluar la resistencia a la compresión del concreto al incorporar distintas concentraciones de PET reciclado.
- c) Evaluar la resistencia a la tracción diametral del concreto al incorporar distintas concentraciones de PET reciclado.
- d) Evaluar la resistencia a la flexión del concreto al incorporar distintas concentraciones de PET reciclado.

### **1.4. Justificación**

#### **1.4.1. Justificación Teórica.**

El concreto es el material de construcción más empleado a nivel global, gracias a su versatilidad, durabilidad y su capacidad para ajustarse a diferentes requerimientos estructurales. No obstante, su producción depende en gran medida de la extracción de recursos naturales, como los agregados finos, cuya obtención ha generado impactos ambientales significativos, incluyendo la erosión de suelos, la destrucción de hábitats y la alteración de cuerpos de agua. En este contexto, la búsqueda de alternativas más sostenibles ha llevado a explorar la posibilidad de sustituir parcial o totalmente los agregados tradicionales por materiales reciclados.

Uno de los materiales que ha ganado interés en este ámbito es el politereftalato de etileno (PET), un tipo de plástico ampliamente utilizado en la fabricación de envases. Dado que los residuos de PET son uno de los componentes más comunes en la basura plástica mundial y su degradación natural puede tardar cientos de años, su acumulación representa un desafío ambiental significativo. El reciclaje de PET no solo contribuye a la reducción de la contaminación por plásticos, sino que también abre la posibilidad de darle un nuevo uso dentro de la industria de la construcción.

Se agrega PET reciclado triturado a las mezclas de concreto en un esfuerzo por fortalecer las cualidades físicas del material y al mismo tiempo abordar la necesidad de disminuir la dependencia de los recursos naturales. Este enfoque proporciona una solución innovadora que fomenta una construcción más ecológica y sostenible, al tiempo que maximiza el uso de los recursos ya existentes.

Desde una perspectiva teórica, el uso de PET reciclado en el concreto plantea preguntas interesantes sobre la interacción de este material con la matriz cementicia y su influencia en propiedades clave como la resistencia a la compresión, la trabajabilidad y el contenido de aire. Diversas investigaciones previas han señalado que la sustitución de agregados finos por PET puede mejorar algunas propiedades del concreto, mientras que otras pueden verse afectadas. Por lo tanto, es necesario realizar una investigación exhaustiva que permita evaluar el comportamiento de este nuevo material en condiciones controladas de laboratorio.

Esta investigación pretende contribuir nueva información sobre las proporciones ideales de PET reciclado que se pueden utilizar en la construcción sin comprometer las propiedades del hormigón, y así ampliar el conjunto de conocimientos ya disponibles sobre el tema. Además, los resultados adquiridos pueden servir como una base sólida para investigaciones posteriores centradas en la creación de hormigones más eficientes y sostenibles.

#### ***1.4.2. Justificación Práctica.***

La aplicación de PET reciclado triturado en lugar de agregado fino en mezclas de hormigón se presenta como una alternativa práctica que tiene el potencial de impactar positivamente tanto el sector de la construcción como el medio ambiente. En un mundo donde la urbanización y el desarrollo de infraestructuras están en constante aumento, la demanda de materiales de construcción sostenibles es cada vez más urgente. La industria del hormigón debe innovar y descubrir soluciones que reduzcan su impacto sobre el medio ambiente, ya que es uno de los mayores usuarios de recursos naturales.

La incorporación de PET reciclado en el concreto contribuye a disminuir la cantidad de agregados naturales que es necesario extraer, lo que no solo preserva los recursos minerales, sino que también ayuda a minimizar la cantidad de residuos plásticos que contaminan el medio ambiente. Esta investigación promueve una gestión más responsable de los residuos y fomenta una economía circular en la que los desechos se convierten en recursos valiosos.

Desde el punto de vista de la aplicación, evaluar las características del hormigón que contiene PET reciclado permitirá a los expertos en construcción tomar decisiones bien informadas sobre la utilización de materiales sustitutos. Si los resultados indican que el concreto modificado con PET puede alcanzar o superar las propiedades del concreto convencional, se crearán nuevas oportunidades para la aplicación de tecnologías sostenibles en el sector de la construcción. El estudio también proporcionará información valiosa sobre la dosificación óptima de PET reciclado, lo que permitirá su incorporación en proyectos de construcción reales.

Además, esta investigación fomentará el uso de materiales reciclados y reducirá la huella de carbono de la industria de la construcción, esta investigación puede utilizarse como guía para los próximos proyectos de infraestructura. A la hora de obtener permisos y llevar a cabo proyectos, la capacidad de demostrar que se utilizan eficazmente materiales reciclados puede marcar la diferencia en un entorno donde las normas medioambientales son cada vez más estrictas.

En conclusión, esta investigación no solo tiene el potencial de ofrecer soluciones prácticas a problemas ambientales contemporáneos, sino que también podría transformar la forma en que se concibe el concreto en el ámbito de la construcción. Queremos contribuir a garantizar que los recursos se utilicen en la construcción de una forma más responsable y sostenible en el futuro utilizando PET reciclado.

### **1.5. Limitaciones**

- La calidad y las propiedades del PET reciclado utilizado en este estudio pueden variar dependiendo de la fuente de recolección y del proceso de reciclaje. Esto puede influir en las propiedades finales del concreto, limitando la aplicabilidad de los hallazgos a otros contextos en los que se utilicen diferentes tipos de PET reciclado.
- Este estudio se centra exclusivamente en porcentajes específicos de PET reciclado (3.5%, 4.5% y 5.5%). Aunque estos niveles son representativos, no se explorarán otros porcentajes que podrían ofrecer resultados diferentes en términos de propiedades mecánicas y físicas del concreto.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

#### 2.1.1. A nivel internacional

El estudio “Análisis técnico-económico del uso de PET reciclado como reemplazo parcial de áridos finos en concreto”; fue realizado por Carreño, F. (2020) de la Universidad de Chile. El objetivo del estudio era confirmar si era factible sustituir la arena o los áridos finos por PET (tereftalato de polietileno) en una proporción ideal. El estudio se realizó utilizando investigaciones y pruebas realizadas previamente, que produjeron hallazgos inconsistentes en relación con la compresión, la resistencia a la tracción y la flexión, la absorción de agua y el módulo elástico. Los principales hallazgos demostraron que la sustitución del agregado fino por PET no podía exceder el 20%. Esto se debe a que, en comparación con el hormigón normal, las mezclas con porcentajes de sustitución elevados pueden perder hasta un 65% de su resistencia a la compresión. Con base en el análisis se debe seguir la norma ACI318-11 para autorizar la dosificación de concreto con una resistencia a la compresión definida de 25 MPa y la sustitución del 10% de PET reciclado por partículas finas. Aunque el costo de producir este concreto es \$7,190 más alto por metro cúbico que el del concreto regular 8,704 metros cúbicos de concreto (o el 0.1% del total de metros cúbicos producidos en el país en 2019) podrían resultar en la reutilización anual de 210,423 botellas de PET en Chile.

Coavas, A., y Segrera, V. D. C. (2020); realizaron un estudio titulado “Estudio del comportamiento mecánico del concreto con adición de fibras de tereftalato de polietileno (PET)”, en la Universidad de Cartagena en Colombia. Este estudio se enfocó en analizar las propiedades mecánicas del concreto con adición de fibras de PET, considerando variables como resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, retracción plástica, exudación y resistencia al impacto. El propósito principal fue identificar una alternativa que mejore estas propiedades y explorar el uso de materiales residuales como envases plásticos o botellas de PET. Para realizar la investigación, crearon una matriz comparativa de estudios previos sobre la incorporación de fibras de PET recicladas en la matriz del concreto. Los hallazgos revelaron que las botellas de PET podrían usarse no solo como fibras sino también en forma de escamas o pellets. Si bien las fibras de PET mejoraron la resistencia a la flexión entre un 10% y un 30%, provocaron una ligera reducción en la resistencia a la compresión, lo que limitó su aplicación como elemento estructural.

Alesmar, L., Rendón, N., y Korody, M. E. (2008); realizaron un estudio experimental publicado en su revista “Diseños de mezcla de tereftalato de polietileno (PET) - cemento”, de la Universidad Central de Venezuela. Esta investigación se centró en crear, probar y caracterizar mezclas de PET y cemento. Desarrollaron una metodología teórico-práctica para evaluar el comportamiento del PET de botellas de refresco cuando se utiliza como agregado en las mezclas. Dependiendo de si la mezcla era para mortero o para hormigón, se añadieron diferentes cantidades de arena y piedra a las mezclas, que contenían 5, 10% y 15% de PET. Se diseñaron tres mezclas sustituyendo una parte de la arena por PET y se sometieron a pruebas de impacto, erosión, absorción y compresión simple. En la mayoría de las pruebas, las muestras se mantuvieron hasta 28 días después de curar durante 7 días, con la excepción de las pruebas de absorción y erosión, que se realizaron después de 7 días. La mezcla B, con un 15% de PET, resultó ser la más resistente en promedio, ya que exhibió una baja absorción y una buena resistencia a la erosión y al impacto, lo que la convirtió en el material de construcción más adecuado. Además, no fue la mezcla más cara. Este enfoque ayuda a reducir los desechos de PET, disminuyendo así su impacto ambiental al reutilizar grandes cantidades de botellas de gaseosas.

### **2.1.2. A nivel nacional**

En la Universidad Señor de Sipán de Chiclayo, Córdova, R. (2023); realizaron un estudio titulado “Estudio de las propiedades mecánicas del hormigón mediante la adición de plástico reciclado como reemplazo parcial del agregado fino”. Analizar los efectos del plástico reciclado (PET) sobre las características mecánicas del hormigón fue el principal objetivo. En mezclas de 210 kg/cm<sup>2</sup> y 280 kg/cm<sup>2</sup> se evaluaron diversos porcentajes de PET (2,5%, 5%, 10% y 15%) como reemplazo del agregado fino. Se empleó un enfoque cuantitativo y métodos experimentales. Se realizaron pruebas en 300 cilindros y 100 vigas de conformidad con las directrices NTP 339.034-2013. Las evaluaciones de las características físicas del hormigón fresco incluyeron contenido de aire, temperatura, peso unitario y asentamiento. Se examinaron la resistencia a la compresión, el módulo de elasticidad, la tracción y la flexión en relación con las características mecánicas. Los hallazgos demostraron que la adición de PET al hormigón en porcentajes de 2,5 %, 5 %, 10 % y 15 % mejoró su trabajabilidad y se asentó dentro de los límites permitidos. Específicamente, en relación con el diseño maestro, la resistencia mecánica aumentó con adiciones de 2,5% y 5% de PET, pero la resistencia disminuyó con porcentajes mayores (10% y 15%). Se encontró que los mejores resultados en términos de propiedades mecánicas se obtuvieron con un reemplazo de 2,5% de PET.

La investigación titulada “Optimización de las propiedades mecánicas del hormigón  $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$  mediante la incorporación de plástico reciclado en su diseño”, realizada por Aranibar, J. T., & Silva Cornejo, A. (2022), en la Universidad César Vallejo de Puerto Maldonado, buscó mejorar las propiedades físico-mecánicas del hormigón mediante la incorporación de plástico reciclado. En este estudio experimental aplicado, se crearon 72 muestras de concreto, tanto cilíndricas como rectangulares, utilizando un diseño de mezcla con una resistencia característica de  $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , siguiendo el método ACI 211. Se incluyeron cantidades variables de botellas plásticas trituradas (4%, 8% y 12%) y las muestras se sometieron a ensayos de compresión, flexión y tracción indirecta a los 7, 14 y 28 días. Los hallazgos revelaron que, a los 28 días, las muestras que contenían plástico reciclado exhibieron resistencias menores en comparación con el hormigón convencional. En consecuencia, se determinó que agregar botellas plásticas trituradas al hormigón con una resistencia de diseño de  $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$  no es ventajoso, ya que disminuye la resistencia del hormigón.

El estudio titulado “Estudio de la Resistencia a la Compresión del Hormigón  $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ , con Adición de Plástico Reciclado (PET), en la Ciudad de Tarapoto, 2018”, fue realizado por Pinedo Pérez, J. R. (2019) de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto. El propósito principal del estudio fue determinar si la adición de plástico PET reciclado al hormigón aumenta su resistencia a la compresión. En el estudio se utilizó cemento Pacasmayo tipo 1 y agregados del río Huallaga, con PET derivado de botellas plásticas recicladas. Se prepararon mezclas de concreto con adiciones de 5%, 10% y 15% de PET reciclado, y se realizaron pruebas de resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días. Se ha comprobado que la resistencia a la compresión disminuye con el aumento del porcentaje de PET, aunque se siguen alcanzando valores superiores a  $140 \text{ kg/cm}^2$  y  $175 \text{ kg/cm}^2$ . Esto sugiere que el hormigón de PET reciclado es adecuado para componentes no estructurales y puede reducir el daño ambiental que causan los polímeros de PET del sector de la construcción.

## **2.2. Bases teóricas o Marco Conceptual**

### **2.2.1. Concreto**

Es un material compuesto por cemento, agua, agregado y según sea necesario, aditivos en proporciones específicas. Al principio, crea una estructura flexible y moldeable, para luego alcanzar una durabilidad sólida y dura perfecto para la construcción (Flores, 2005).

El hormigón se fabrica mezclando cemento Portland, agregados finos y gruesos, aire y agua en las cantidades adecuadas para producir un material con ciertas propiedades como resistencia. Las partículas del agregado se unen debido a una reacción química entre el cemento y el agua, dando lugar a una sustancia heterogénea. Los materiales conocidos como aditivos se agregan con frecuencia al concreto con el propósito de alterar o mejorar características específicas del material (Neciosup, 2018).

La NORMA E.060 establece que la resistencia de cualquier concreto utilizado en estructuras debe ser igual o superior a 17 MPa.

### **2.2.1.1. Componentes del concreto.**

#### **2.2.1.1.1. Cemento Portland.**

Gutiérrez de López, L. (2003); la sustancia que se genera al triturar el Clinker y agregarle yeso se conoce como cemento Portland.

Según (NTP 339.047, 2006); un tipo de cemento hidráulico es el cemento Portland, que se produce a partir del clínker Portland. Los componentes principales del clínker son silicatos de calcio hidráulicos, a los que a menudo se añaden uno o más tipos de sulfato de calcio durante el proceso de molienda.

#### **a) Propiedades físicas y mecánicas del cemento Portland**

Según Quintero, A. F. R., & Rico, J. C. H. (2014); las propiedades tanto mecánicas como físicas del cemento abarcan aspectos como la densidad, la finura, la consistencia, los tiempos de fraguado, el fraguado rápido, la expansión, la fluidez, la resistencia a la compresión y la resistencia a la flexión.

#### **b) Tipos de cementos Portland según sus características particulares**

La NTP 334.009 enumera:

- **Tipo I:** Este tipo es el más comúnmente empleado en situaciones donde no se requieren propiedades específicas. El 25% de su composición es hidróxido de calcio, el cual es vulnerable a los ataques químicos y puede causar corrosión o expansión. El 75% restante corresponde a silicato de calcio.
- **Tipo II:** Se utiliza en edificaciones con sistemas de drenaje expansivos, ambientes hostiles y moderada resistencia a los sulfatos y temperaturas de humidificación.

- **Tipo III:** Se adaptan con rapidez a las altas temperaturas del agua y son empleados cuando es necesario construir estructuras o utilizarlas en climas fríos.
- **Tipo IV:** Para hormigones de gran tamaño se recomienda bajo calor de hidratación.
- **Tipo V:** Aplicado cuando se requiere un alto nivel de resistencia a los sulfatos.

### c) Funciones del cemento Portland

Según Quintero, A. F. R., & Rico, J. C. H. (2014); las funciones del cemento portland son:

- En el estado plástico de la mezcla, la pasta de cemento lubrica el agregado.
- La pasta de cemento se endurece con agregados para formar una mezcla que puede soportar altas fuerzas de compresión.
- Al cerrar las grietas entre las partículas cuando la mezcla se endurece, la pasta de cemento reduce la permeabilidad del hormigón y evita que el agua pase a través de la mezcla.

#### 2.2.1.1.2. Agua.

Gutiérrez de López, L. (2003); el agua es un “componente fundamental en las mezclas de mortero y concreto, ya que permite que el cemento desarrolle sus propiedades adhesivas” (p.46).

Asimismo, Abanto, F. (2009); indica que “el agua desempeña un papel importante en la mezcla del hormigón porque influye en su resistencia, trabajabilidad y propiedades endurecidas” (p.21).

Las características del agua para concreto son: (Gutiérrez de López, 2003)

- Se requiere el uso de agua potable libre de materiales orgánicos, aceites, ácidos y álcalis al fabricar mortero y concreto.
- Las muestras que incluyan agua potable o destilada, así como el agua cuya calidad se desea evaluar, deberán ser sometidas a pruebas de resistencia a la compresión a los siete y veintiocho días. Se considerarán muestras satisfactorias aquellas que presenten una resistencia al menos 90% superior a la del hormigón elaborado con agua potable.

- La resistencia del hormigón puede verse afectada en un 20% cuando hay más del 2% de aceite mineral (petróleo) en el agua.
- El hormigón puede ser producido utilizando agua con hasta 10.000 partes por millón de sulfato de sodio sin causar inconvenientes.
- Los cables tensores de hormigón pretensado o el acero de refuerzo pueden corroerse debido al alto nivel de cloruro en el agua de mezcla.
- El cemento puede interactuar con bicarbonato de sodio y carbonato de sodio o potasio que estén presentes en el agua utilizada en la mezcla, lo que acelera el proceso de fraguado del cemento. Cuando están presentes en concentraciones suficientemente altas, también pueden erosionar el hormigón.
- Cuando los sólidos disueltos en el agua sean inferiores a 2.000 partes por millón. Por lo general, se puede usar para hacer concreto, pero si incluye más, es necesario evaluarlo para ver qué impacto tendrá en la resistencia del concreto.
- El uso de agua de mar en la fabricación de hormigón está sujeto a varias limitaciones, que se enumeran a continuación:
  - a) Las mezclas para construcciones básicas de hormigón se pueden preparar con agua de mar.
  - b) En determinadas circunstancias, y con suficiente compactación, también puede utilizarse en la mezcla de mezclas para construcciones de hormigón armado.
  - c) No se aconseja su utilización en la elaboración de concretos de alta resistencia u hormigones destinados a elementos postensados o pretensados.
  - d) El agua de mar tiende a inducir eflorescencia y humedad persistente en la superficie del hormigón terminado, por lo tanto, evite su uso en mezclas que estarán expuestas a los elementos o que tengan un acabado superficial importante.
  - e) Se sugiere emplear un valor  $f'_c$  que esté entre el 110% y el 120% de la resistencia promedio obtenida, para compensar cualquier posible disminución en la resistencia final al diseñar mezclas de concreto que contengan agua de mar.
  - f) Pasados los 28 días no se deberá añadir agua de mar a hormigones con una resistencia superior a 175 kg/cm<sup>2</sup>.

### **2.2.1.1.3. Agregados.**

Según Abanto, F. (2009); afirma que “a menudo denominados agregados, estos componentes inertes se fusionan con agua, aglutinantes (como el cemento o la cal) y otros componentes para generar concreto y mortero” (p.23).

Gutiérrez de López, L. (2003); indica que “los agregados representan entre el 70% y el 80% del volumen del hormigón, una gran parte de sus características están determinadas por las características de estos agregados” (p.48).

#### **✚ La categorización de los agregados según su esencia**

##### **a) Agregado grueso**

Gutiérrez de López, L. (2003); indica que “el material que se mantiene en el filtro N°. 4 y tiene un rango de tamaño de 7,6 cm a 4,76 mm se conoce como agregado grueso” (p.9).

El material que se conserva en la criba ITINTEC de 4,75 mm (N° 4) de acuerdo con las especificaciones dadas en la norma ITINTEC 400.037 se conoce como agregado grueso. Ejemplos de este tipo de material son la piedra triturada y la grava, que provienen de la disolución natural o mecánica de las rocas (Gonzales et al., 2018).

##### **▪ Gravas**

Según Gonzales, C., Paredes, J., Viñas, M., & Castro, R. (2018); las pequeñas partículas de piedra que forman las gravas se llaman “cantos rodados”. Estos pedazos se producen naturalmente cuando las rocas se rompen como resultado del hielo y otras sustancias atmosféricas. Por lo general, se encuentran depositados de forma natural en lechos de ríos y canteras. Cada una de estas piezas ha perdido sus bordes irregulares y ahora tiene una forma esencialmente circular.

Estas gravas tienen una distribución de peso de 1600-1700 kg/m<sup>3</sup>.

##### **▪ Piedra Partida o chancada**

La piedra triturada o partida son agregados gruesos hechos de rocas trituradas o grava. Para su uso como agregado grueso, la piedra triturada debe ser robusta, dura y limpia. Sus funciones principales incluyen aumentar su propia resistencia y suministrar volumen. Según las pruebas, el hormigón elaborado con piedra partida o triturada es algo más resistente que el elaborado con piedra esférica (Abanto, 2009).

Se estima que la piedra triturada tendrá un peso de entre 1,450 y 1,500 kg/m<sup>3</sup>.

## Figura 1

### *Agregado grueso*



Fuente: Gonzales, C., Paredes, J., Viñas, M., & Castro, R. (2018).

Según Gutiérrez de López, L. (2003); un excelente agregado grueso para concreto debe tener las siguientes características:

- Buena gradación en el tamaño mediano; pueden surgir problemas de separación si faltan dos o más dimensiones consecutivas.
- Evite utilizar agregados planos o alargados, ya que no solo provocan una baja resistencia mecánica y un bajo contenido de peso unitario, sino que también tienden a asentarse horizontalmente y formar bolsas de agua debajo de la superficie a medida que las partículas sólidas se estabilizan y emergen hacia arriba. Este almacenamiento de agua debajo de las partículas crea un espacio vacío que se evapora, reduciendo la resistencia del hormigón.
- El tamaño más grande apropiado para los parámetros de diseño de la estructura.
- Debido a su disposición de partículas más grande, que resulta en más material por unidad de volumen, el agregado granular esférico y cúbico es el más apropiado para el concreto, ya que ofrece más resistencia y utiliza menos cemento.
- No debe haber grumos de arcilla ni partículas finas; normalmente, el contenido de finos se restringe del 1 al 3% para garantizar la suficiente adherencia de las partículas y del cemento en la mezcla.
- Una densidad aparente adecuada está en el rango de 2,3 a 2,9 g/cm<sup>3</sup>. Su calidad mejora al aumentar la densidad y disminuye al disminuir la tasa de absorción (que varía del 1 al 5%).
- Las partículas de forma angular forman una mezcla rugosa y difícil de trabajar.

- Para asegurar la dureza, el árido grueso debe ser resistente a la abrasión de la máquina. Límites recomendados: Si se utiliza agregado sobre losas de concreto, el consumo debe ser inferior al 35%. Si se prevé su uso en otras construcciones el consumo debería ser un 40% menor.

#### **b) Agregado fino**

Gutiérrez de López, L. (2003); indica que “el agregado fino es aquel material que atraviesa la malla N° 4 y queda retenido en la malla N° 200, con tamaños que oscilan entre 4.76 mm y 0.074 mm” (p.9).

#### **Figura 2**

*Agregado fino*



Fuente: (Gonzales et al., 2018).

Según Gutiérrez de López, L. (2003); un agregado fino destinado para concreto de alta calidad debe poseer las siguientes características:

- Para llenar todos los huecos y crear una mezcla más densa, el árido fino, al igual que el árido grueso, debe calibrarse con precisión.
- La textura de la superficie, la capacidad de sangrado, la facilidad para producir un acabado agradable y la trabajabilidad del concreto se ven afectadas por la cantidad de agregado fino que pasa a través de los tamices 50 y 100. El porcentaje que atraviesa el tamiz No. 50 puede variar del 10% al 30% según las especificaciones. Se recomienda utilizar agregado fino para pisos de concreto artificial o situaciones donde se desea una textura superficial suave, pero para instalaciones simples o situaciones donde el acabado se realiza mecánicamente, como en el caso de pavimentos, se requiere un mínimo. Un mínimo del 15% pasa por el tamiz de cincuenta grados, mientras que el 3% pasa por el tamiz de 100 grados.
- Si la arena es excesivamente fina, se separa del agregado grueso; mientras que, si es demasiado gruesa, genera una mezcla áspera. El factor de finura del

agregado fino empleado en la elaboración de la mezcla de concreto debe situarse entre 2.3 y 3.1.

- La arena incluida en la mezcla de concreto que contiene materiales orgánicos impedirá total o parcialmente la capacidad del cemento para solidificarse.

#### ✚ Clasificación de agregados según su densidad

Según Gonzales, C., Paredes, J., Viñas, M., & Castro, R. (2018); los agregados se clasifican según su densidad en:

- Peso específico típico, oscila entre 2.50 a 2.75
- Ligeros, con peso específico inferior a 2.5.
- Pesados, cuyos pesos específicos superiores a 2.75.

#### ✚ Clasificación de agregados según su forma

Gonzales, C., Paredes, J., Viñas, M., & Castro, R. (2018); los agregados según su forma son:

- Angular
- Sub angular
- Sub redondeada
- Redondeada
- Muy redondeada

### Figura 3

*Agregados según su forma*



Fuente: Gonzales, C., Paredes, J., Viñas, M., & Castro, R. (2018).

#### ✚ Características físicas de los agregados

- Granulometría del agregado fino

Davila, C. M. (2023); las mallas estándar que se utilizan son las N° 4, 8, 16, 30, 50 y 100, y se definen como la distribución granulométrica de la arena.

Además, la NTP 400.037; señala que el tamiz N°200 recoge el material fino después de pasar por el tamiz de 3/8". Además, no se puede permitir que el contenido suba por encima del 45% entre dos tamices sucesivos. Al elaborar el concreto, es fundamental tener precaución para garantizar que el material fino esté adecuadamente considerado. El agregado en los tamices N°50 y N°100 está libre de deficiencias, ya que estas pueden causar problemas de trabajabilidad, exudación excesiva o bombeo que pueden resolverse agregando cemento y aditivos. También se deben considerar los límites de granulometría especificados en esta norma.

#### ○ **Granulometría del agregado grueso**

La granulometría de la piedra debe ajustarse a los límites establecidos en las normas ASTM C33 o NTP 400.037.

De igual forma, la NTP 400.037 enfatiza que el agregado grueso debe cumplir con las normas señaladas en esta norma, específicamente las limitaciones de impurezas de los agregados. Para construcciones que superen el  $f_c$  de 280 kg/cm<sup>2</sup>, se deben cumplir requisitos adicionales: el valor de impacto del árido no puede superar el treinta por ciento, y la resistencia mecánica de los áridos gruesos elaborados con el método de Los Ángeles no puede superar el 50%. Cuando se trabaja con áridos naturales, el índice de espesor de la piedra triturada no debe ser superior a 50; para grava triturada, no debe ser más de 35.

#### ○ **Tamaño máximo**

Davila, C. M. (2023); se caracteriza por ser la muestra de agregado grueso que pasa por el tamiz más pequeño. Además, está comprobado que cuando se tamiza el agregado más grueso, la ranura del tamiz directamente encima que retiene el 15% o más del agregado determina la dimensión máxima del agregado.

#### ○ **Tamaño máximo nominal**

Davila, C. M. (2023); la medida máxima nominal (TMN) corresponde a la malla más pequeña de la serie 28, lo que produce la primera retención entre 5% y 10%.

#### ○ **Peso específico**

Davila, C. M. (2023); una porción del volumen estará ocupada por los poros internos de las partículas de agregado en el concreto, y el agua que se encuentra en estos poros saturados

no se contabiliza como parte del concreto. Al utilizar el peso específico aparente del agua en las mezclas de concreto, el cálculo de la cantidad de agregado requerida por unidad de volumen se vuelve más simple. Al combinarse con el cemento, se genera una pasta que actúa como lubricante para los agregados en su estado plástico. La relación entre la masa de las partículas del material y el volumen que ocupan se denomina gravedad específica aparente, e incluye los poros saturables e insaturables. Este valor varía de acuerdo con el tipo o grupo de roca del cual se originan los agregados pétreos, oscilando entre 2,3 y 2,8 g/cm<sup>3</sup>.

○ **Módulo de fineza**

El MF, es un parámetro que evalúa la composición granulométrica de los agregados. Su cálculo consiste en sumar los porcentajes acumulados de material retenido en una serie de tamices normalizados y luego dividir el resultado entre 100. Un MF elevado refleja una mayor presencia de partículas gruesas, mientras que un valor bajo indica una predominancia de partículas finas. Para cumplir con las especificaciones técnicas, el agregado fino debe tener un módulo de finura comprendido entre 2.3 y 3.1 (Toirac, 2012).

$$MF = \frac{\% \text{ retenido acumulado}}{100} \quad (1)$$

○ **Contenido de humedad**

Davila, C. M. (2023); se puede definir como el porcentaje de agua presente en el agregado.

$$C.H = \frac{P.A.H - P.A.S}{P.A.S} X 100 \quad (2)$$

Donde:

- ↪ C.H: Contenido de humedad
- ↪ P.A.H: Peso de agregado húmedo
- ↪ P.A.S: Peso de agregado seco

○ **Absorción**

La absorción se representa en porcentaje y se refiere a la cantidad de agua necesaria para que el agregado cambie de un estado seco a uno saturado superficialmente seco (Davila, 2023b).

$$\%A = \frac{P.S.S.S - P.A.S}{P.A.S} \times 100 \quad (3)$$

Donde:

- % A.: porcentaje absorción
- P.S.S.S peso de agregado saturado superficialmente seco
- P.A.S peso de agregado seco

#### 2.2.1.1.4. *Aditivos.*

Quintero, A. F. R., & Rico, J. C. H. (2014); afirma que “los compuestos conocidos como aditivos se agregan al concreto antes o durante el mezclado para alterar características específicas de la mezcla según lo decida el constructor o diseñador” (p.22).

**Tabla 1**

*Tipos de aditivos para el concreto*

<b>TIPO DE ADITIVO</b>	<b>EFECTO DESEADO</b>
<b>Aditivos convencionales</b>	
Plastificantes	Disminuir la cantidad de agua entre el 5% y un 12%.
Retardantes	Retrasar el periodo de fraguado.
Acelerantes	Agilizar el proceso de fraguado y fortalecer la resistencia en las etapas iniciales.
Plastificantes retardantes	Reducir la cantidad de agua en un rango del 5% al 12% y demorar el proceso de fraguado.
Plastificantes acelerantes	Reducir la cantidad de agua en un rango del 5% al 12% y acelerar el proceso de fraguado.
Superplastificantes	Disminuir la cantidad de agua entre un rango de un 12% y un 30% y retrasa el tiempo de fraguado.
<b>Inclusor de aire</b>	
Aditivos minerales	Mejorar la trabajabilidad y aumentar la impermeabilización.
Cementantes	Incrementar las propiedades del cemento y reemplazar parcialmente su uso.

---

Puzolanas	Optimizar la resistencia a los sulfatos, la trabajabilidad, la plasticidad, la reacción álcali-agregado, la permeabilidad, el calor de hidratación, así como el reemplazo parcial del cemento y el uso como relleno.
Inertes	Aumenta el relleno y la trabajabilidad.
<b>Aditivos misceláneos</b>	
Aparatos formadores de gas	Inducir expansión antes de que ocurra el fraguado.
Impermeabilizante	Reducir la capacidad de permeabilidad.
Accesorios de bombeo	Mejora la eficiencia en el bombeo.
Agentes anticorrosivos	Reducen la velocidad a la que se desarrolla la corrosión en situaciones que contienen cloruro
Tintes	Color concreto

---

*Nota:* Se ilustra en la tabla la clasificación y sus usos previstos de los aditivos en la mezcla de hormigón. Fuente: (Quintero & Rico, 2014).

#### **Funciones de los aditivos:**

Según Quintero, A. F. R., & Rico, J. C. H. (2014); los aditivos tienen las siguientes funciones:

- Menor costo de construcción de proyectos de ingeniería civil.
- Mejora las cualidades del hormigón.
- Garantizar la calidad del hormigón durante las fases de mezclado, transporte, vertido y curado, incluso en circunstancias climáticas adversas.
- Mayor trabajabilidad y facilidad de manejo con la misma proporción de agua en la mezcla.
- Reducción de la segregación debido a una mayor cohesión de la mezcla.
- Ralentizar o acelerar el endurecimiento del hormigón.
- Ralentiza o detiene la liberación del calor de la hidratación.
- Restringir el sangrado o las secreciones.
- Baja permeabilidad.

## 2.2.2. *Propiedades físicas del concreto*

### 2.2.2.1. **Trabajabilidad.**

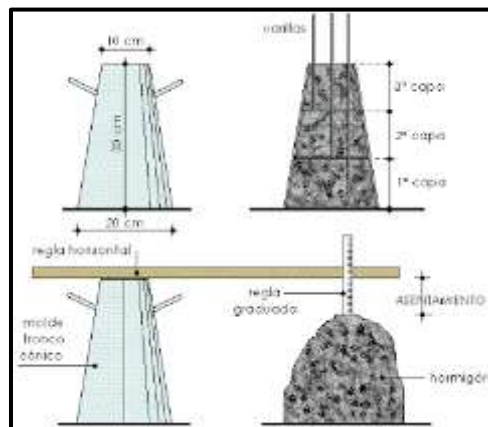
Chumpitaz, G. (2019); la trabajabilidad representa la capacidad del concreto para mezclarse y compactarse uniformemente, previniendo la separación de sus componentes y la filtración de agua hacia la superficie.

#### 2.2.2.1.1. *Ensayo de asentamiento.*

La humedad de una mezcla y el grado de fluidez del concreto se relacionan con la consistencia, que se establece a través de la prueba de asentamiento (NTP 339.035, 2009). La mezcla del concreto fluirá más fácilmente durante su colocación si tiene mayor humedad. El cono de Abrams es la prueba más usada para calcular el asentamiento.

### **Figura 4**

*Ensayo del asentamiento*



*Nota:* Este ensayo muestra cómo se mide el asentamiento del concreto, es decir, cuanto se desplaza en relación con la forma que lo contiene cuando está fresco. Fuente: Chumpitaz, G. (2019).

#### **2.2.2.2. Contenido de aire.**

Chumpitaz, G. (2019); indica que la cantidad de aire presente en el concreto fresco puede medirse mediante diversas técnicas experimentales. Entre ellas, el método de presión, que aplica la ley de Boyle para correlacionar la presión del aire con el volumen de la mezcla. Otra alternativa es el procedimiento volumétrico, en el que se agita una muestra de concreto en un exceso de agua para extraer el aire contenido en un volumen predeterminado, siendo este enfoque válido incluso para hormigones ligeros. Finalmente, está el método gravimétrico, que compara la densidad teórica (calculada a partir de los volúmenes absolutos de los componentes) con la densidad real obtenida en laboratorio, expresando la diferencia como un porcentaje de la densidad teórica.

##### **2.2.2.2.1. Ensayo de contenido de aire.**

El procedimiento estandarizado en la NTP 339.080 permite cuantificar el aire presente en mezclas de hormigón fresco mediante el análisis de las variaciones volumétricas que experimenta el material al someterlo a cambios de presión controlados.

#### **2.2.2.3. Temperatura.**

La temperatura influye directamente en su trabajabilidad, contenido de aire y consistencia. A pesar de carecer de un método estandarizado, su medición con termómetro ( $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ) es esencial. En climas cálidos, el rango recomendado es  $10^{\circ}\text{C}$ - $29^{\circ}\text{C}$ , con un máximo de  $32^{\circ}\text{C}$  para evitar hidratación acelerada, la cual reduce la resistencia final por fraguado desigual (Dávila, 2023).

El RNE establece que la temperatura post - vaciada debe mantenerse bajo  $32^{\circ}\text{C}$  para evitar la disminución de trabajabilidad, juntas defectuosas o fraguado acelerado, superado este límite, se requiere protección del hormigón y validación del inspector.

##### **2.2.2.3.1. Ensayo para determinar la temperatura**

La NTP 339.184, establece el protocolo para evaluar la temperatura en mezclas de hormigón inmediatamente después de su preparación. Esta medición refleja únicamente las condiciones térmicas al momento del análisis, sin predecir su comportamiento posterior. El

método resulta útil para validar el cumplimiento de parámetros térmicos exigidos en mezclas frescas durante procesos constructivos.

#### **2.2.2.4. Peso unitario.**

El ensayo de peso unitario evalúa la relación masa-volumen en hormigones elaborados con dosificaciones controladas, sirviendo como indicador de calidad en la preparación de mezclas (Terrones & Vera, 2023).

##### **2.2.2.4.1. Ensayo de la densidad (peso unitario)**

Según la NTP 339.046; el ensayo emplea un contenedor dimensionalmente acorde al TM del agregado. Tras compactar tres capas iguales con 25 aplicaciones de varilla por estrato, el peso unitario se calcula dividiendo la masa del concreto entre el volumen del molde, reportándose en  $\text{kg/m}^3$

### **2.2.3. Propiedades mecánicas del concreto**

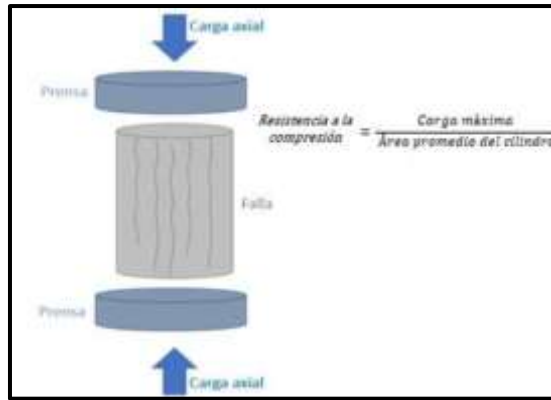
#### **2.2.3.1. Resistencia a la compresión del concreto.**

Según Terrones, L., & Vera, J. G. (2023); la resistencia a la compresión se evalúa a través de la resistencia final de una muestra sometida a fuerzas de compresión. El concreto, con el paso del tiempo, incrementa su resistencia, por lo que la medición más común se realiza a los 28 días después de su vertido y proceso de curado. Sin embargo, también se realizan ensayos de compresión a los 3, 7 y 14 días.

Según Zevallos, L. (2023); la resistencia a la compresión del hormigón se evalúa mediante pruebas cilíndricas que cumplen con los estándares recomendados por el NTP 339.034. Estas pruebas consisten en aplicar una carga axial en compresión a una tasa predefinida de 0,25 a 0,05 MPa/s sobre moldes cilíndricos. El área de carga axial dividida por la carga máxima encontrada durante la prueba produce la tensión de compresión.

#### **Figura 5**

*Resistencia a la compresión*



Fuente: Cemento Alion (2020).

Según Terrones, L., & Vera, J. G. (2023); usando la siguiente fórmula, se puede medir la resistencia a la compresión de los testigos de concreto:

$$f'c = \frac{P}{A} = \frac{P}{\pi * \frac{D^2}{4}} = \frac{4P}{\pi * D^2} \quad (4)$$

Donde:

- $f'c$ : Resistencia a la compresión (kg/cm<sup>2</sup>)
- P: Carga máxima soportada por el testigo (kg)
- D: Diámetro de la muestra cilíndrica (cm)

La desviación estándar se determina empleando la siguiente ecuación (Terrones & Vera, 2023):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(f'c - f'cp)^2}{N - 1}} \quad (5)$$

Donde:

- $\sigma$ : Desviación estándar (kg/cm<sup>2</sup>)
- $f'c$ : Resistencia a la compresión (kg/cm<sup>2</sup>)
- $f'cp$ : Resistencia a la compresión promedio (kg/cm<sup>2</sup>)

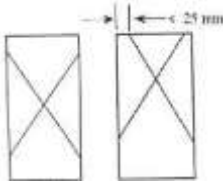
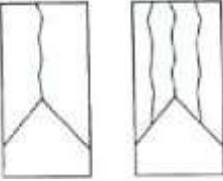

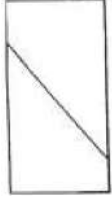
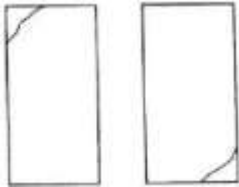
Según Terrones, L., & Vera, J. G. (2023); el coeficiente de variación se obtiene con la siguiente ecuación:

$$CV(\%) = \frac{\sigma}{f'_{cp}} * 100\% \quad (6)$$

Los diferentes tipos de fractura que ocurren durante la prueba de compresión de los testigos se ilustran a continuación en la Tabla 2

**Tabla 2**

*Tipos de fractura en un espécimen cilíndrico*

TIPO DE FACTURA	DESCRIPCIÓN	GRÁFICO
<b>TIPO I</b>	Conos con grietas estratificadas comparativamente bien formadas de menos de 25 mm en ambas bases.	
<b>TIPO II</b>	Una base tiene conos bien definidos, mientras que la otra base tiene conos mal definidos y fisuras verticales que se encuentran dispersas a lo largo de las capas.	
<b>TIPO III</b>	Ambas bases tienen fisuras verticales columnares y los conos están mal contruidos.	
<b>TIPO IV</b>	Para diferenciar del tipo I, perfore grietas diagonales en las sin bases.	
<b>TIPO V</b>	Con las capas de embonado, las fracturas laterales en las bases (superiores o inferiores) son comunes.	

---

**TIPO VI**

Como el tipo 5, pero con mayor énfasis en el terminal del cilindro.



---

*Nota:* Se muestran las distintas formas de falla que pueden presentarse en una muestra cilíndrica. Fuente: NTP 339.034 (2018).

### **2.2.3.1.1. Ensayo de compresión del concreto.**

De acuerdo con la NTP 339.034 (2015), este método de prueba está diseñado para establecer la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de concreto previamente moldeadas y curadas. Es aplicable a hormigones con una densidad superior a los 800 kg/m<sup>3</sup>. Dicha metodología requiere la aplicación de una fuerza de compresión axial controlada a una velocidad constante, ejercida sobre los cilindros moldeados o a muestras extraídas con perforación diamantina, hasta que el material falle. La resistencia a la compresión se determina mediante el cociente entre la carga máxima que la muestra resistió y el área de la sección transversal de la probeta. Es fundamental que, a una edad de prueba determinada, todos los cilindros se ensayen y fallen dentro de los límites de tiempo aceptable.

**Tabla 3**

*Edades de prueba y tolerancias permitidas*

Edad de ensayo	Tolerancia de tiempo permisible	
	Horas	%
24 h	± 0.5	± 2.1
3d	± 2	± 2.8
7d	± 6	± 3.6
28	± 20	± 3.0
190 d	± 48	± 2.2

Fuente: NTP 339.034, (2015).

Según ASTM C39, para el ensayo de resistencia a la compresión, se aplica una carga uniaxial a una velocidad constante (entre 0.20 y 0.30 MPa/s) sobre cilindros o núcleos de concreto. La resistencia se calcula dividiendo la fuerza máxima que el material soporta entre el área de su sección transversal.

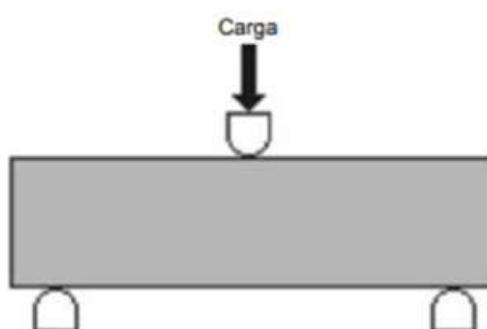
### 2.2.3.2. Resistencia a flexión del concreto.

El módulo de rotura es el indicador que mide la resistencia a la flexión del concreto, es decir, su límite de carga antes de la fractura (Cluzman, 2021).

Según Zevallos, L. (2023); la resistencia a la flexión del concreto simple se mide mediante el módulo de ruptura, que se determina a partir de pruebas de carga en vigas o losas. La prueba, que puede seguir los métodos ASTM C78 (carga en los dos tercios) o ASTM C293 (carga en el centro), produce un valor que se expresa en MPa o kg/cm<sup>2</sup>.

#### Figura 6

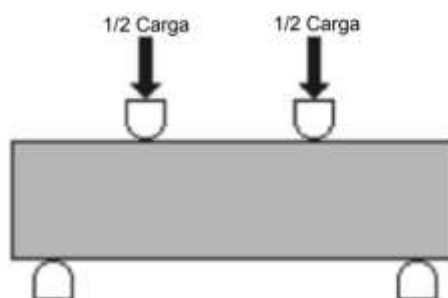
*Flexión de una viga con carga en el centro*



Fuente: Zevallos, L. (2023)

#### Figura 7

*Flexión de la viga con carga en los tercios*



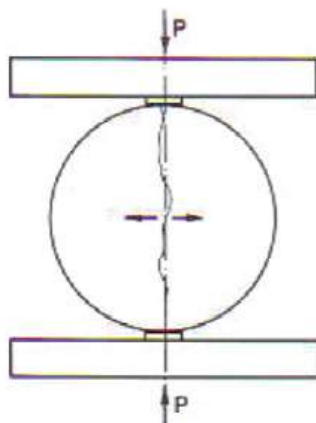
Fuente: Zevallos, L. (2023)

### 2.2.3.3. Resistencia a tracción indirecta del concreto.

Zevallos, L. (2023); este procedimiento evalúa la resistencia a tracción indirecta en muestras de concreto, aplicable a probetas cilíndricas, cúbicas o prismáticas. Para el caso de cilindros, se aplica una carga de compresión concentrada a lo largo de una franja longitudinal estrecha. Esta acción genera un esfuerzo de tracción perpendicular que provoca la falla de la probeta por fractura tensional.

## Figura 8

Ensayo de tracción (método brasileño)



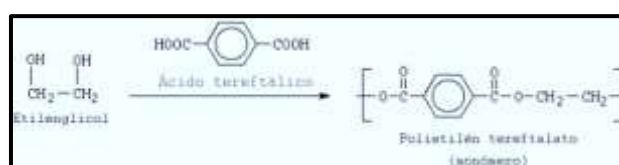
Fuente: Zevallos, L. (2023)

### 2.2.4. PET reciclado

El tereftalato de polietileno (PET) es un enorme polímero sintético formado principalmente por alcoholes, compuestos químicos y moléculas de hidrocarburos. El uso principal de este material reciclado es la producción de envases para líquidos. El 64% está compuesto por hidrocarburos crudos, el 23% por derivados líquidos del gas natural y el 13% por aire. Su resistencia a la compresión y su bajo peso son sus cualidades más notables (Córdova, 2023).

## Figura 9

Estructura química del PET



*Nota:* La reacción de condensación entre ácido tereftálico y etileno glicol produce PET. Fuente: (Aranibar & Silva Cornejo, 2022).

El plástico reciclado PET es un polímero termoplástico 100 % reciclable que se ve con frecuencia en las botellas. Se sugiere utilizarlo en lugar de agregados en la mezcla de concreto, lo que disminuiría el impacto sobre el medio ambiente. Además, este sustituto evitaría una explotación excesiva de las canteras, especialmente en regiones donde estos áridos son escasos. Una alternativa esencial es reutilizar el PET y utilizarlo en lugar de partículas finas en la mezcla de hormigón. A la luz de la creciente necesidad de tecnologías innovadoras en la industria de

la construcción, se están buscando soluciones rentables que utilicen materiales que mejoren las cualidades físicas y mecánicas del hormigón (Cluzman, 2021).

**Figura 10**

*Símbolo usado en envases*



Fuente: (Aranibar & Silva Cornejo, 2022).

**Figura 11**

*Botellas PET reciclados*



Fuente: (Aranibar & Silva Cornejo, 2022).

**Tabla 4**

*Sistema para la identificación de los contenedores de PET*

<b>Tipo de termoplástico</b>	<b>Clave</b>	<b>Tipo de uso</b>
Tereftalato de polietileno (PET o PETE)	1	Sus usos incluyen envases de alimentos y botellas de refrescos carbonatados.
Polietileno de alta densidad (HDPE o PEAD)	2	Utilizado en las botellas de leche, detergente, bolsas, entre otros.

---

Policloruro de vinilo (PVC)	3	Se encuentra frecuentemente en envolturas y embalajes de película delgada.
Poliétileno de baja densidad (LDPE)	4	Existen muchos tipos diferentes de botellas y bolsas fabricadas con este plástico robusto, flexible y translúcido (congelados, pan y otras cosas, además de la compra).
Polipropileno (PP)	5	Utilizado en etiquetas, maletas, tapas y cajas de botellas.
Poliestireno (PS)	6	Se utiliza en la creación de productos, vasos y platos moldeados por inyección.
Otros	7	Cualquier otro tipo de resina y materiales con múltiples capas.

---

Fuente: (Méndez, 2012).

#### 2.2.4.1. Características del PET.

Según Paz, M. (2016); los principales atributos del PET son:

- **Alta resistencia:** El PET puede formar fibras y películas fuertes y flexibles y no se estira fácilmente
- **Transparencia y brillo:** El PET tiene un aspecto brillante debido a su transparencia y capacidad de incorporar colorantes.
- **Resistencia química:** Ni los ácidos ni los gases presentes en la atmósfera lo dañan.
- **Tolerancia al calor:** Debido a su alto punto de fusión (244 – 254°C), puede tolerar temperaturas que oscilan entre 80 y 120°C.
- **Baja absorción de agua:** El PET no absorbe mucha humedad.
- **Versatilidad en procesamiento:** Es adecuado para procesos como soplado, inyección y extrusión.

- **Amplios usos:** Se utiliza para crear botellas, películas, láminas, planchas y piezas.
- **Seguro para alimentos:** Aprobado para su uso en contacto con alimentos.
- **Reciclable:** El PET es un material que se puede reciclar.
- **Liviano:** Tiene una densidad de 1,34 – 1,39 g/cm<sup>3</sup>.

Paz, M. (2016); las propiedades del PET cambian al ser reciclado. Esto se debe principalmente a que se somete a procesos térmicos. Por ejemplo, el PET reciclado, también conocido como RPET, tiene una mayor elongación antes de romperse, una mayor resistencia al impacto y es más suave que el PET virgen, que normalmente es más frágil.

**Tabla 5**

*Comparación de las características del PET y el RPET*

<b>Características del PET y RPET</b>		
<b>Propiedad</b>	<b>PET virgen</b>	<b>RPET</b>
Módulo de Young (MPA)	1890	1630
Resistencia a la rotura (MPA)	47	24
Elongación a la rotura (%)	3.2	110
Resistencia al impacto (Jm-1)	12	20
IV (dl g-1)	0.72-0.84	0.46-0.76
Temperatura de fusión (°C)	244-254	247-253
Peso molecular (g mol-1)	81600	58400

Fuente: (Paz, 2016).

#### 2.2.4.2. Propiedades mecánicas del PET.

Zevallos, L. (2023); afirma que el PET, un plástico común, posee cualidades excepcionales. La alta resistencia a la densidad, al calor, al aislamiento eléctrico, a los ácidos, a los álcalis y a los disolventes son algunas de ellas. Además, el PET tiene atributos como la resistencia química, un índice de fluencia adecuado, una fuerte resistencia al desgaste, un buen comportamiento bajo carga continua y un rendimiento térmico satisfactorio. Con estas cualidades, el PET podría considerarse un buen material sustitutivo para la preparación del hormigón.

**Tabla 6**

*Propiedades mecánicas del Polietileno Tereftalato (PET)*

<b>Propiedades Mecánicas</b>	
Peso específico	134 g/cm <sup>3</sup>
Resistencia a la tracción	825 kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a la flexión	1450 kg/cm <sup>2</sup>
Alargamiento a la rotura	15%
Módulo de elasticidad (Tracción)	2850 kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia al desgaste por roce	Muy buena
Absorción de humedad	0.25 %

Fuente: (Zevallos, 2023).

#### 2.2.4.3. Proceso de reciclado.

Debido a su uso extensivo y bajo costo de producción, el plástico PET hace que el reciclaje sea un procedimiento ventajoso que promueve la reutilización. El esfuerzo de las materias primas, impulsado por el encarecimiento del petróleo, es el principal motivo. Además, dependiendo de su uso previsto, el plástico PET reciclado puede tener una calidad superior al material nuevo o virgen (Campana & Flores, 2019).

## Figura 12

*El proceso para reciclar PET*



Fuente: Aranibar, J. T., & Silva Cornejo, A. (2022).

### 2.3. Hipótesis

#### 2.3.1. *Hipótesis general*

- La sustitución del agregado fino por PET reciclado triturado en distintas concentraciones influye significativamente en las propiedades mecánicas y físicas del concreto bajo condiciones de laboratorio.

#### 2.3.2. *Hipótesis específicos*

- a) La incorporación de distintas concentraciones de PET reciclado influye significativamente en las propiedades físicas del concreto fresco.
- b) La incorporación de distintas concentraciones de PET reciclado influye significativamente la resistencia a la compresión del concreto.
- c) La incorporación de distintas concentraciones de PET reciclado influye significativamente la resistencia a la tracción diametral del concreto.
- d) La incorporación de distintas concentraciones de PET reciclado influye significativamente la resistencia a la flexión del concreto.

### 2.4. Variables y definición conceptual y operacional.

#### 2.4.1. *Variable independiente*

- Incorporación de PET reciclado

#### 2.4.2. *Variable dependiente*

- Propiedades mecánicas y físicas del concreto

### 2.4.3. Matriz de operacionalización de variables

**Tabla 7**

*Matriz de operacionalización de variables*

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
<b>VI: Variable independiente</b>			
Incorporación de PET reciclado	<b>PET:</b> El etilenglicol y el ácido tereftálico se polimerizan para formar este polímero termoplástico.	Dosificación	0%, 3.5%, 4.5% y 5.5%
<b>VD: Variable dependiente</b>			
Propiedades mecánicas y físicas del concreto	<b>Propiedades Mecánicas:</b> Son fundamentales para evaluar la eficacia del concreto en su estado endurecido en términos de su capacidad para resistir cargas y su comportamiento a lo largo del tiempo, lo que contribuye a prolongar su vida útil.	Resistencia a la Compresión (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Ensayo a la resistencia de compresión. NTP 339.034 y ASTM C39 Resistencia a 7, 14 y 28 días.
		Resistencia a la Flexión (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Ensayo a la resistencia a la flexión. NTP 339.078 y ASTM C78
		Resistencia a la Tracción indirecta (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Ensayo a la resistencia a la tracción indirecta. NTP 339.084
		Trabajabilidad (Pulg)	Ensayo de asentamiento. NTP 339.035 y ASTM C - 143
	<b>Propiedades Físicas:</b> Son características inherentes del material que no implican cargas o fuerzas aplicadas.	Contenido de Aire (%)	Ensayo de contenido de aire. NTP 339.080 y ASTM C - 231
		Temperatura (°C)	Ensayo de temperatura. NTP 339.184
		Peso unitario	Ensayo de peso unitario. ASTM C138

Fuente: Elaboración Propia.

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Diseño metodológico**

##### **3.1.1. Tipo de investigación**

Según Muñoz, C. (2011); una investigación aplicada se define como la utilización de información provenientes de investigaciones puras para abordar cuestiones tecnológicas, empíricos y prácticos del mundo real.

El presente estudio, según su propósito se enmarca en la categoría del tipo de investigación aplicada, debido al objetivo de evaluar las propiedades mecánicas y físicas del concreto al incorporar PET reciclado triturado como agregado fino, aplicando este conocimiento para mejorar la sostenibilidad y desempeño del concreto.

##### **3.1.2. Enfoque de investigación**

Hernández et al. (2014); el enfoque cuantitativo permite evaluar hipótesis mediante mediciones precisas y sistemáticas, con el objetivo de identificar patrones, establecer relaciones entre variables y probar teorías.

Este proyecto adopta un enfoque cuantitativo debido a su estricto enfoque en la obtención de un problema, objetivos, hipótesis, diseño, validación y resultados, todo lo cual será cuantificado a través de las pruebas estandarizadas exigidas por la normativa vigente.

##### **3.1.3. Nivel de investigación**

El objetivo de los estudios explicativos es determinar las causas de determinados acontecimientos evaluando las relaciones causa-efecto. En este contexto, pueden ocuparse tanto del análisis de los efectos (mediante investigaciones experimentales y comprobación de hipótesis) como de la identificación de las causas (mediante investigaciones a posteriori). Dado que proporcionan las explicaciones de los fenómenos objeto de estudio, los resultados y conclusiones extraídos de este tipo de investigaciones reflejan el más alto grado de conocimiento (Arias, 2012).

Esta investigación es del nivel explicativo debido a que se investigó el comportamiento del concreto cuando se utiliza PET triturado en sustitución del agregado fino.

##### **3.1.4. Diseño de la investigación**

Hernández et al. (2014) sostiene que, en el diseño experimental, la variable independiente se manipula activamente para controlar una condición y evaluar cómo afecta a

la variable dependiente. Por otro lado, se incluyen tres categorías en este enfoque como preexperimental, cuasiexperimental y experimento puro.

Este proyecto de estudio adopta un diseño experimental puro, debido a que solo se manipulo los porcentajes de reemplazo del agregado fino por PET en 0%, 3.5%, 4.5% y 5.5% y las demás condiciones se mantuvieron constantes.

### **3.2. Diseño muestral**

#### **3.2.1. Población**

“Una población se define como el grupo total de casos que satisfacen criterios particulares” (Hernández et al., 2014).

En este proyecto, la población estará representada por un total de 108 especímenes.

#### **3.2.2. Muestra**

Hernández et al. (2014), la muestra es una parte de la población en la que se pretende que este subgrupo sea representativo.

En este proyecto, la muestra estará representada por un total de 72 testigos cilíndricas (con dimensiones de 7.5 cm de radio y 30 cm de longitud) y 36 testigos prismáticos (con dimensiones de 15 cm x 15 cm x 53 cm), donde de estas algunas estarán elaboradas con concreto convencional (mezcla de cemento, agregados y agua), mientras que en otras se incorporarán PET triturado en 3.5, 4.5 y 5.5% como sustituto del agregado fino y estarán evaluados a los 7, 14 y 28 días.

### **3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.3.1. Técnicas de recolección de datos**

En este estudio se aplicó la técnica de observación directa y los ensayos de laboratorio. La observación me permitió identificar los comportamientos físicos durante la preparación, mezclado, moldeo, curado y ensayo de los especímenes, mientras que los ensayos en el laboratorio me permitieron realizar mediciones estandarizadas de las propiedades físicas y mecánicas del concreto. En resumen, la observación y los ensayos de laboratorio desempeñarán un papel clave en la recolección de datos y el análisis en esta investigación.

### **3.3.2. Instrumentos de recolección de datos**

Se aplicaron protocolos de ensayo específicos y alineados con las normativas NTP a lo largo de la investigación. Los datos resultantes se documentaron y procesaron en hojas de cálculo de Excel para generar los resultados definitivos del proyecto.

La obtención de datos para caracterizar las propiedades físicas del agregado seleccionado, así como para determinar las propiedades físicas y mecánicas del concreto se realizó utilizando una serie de instrumentos especializados, entre los que se incluyen: un horno eléctrico regulable, un molde cónico y una barra compactadora para establecer muestras secas superficialmente, un picnómetro, así como balanzas digitales y tamices normalizados.

Para los pesos unitarios, se utilizó un recipiente cilíndrico que cumple con la NTP 400.017. Aparte de ello se usó un molino triturador de botellas plásticas, moldes cilíndricos y prismáticos para la elaboración de especímenes, un cono de Abrams, un termómetro digital y una olla Washington. Las pruebas de compresión se llevaron a cabo con una prensa eléctrica digital, mientras que una prensa hidráulica universal se usó para las pruebas de tracción y flexión.

### **3.4. Procedimiento de recolección de datos**

1. Primero, se elaboraron las hojas de registro de ensayos de los agregados y del concreto, basándose en los protocolos establecidos por las Normas Técnicas Peruanas (NTP) y ASTM.
2. Segundo se adquirió los materiales de la zona; piedra chancada, arena gruesa, cemento, agua y botellas PET.
3. Tercero, se llevó a cabo la caracterización de los áridos. Dichos ensayos incluyeron la medición de humedad, finos que atraviesan el tamiz (N°200) por medio de lavado, la distribución de granulometría, la densidad específica, la capacidad de absorción y la masa unitaria (tanto en estado compactado y suelto). También se caracterizó el PET triturado, registrando su distribución de tamaño de partícula y su densidad aparente (peso unitario).
4. Cuarto, elaboro los diseños de mezcla tomando una resistencia objetivo de 210 kg/cm<sup>2</sup> con dosificación de 3.5, 4.5 y 5.5% de PET. El PET fue triturado para asegurar que todo el material pasara por un tamiz de 9.53 mm.

5. Quinto, se elaboraron especímenes (probetas cilíndricas y vigas rectangulares) que se dejaron fraguando cubiertos con bolsas plásticas por 24 horas y luego se sometieron a un curado por inmersión en agua para edades de 7, 14 y 28 días.
6. Sexto, se realizaron ensayos al concreto en estado fresco: (asentamiento, temperatura, aire atrapado y masa unitaria) y al concreto en estado endurecido (compresión, flexión y tracción indirecta).
7. Séptimo, se realizó el análisis de los resultados con el apoyo de representaciones gráficas y tablas.

### **3.5. Aspectos éticos y regulatorios**

Esta investigación fue llevada a cabo siguiendo rigurosos lineamientos de conducta ética, dando prioridad a la probidad, el respeto y la rectitud. Se asumió la responsabilidad social de los resultados, buscando siempre que el conocimiento generado aporte un beneficio tangible a la sociedad. Por lo tanto, toda la información y las conclusiones expuestas en este trabajo son el resultado de un proceso riguroso y transparente.

La metodología de investigación combinó la experimentación en el Laboratorio de Materiales y Estructuras de la UNAT con una meticulosa revisión bibliográfica. Para garantizar la originalidad y el cumplimiento de los estándares académicos, se reconocieron debidamente a todos los autores y fuentes utilizadas, tal como se detalla en la sección de bibliografía.

Asimismo, se acató plenamente el marco de normativas éticas de la UNAT y otras instituciones relevantes como el CONCYTEC, asegurando así la integridad del proceso de investigación en cada una de sus etapas.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Resultados

El propósito principal de este trabajo fue evaluar las propiedades mecánicas y físicas del concreto bajo condiciones de laboratorio, incorporando parcialmente PET en proporciones del 3.5%, 4.5% y 5.5% en términos de volumen como sustituto del agregado fino para un concreto con resistencia característica  $f'_c$ : 210 kg/cm<sup>2</sup>.

Los ensayos realizados demuestran que la inclusión parcial de PET modifica tanto las propiedades físicas como, en menor medida, las características mecánicas del concreto diseñado para  $f'_c = 210$  kg/cm<sup>2</sup>.

#### 4.1.1. Agregados, características geotécnicas

Se realizó la evaluación de tres muestras representativas de los agregados utilizados en la producción de concreto, con el objetivo de elegir el material pétreo que cumpliera estrictamente con las exigencias establecidas por NTP 400.037. Estas evaluaciones permitieron comprobar la idoneidad de los materiales con base en sus características físicas y geotécnicas.

Las muestras evaluadas corresponden a:

- Agregado fino: Se evaluaron dos muestras distintas (Muestra 1 y Muestra 2) provenientes del centro poblado de Mantacra, ubicado en el distrito de Pampas, provincia de Tayacaja, departamento de Huancavelica. Ambas muestras fueron seleccionadas por su disponibilidad local y uso frecuente en obras civiles de la zona.
- Agregado grueso (piedra chancada de ¾"): Se obtuvo una muestra representativa de la ferretería "PAUL", ubicada en el Jr. José Olaya, Pampas - Tayacaja. Este material se utiliza comúnmente en la producción de concreto estructural en la provincia.

##### 4.1.1.1. Granulometría del agregado grueso

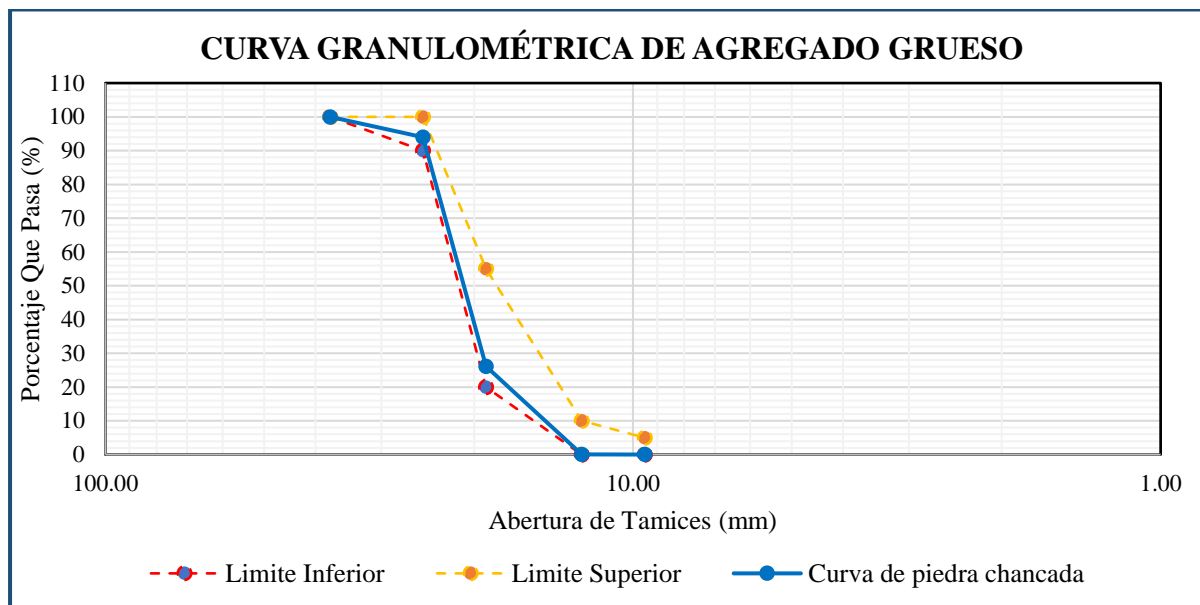
Se realizó un análisis granulométrico por tamizado, siguiendo el método descrito en la NTP 400.012, para establecer cómo se distribuyen los tamaños del agregado grueso empleado.

La muestra evaluada corresponde a piedra chancada de ¾", proveniente de la ferretería "PAUL", en Pampas – Tayacaja.

El análisis permitió obtener los porcentajes que pasan por cada tamiz estándar, construyéndose la curva granulométrica correspondiente.

**Figura 13**

*Representación gráfica de la granulometría del árido grueso*



Fuente: Propia

La curva granulométrica del agregado grueso se sitúa entre los límites inferior y superior impuestos por la NTP 400.037, para agregados con tamaño máximo nominal (TMN) de 1" (25 mm). Esto confirma que el material evaluado cumple con los requisitos normativos para su uso en mezclas de concreto. Además, la curva muestra una distribución continua y uniforme, sin saltos abruptos, lo que indica una buena gradación. Esta característica es fundamental para conseguir una mezcla de concreto con buena trabajabilidad, menor vacíos y adecuada compactación.

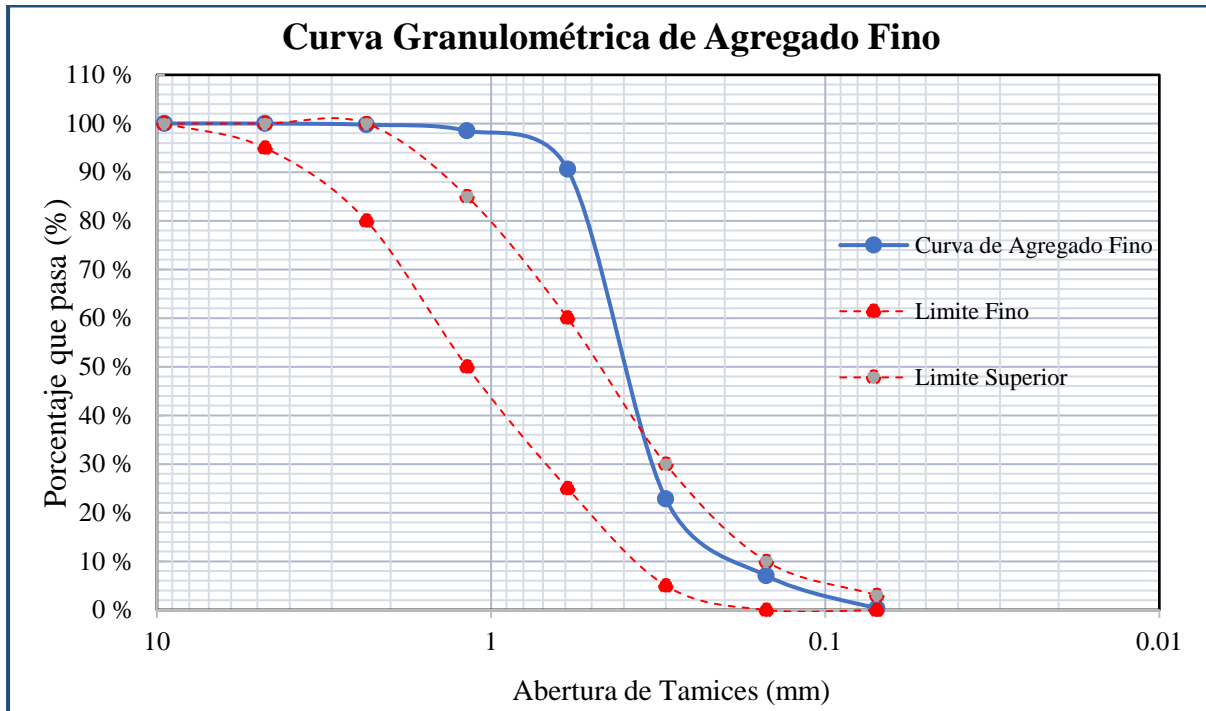
#### **4.1.1.2. Granulometría del agregado fino**

El análisis granulométrico del agregado fino se realizó siguiendo el procedimiento establecido en la NTP 400.012. Este procedimiento tiene como finalidad establecer la distribución de tamaños de las partículas utilizando una serie de tamices normalizados.

Se evaluaron dos muestras distintas (Muestra 1 y Muestra 2), para determinar su conformidad con la NTP 400.037, ambos provienen del anexo de Mantacra, ubicado en el distrito de Pampas, región Huancavelica, pero recolectadas de distintas fuentes.

**Figura 14**

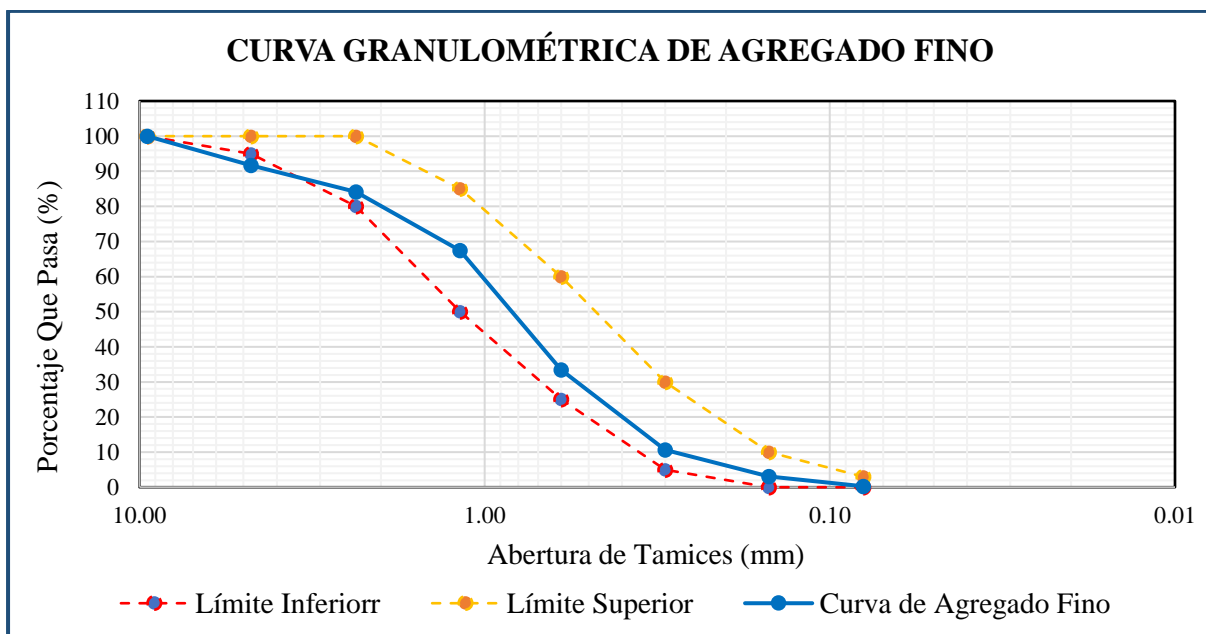
*Curva granulométrica del árido fino proveniente de cantera – Muestra 1 (No conforme)*



*Nota:* Se observa que la curva no cumple con los límites superior e inferior establecidos por la NTP 400.037.

**Figura 15**

*Curva granulométrica del árido fino proveniente del Rio Porvenir-Muestra 2 (Conforme)*



Fuente: Propia.

La curva granulométrica del agregado fino proveniente del río Porvenir está representada en la Figura 15. La curva azul representa la distribución real del tamaño de partículas de esta muestra. Se observa que esta curva se encuentra completamente dentro de los límites inferior y superior establecidos por la NTP 400.037, lo cual indica que esta arena cumple con la gradación requerida para su uso como agregado fino en concreto. Asimismo, se determinó un módulo de fineza de 3.1, valor que se encuentra en el límite superior del rango recomendado (2.3 - 3.1). Esta condición indica una arena gruesa, la cual resulta beneficiosa para mejorar la trabajabilidad del concreto, reducir el contenido de agua y facilitar un buen acabado superficial.

En base a estos resultados, se seleccionó como agregado fino para el diseño de mezcla la arena del río Porvenir, debido a su granulometría conforme a norma y módulo de fineza óptimo para la elaboración de concreto.

#### 4.1.1.3. Características físicas de los agregados

**Tabla 8**

*Caracterización de los áridos*

Característica	Agregado grueso	Agregado fino
	<i>Piedra chancada (3/4")</i>	<i>Arena Gruesa</i>
Módulo de fineza	-	3.1
Tamaño máximo nominal (plg)	1"	-
Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1461.65	1738.92
Peso Unitario Compactado (kg/m <sup>3</sup> )	1536.99	1814.85
Contenido de humedad (%)	0.44	4.33
Absorción (%)	0.886	1.596
Peso específico (gr/cm <sup>3</sup> )	2.268	2.658

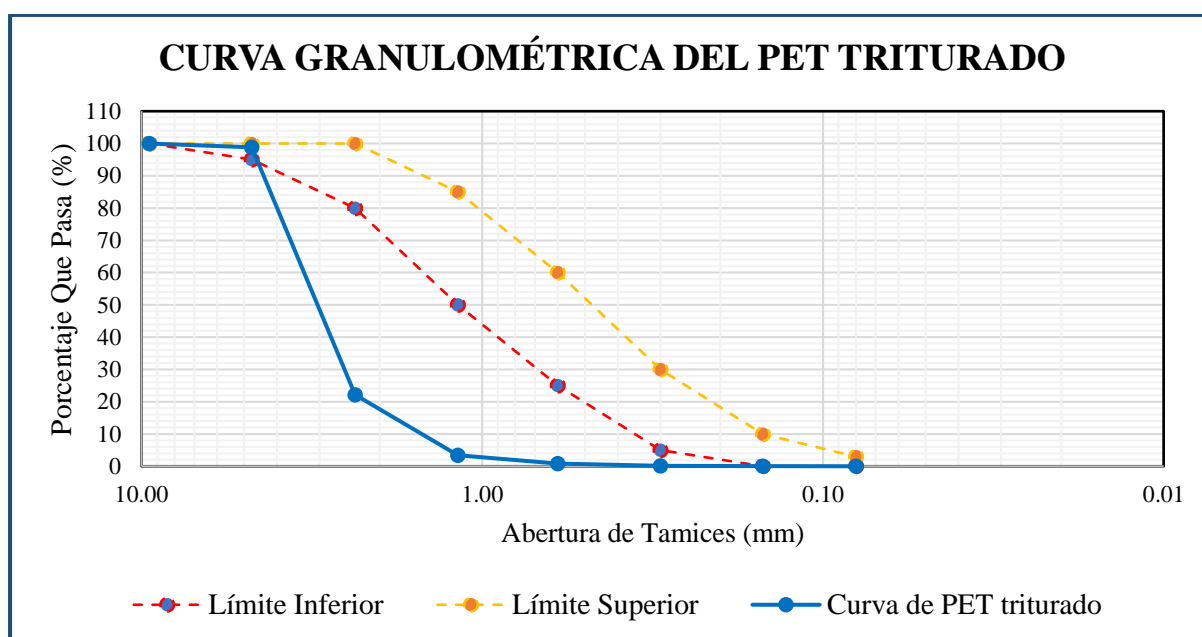
*Nota:* Se puede apreciar los resultados obtenidos de la caracterización de los áridos en el laboratorio de la UNAT.

#### 4.1.1.4. PET reciclado, características físicas

El material de PET reciclado se obtuvo a partir del reprocesamiento de botellas plásticas, las cuales fueron sometidos a un proceso de trituración que garantizó que la totalidad de las partículas presentaran un tamaño inferior a 9.53 mm (tamiz N° 3/8”). La distribución granulométrica del material puede observarse en la Figura 16, mientras que en la Tabla 9 se detallan sus propiedades físicas, resaltando su baja densidad aparente y peso específico en comparación con el agregado fino convencional.

**Figura 16**

*Curva granulométrica del PET*



Fuente: Propia

El perfil granulométrico del PET triturado se observa en la Figura 16. Dicho análisis revela que la distribución de las partículas está fuera de los rangos normativos definidos para la arena que se usa en las mezclas de concreto. Se observa también que alrededor del 96.55% del material queda retenido entre los tamices No. 4, No. 8 y No.16, que corrobora una distribución de tamaño de partículas más gruesa en comparación con la arena convencional.

**Tabla 9***Caracterización del PET*

<b>Características Físicas</b>	<b>PET reciclado triturado</b>
Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	344.11
Peso Unitario Compactado (kg/m <sup>3</sup> )	412.69
Peso específico (gr/cm <sup>3</sup> )	1.389
Módulo de fineza	4.7

*Nota:* Se puede apreciar los resultados obtenidos de los ensayos realizados al PET en el laboratorio de la UNAT. Fuente: Propia

Las propiedades físicas principales del PET, como la densidad aparente y la gravedad específica, que se utilizaron en el diseño de mezclas, se muestran en la Tabla 9. Se destaca su baja densidad en comparación directa con el agregado fino empleado en la mezcla. Asimismo, el PET registro un módulo de fineza de 4.7, un valor relativamente alto que se atribuye a que la mayor proporción de partículas quedó retenida en tamices de aberturas mayores.

#### **4.1.2. Dosificación de concreto convencional y experimental con inclusión parcial de PET**

Para la preparación de las dosificaciones se empleó cemento Portland Tipo I de la marca comercial Andino Premiun, cuya densidad es de 3.15 gr/cm<sup>3</sup>. A partir de este valor, junto con los datos obtenidos de la caracterización de los agregados y del PET triturado, se desarrollaron las proporciones de mezcla conforme a los lineamientos establecidos en la norma internacional ACI 211.1, correspondiente al diseño D210 ( $f'c:210$  kg/cm<sup>2</sup>).

**Tabla 10***Dosificación para un 1 m<sup>3</sup> de concreto sin y con inclusión parcial del PET al árido fino*

<b>Material</b>	<b>Diseño de mezcla</b>			
	<b>D210-PET0</b>	<b>D210-PET3.5</b>	<b>D210-PET4.5</b>	<b>D210-PET5.5</b>
<b>Cemento (kg)</b>	345.6	345.6	345.6	345.6
<b>Agregado fino (kg)</b>	689.3	665.1	658.3	651.4
<b>Agregado grueso (kg)</b>	988.0	988.0	988.0	988.0
<b>PET (kg)</b>	-	12.1	15.5	19.0
<b>Agua (Lts)</b>	193.5	193.5	193.5	193.5
<b>R a/c</b>			0.56	

*Nota:* Los datos muestran la dosificación de materiales para producir un 1m<sup>3</sup> de concreto, donde el árido fino ha sido parcialmente sustituido por PET triturado en tres porcentajes volumétricos.

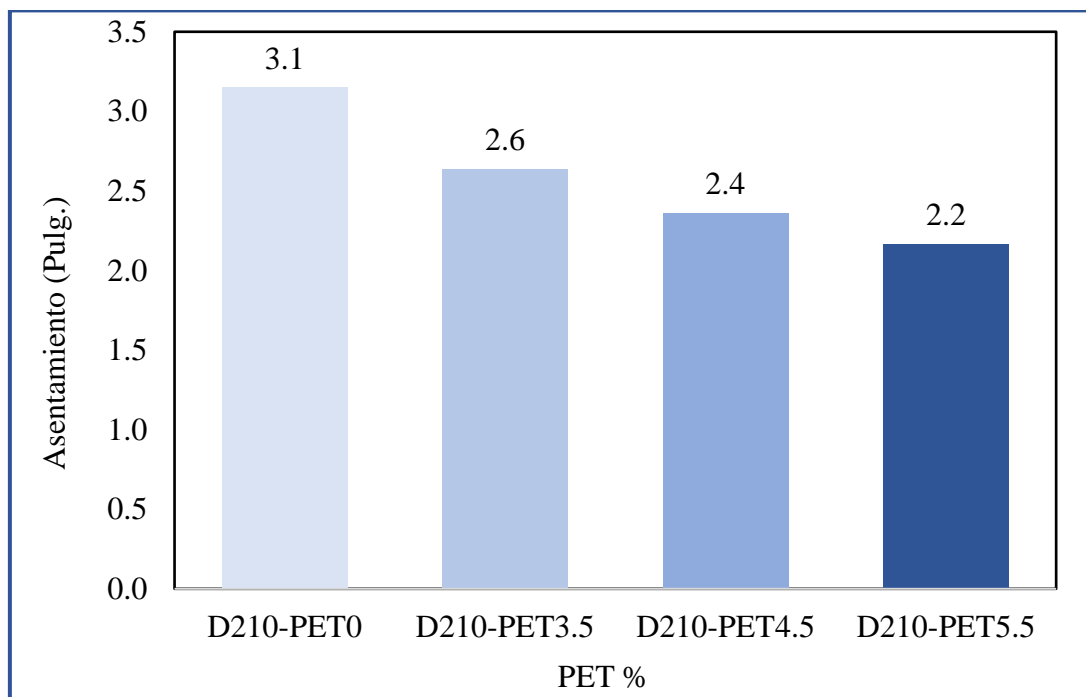
La Tabla 10 expone las dosificaciones diseñadas con una resistencia característica ( $f'c$ ) de 210 kg/cm<sup>2</sup>, en ella se detallan las cantidades de los materiales empleados para obtener un 1 m<sup>3</sup> de concreto. Las dosificaciones de cemento, agregado grueso y agua se mantuvieron constante, estableciendo una relación agua/cemento de 0.56 para todos los diseños D210. Por su parte, la proporción de agregado fino se redujo progresivamente a medida que aumento el porcentaje de incorporación de PET reciclado en las mezclas. Las mezclas se elaboraron de acuerdo a la técnica propuesta por ACI 211.1, efectuando el reemplazo del agregado fino por PET triturado, en porcentajes del 3.5%, 4.5% y 5.5%, calculados sobre una base volumétrica.

#### 4.1.3. *Propiedades físicas del concreto*

##### 4.1.3.1. **Asentamiento (Slump)**

**Figura 17**

*Resultado del ensayo de asentamiento de las mezclas de concreto del diseño D210 con incorporación de PET reciclado*



Fuente: Propia

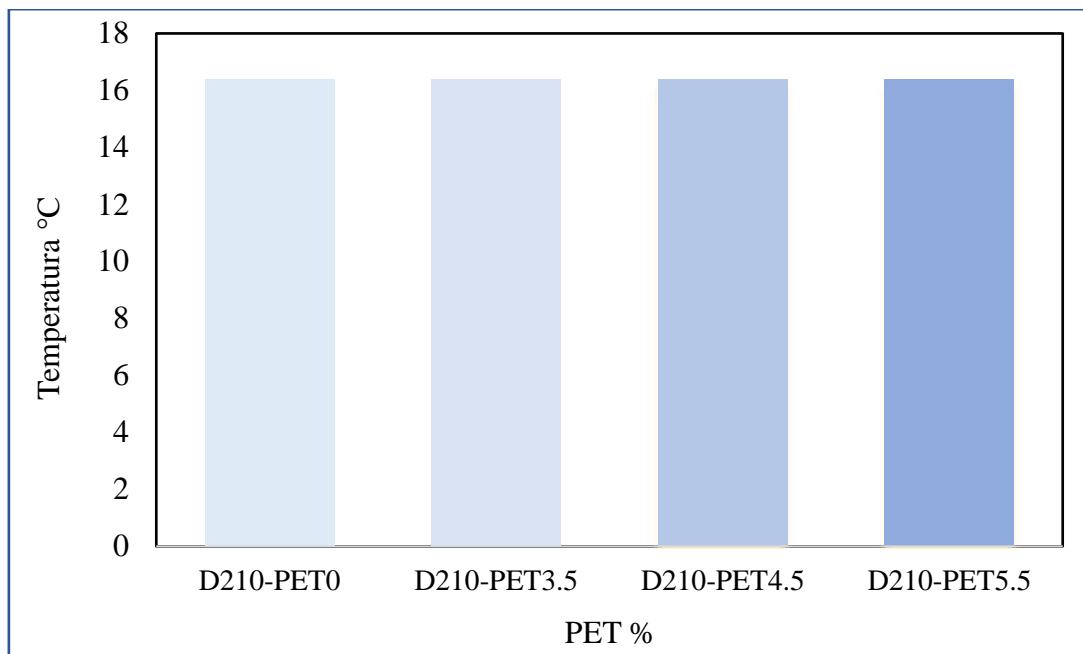
En la Figura 17 se presenta variación del asentamiento en las mezclas de concreto con diferentes porcentajes de reemplazo parcial del agregado fino por PET reciclado triturado (0%,

3.5%, 4.5% y 5.5%). Todas las mezclas fueron diseñadas para una resistencia a la compresión de 210 kg/cm<sup>2</sup> (21 MPa). Se observa una disminución progresiva y significativa del asentamiento a medida que se incrementa el porcentaje de PET. La mezcla patrón D210-PET0, presento el mayor asentamiento con 3.1 pulgadas, lo que indica una mayor trabajabilidad del concreto fresco, mientras que las mezclas con 3.5%, 4.5% y 5.5% de PET mostraron valores de 2.6, 2.4 y 2.2 pulgadas, respectivamente. Esto representa reducciones relativas del 16.3%, 25% y 31.3% respecto al concreto sin PET.

#### 4.1.3.2. Temperatura

**Figura 18**

*Temperatura de las mezclas de concreto del diseño D210 sin y con inclusión de PET*



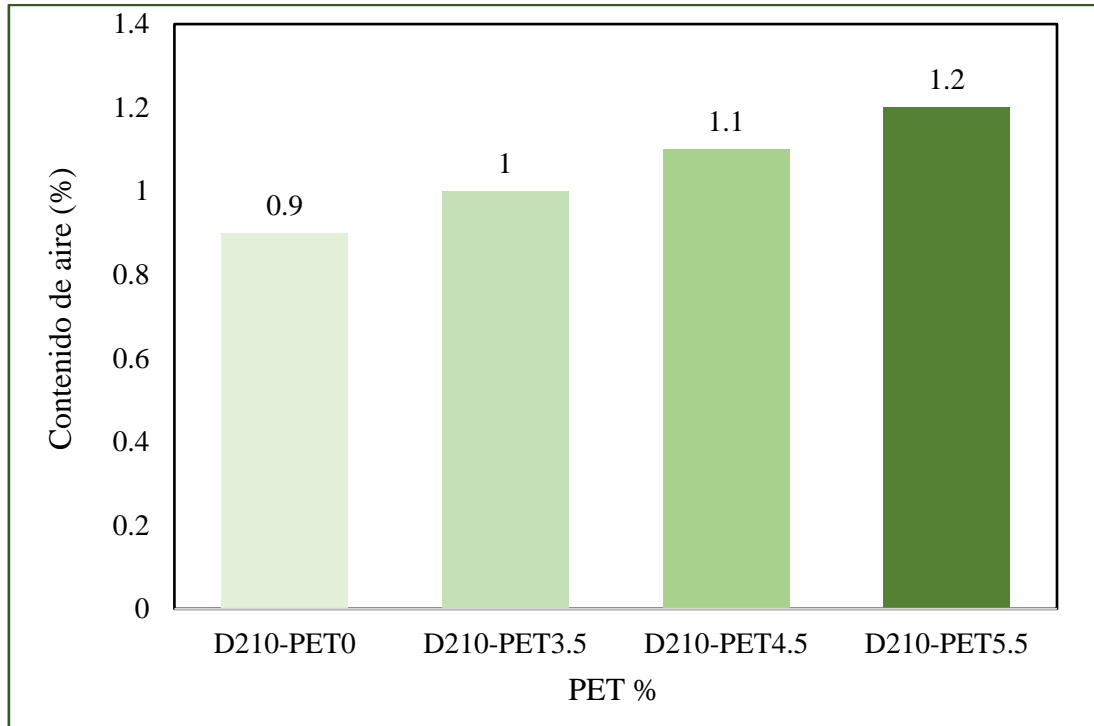
Fuente: Propia

En la Figura 18 se ilustra los valores registrados de temperatura del concreto fresco inmediatamente después del mezclado para cada una de las dosificaciones evaluadas con diferentes porcentajes de PET reciclado triturado (0%, 3.5%, 4.5% y 5.5%), bajo una resistencia de diseño de 210 kg/cm<sup>2</sup>. Se observa que los valores de temperatura se mantuvieron constantes en 16.4°C en todas las mezclas.

#### 4.1.3.3. Contenido de aire

**Figura 19**

*Contenido de aire de las mezclas de concreto del diseño D210 sin y con inclusión de PET*



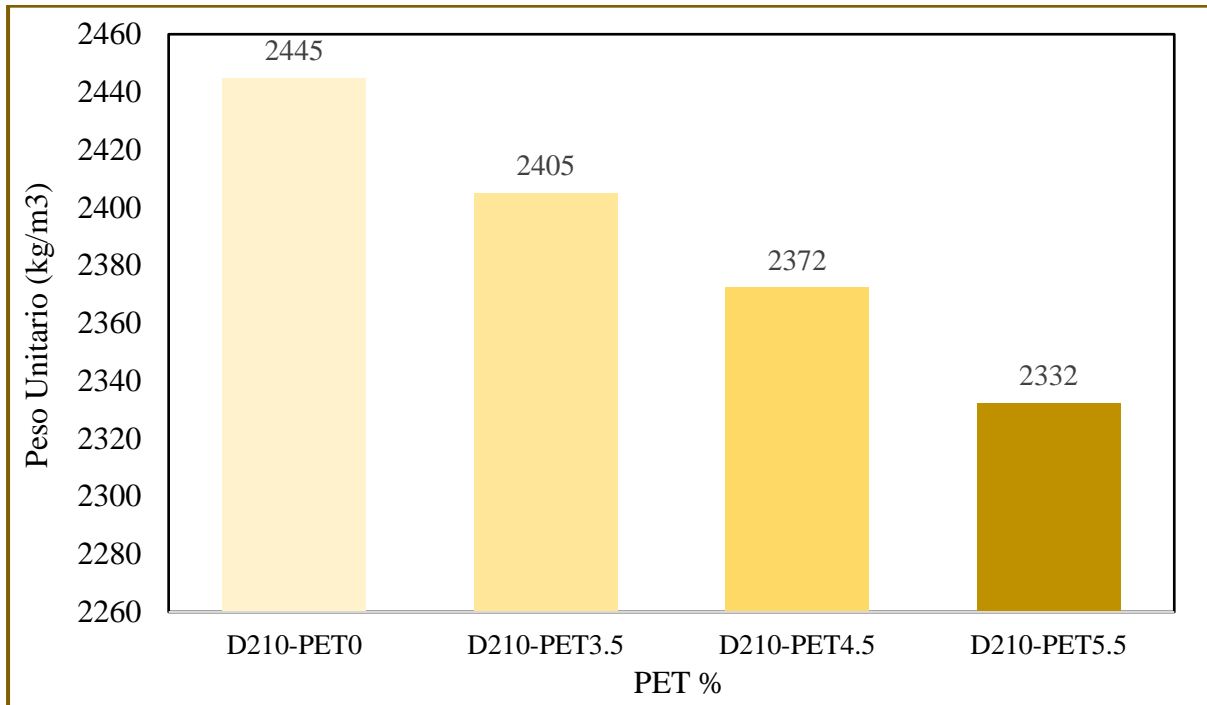
Fuente: Propia

La Figura 19 muestra el comportamiento del contenido de aire (%) en las mezclas de concreto al incorporar PET reciclado triturado en 0%, 3.5%, 4.5% y 5.5%, como sustituto parcial del agregado fino. Los resultados indican que el contenido de aire aumenta gradualmente a medida que se incrementa la proporción de PET reciclado. La mezcla sin PET presento un contenido de aire de 0.9%, mientras que las mezclas con 3.5, 4.5 y 5.5% de PET registraron contenido de 1.0%, 1.1.% y 1.2% respectivamente.

#### 4.1.3.4. Peso unitario fresco

**Figura 20**

*Peso unitario de las mezclas de concreto del diseño D210 sin y con inclusión de PET*



*Nota:* Se muestra en la representación gráfica la variación de resultados de los pesos unitarios del concreto según se incorpore el porcentaje de PET.

La Figura 20 ilustra el peso unitario del concreto en función de la incorporación de diferentes porcentajes de PET reciclado (0%, 3.5%, 4.5% y 5.5%). Al aumentar el porcentaje de PET reciclado, se nota una tendencia a la disminución del peso unitario. El peso unitario de la mezcla sin PET era de 2445 kg/m<sup>3</sup>, en cambio, las mezclas con un 3.4%, un 4.5% y un 5.5% de PET alcanzaron valores de 2405 kg/m<sup>3</sup>, 2371 kg/m<sup>3</sup> y 2332 kg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Esto representa reducciones relativas del 1.6%, 3% y 4.6% respecto al concreto sin PET.

#### 4.1.4. Propiedades mecánicas del concreto

##### 4.1.4.1. Resistencia a la compresión

**Tabla 11**

*Resultados detallados de la resistencia a la compresión de la mezcla D210*

Diseño de mezcla	% PET triturado	Edad	Carga	Diámetro	Area	f'c	Promedio f'c	Desviación estándar
Kg/cm2		(Días)	(Kgf)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(Kg/cm2)	(Kg/cm2)	(σ)
f <sub>c</sub> =210	0	7	45245.6	15.2	181.2	249.7	249.3	0.46
		7	44883.5	15.2	180.4	248.8		
		7	45340.9	15.2	181.8	249.4		
		14	62953.8	15.2	182.0	345.9	345.0	2.71
		14	61286.4	15.1	179.2	342.0		
		14	62426.6	15.1	179.8	347.2		
		28	66417.7	15.2	181.4	366.2	364.2	1.79
		28	65735.7	15.2	181.2	362.7		
		28	65556.8	15.2	180.2	363.8		

*Nota:* Los datos muestran los valores obtenidos en los ensayos de compresión axial realizados a los testigos de concreto del diseño D210.

**Tabla 12**

*Resultados detallados de la resistencia a la compresión de la mezcla D210-PET3.5%*

Diseño de mezcla	% PET triturado	Edad	Carga	Diámetro	Área	f'c	Promedio f'c	Desviación estándar
Kg/cm2		(Días)	(Kgf)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(Kg/cm2)	(Kg/cm2)	(σ)
f <sub>c</sub> =210	3.5%	7	47877.1	15.2	180.6	265.10	264.3	0.80
		7	47298.3	15.1	179.5	263.5		
		7	47688.1	15.2	180.5	264.2		
		14	59125.6	15.2	181.2	326.3	328.7	2.15
		14	59390.9	15.1	179.7	330.5		
		14	59453.5	15.2	180.6	329.2		
		28	64239.6	15.3	183.3	350.5	353.2	2.40
		28	65644.9	15.4	185.5	353.9		
		28	64488.1	15.2	181.6	355.1		

*Nota:* Los datos muestran los valores obtenidos en los ensayos de compresión axial realizados a los testigos de concreto con inclusión de 3.5% PET al diseño D210.

**Tabla 13***Resultados detallados de la resistencia a la compresión de la mezcla D210-PET4.5%*

Diseño de mezcla	% PET triturado	Edad	Carga	Diámetro	Área	f'c	Promedio f'c	Desviación estándar
Kg/cm <sup>2</sup>		(Días)	(Kgf)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(σ)
f <sub>c</sub> =210	4.5%	7	48925.8	15.2	181.2	270.0	269.6	0.60
		7	48690.0	15.2	180.4	269.9		
		7	48889.7	15.2	181.8	268.9		
		14	59186.4	15.2	182.0	325.2	325.0	0.20
		14	58240.0	15.1	179.2	325.0		
		14	58399.0	15.1	179.8	324.8		
		28	62717.7	15.2	181.4	345.8	347.7	1.73
		28	63089.6	15.2	181.2	348.1		
		28	62925.8	15.2	180.2	349.2		

*Nota:* Los datos muestran los valores obtenidos en los ensayos de compresión axial realizados a los testigos de concreto con inclusión de 4.5% PET al diseño D210.

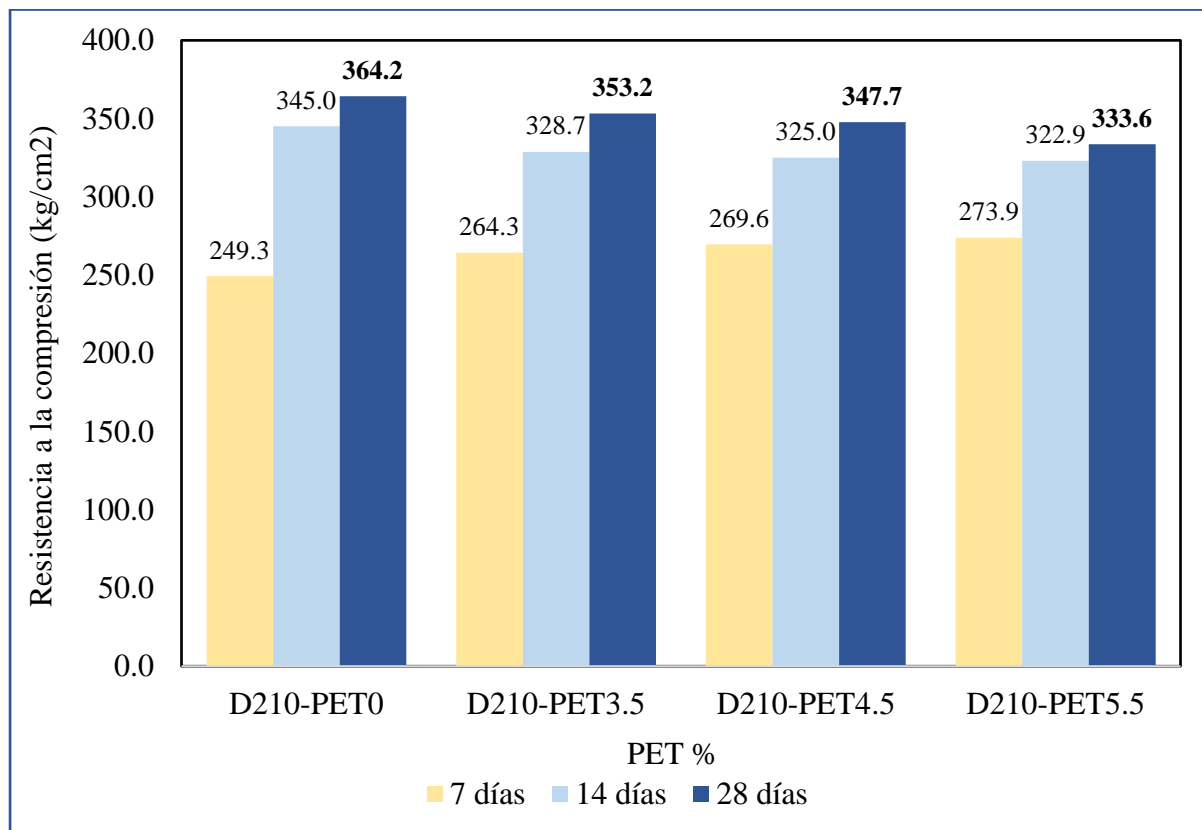
**Tabla 14***Resultados detallados de la resistencia a la compresión de la mezcla D210-PET5.5%*

Diseño de mezcla	% PET triturado	Edad	Carga	Diámetro	Área	f'c	Promedio f'c	Desviación estándar
Kg/cm <sup>2</sup>		(Días)	(Kgf)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(σ)
f <sub>c</sub> =210	5.5%	7	50323.0	15.2	182.0	276.5	273.9	2.43
		7	49266.7	15.2	180.2	273.4		
		7	48960.3	15.2	180.2	271.7		
		14	58582.0	15.2	181.2	323.3	322.9	0.87
		14	57845.4	15.1	179.7	321.9		
		14	58424.1	15.2	180.6	323.5		
		28	60726.5	15.2	180.7	336.1	333.6	2.24
		28	59473.2	15.1	179.2	331.9		
		28	60150.1	15.2	180.8	332.7		

*Nota:* Los datos muestran los valores obtenidos en los ensayos de compresión axial realizados a los testigos de concreto con inclusión de 5.5% PET al diseño D210.

**Figura 21**

*Evolución de la resistencia a la compresión de los testigos sin y con inclusión de PET*



Fuente: Propia

La Figura 21 muestra cómo cambia la resistencia a la compresión del concreto con distintos porcentajes de PET reciclado (0%, 3.5%, 4.5% y 5.5%) en el reemplazo parcial de agregado fino, analizado a los siete, catorce y veintiocho días de curación. En general, para todas las mezclas se nota un incremento progresivo de la resistencia con el tiempo de curado. A los siete días, el concreto de referencia D210-PET0 mostró una resistencia de 249.3 kg/cm<sup>2</sup>; a las dos semanas, su resistencia fue de 345.0 kg/cm<sup>2</sup> y llegó a su máximo valor, 364.2 kg/cm<sup>2</sup>, al mes. Se aprecia una tendencia general de disminución de la resistencia a la compresión en comparación con el concreto de referencia, cuando se sustituye parte del agregado fino por PET en la mezcla. A la edad de 28 días los diseños incorporados en el 3.5, 4.5 y 5.5% de PET presentaron disminuciones de 3.0, 4.5 y 8.4% respectivamente con respecto al diseño patrón.

#### 4.1.4.2. Resistencia a la tracción diametral

**Tabla 15**

*Resultados detallados de la tracción diametral de la mezcla D210*

Diseño de Mezcla	% PET triturado	Edad	Carga máxima de rotura P	Diámetro promedio de la probeta d	Longitud promedio de la probeta l	Resistencia a la tracción indirecta T	Promedio de resistencia a la tracción indirecta T	Desviación estándar
Kg/cm <sup>2</sup>		(Días)	(N)	(mm)	(mm)	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(σ)
f <sub>c</sub> =210	0	7	156220	152.4	304.8	21.83	22.04	0.20
		7	158550	151.4	305.8	22.23		
		7	157810	152.4	304.8	22.05		
		14	224210	151.4	305.8	31.44	31.57	0.17
		14	225450	152.4	304.8	31.51		
		14	226530	151.4	305.8	31.76		
		28	248990	152.4	304.8	34.80	34.58	0.23
		28	246890	151.4	305.8	34.62		
		28	245680	152.4	304.8	34.33		

*Nota:* La tabla detalla los valores individuales obtenidos en los ensayos de tracción indirecta realizadas a los testigos de concreto del diseño D210.

**Tabla 16**

*Resultados detallados de la tracción diametral en la mezcla D210-PET3.5%*

Diseño de Mezcla	% PET triturado	Edad	Carga máxima de rotura P	Diámetro promedio de la probeta d	Longitud promedio de la probeta l	Resistencia a la tracción indirecta T	Promedio de resistencia a la tracción indirecta T	Desviación estándar
Kg/cm <sup>2</sup>		(Días)	(N)	(mm)	(mm)	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )	(σ)
f <sub>c</sub> =210	3.5%	7	139150	152.4	304.8	19.45	19.42	0.12
		7	139270	151.4	305.8	19.53		
		7	137980	152.4	304.8	19.28		
		14	221150	152.4	304.8	30.91	30.96	0.07
		14	222100	152.4	305.8	30.94		
		14	222060	152.4	304.8	31.03		
		28	242050	152.4	304.8	33.83	34.17	0.30
		28	244760	151.4	305.8	34.32		
		28	245870	152.4	304.8	34.36		

*Nota:* La tabla detalla los valores individuales obtenidos en los ensayos de tracción indirecta realizadas a los testigos de concreto con inclusión de 3.5% PET al diseño D210.

**Tabla 17**

*Resultados detallados de la tracción diametral en la mezcla D210-PET4.5%*

Diseño de Mezcla	% PET triturado	Edad	Carga máxima de rotura P	Diámetro promedio de la probeta d	Longitud promedio de la probeta l	Resistencia a la tracción indirecta T	Promedio de resistencia a la tracción indirecta T	Desviación estándar
kg/cm2		(Días)	(N)	(mm)	(mm)	(Kg/cm2)	(Kg/cm2)	( $\sigma$ )
f <sub>c</sub> =210	4.5%	7	137990	152.4	304.8	19.28	19.26	0.11
		7	138010	151.4	305.8	19.35		
		7	136970	152.4	304.8	19.14		
		14	221100	152.4	304.8	30.90	30.93	0.06
		14	221080	151.4	305.8	31.00		
		14	220990	152.4	304.8	30.88		
		28	239580	152.4	304.8	33.48	33.60	0.10
		28	240000	151.4	305.8	33.65		
		28	240920	152.4	304.8	33.67		

*Nota:* La tabla detalla los valores individuales obtenidos en los ensayos de tracción indirecta realizadas a los testigos de concreto con inclusión de 4.5% PET al diseño D210.

**Tabla 18**

*Resultados detallados de la tracción diametral en la mezcla D210-PET5.5%*

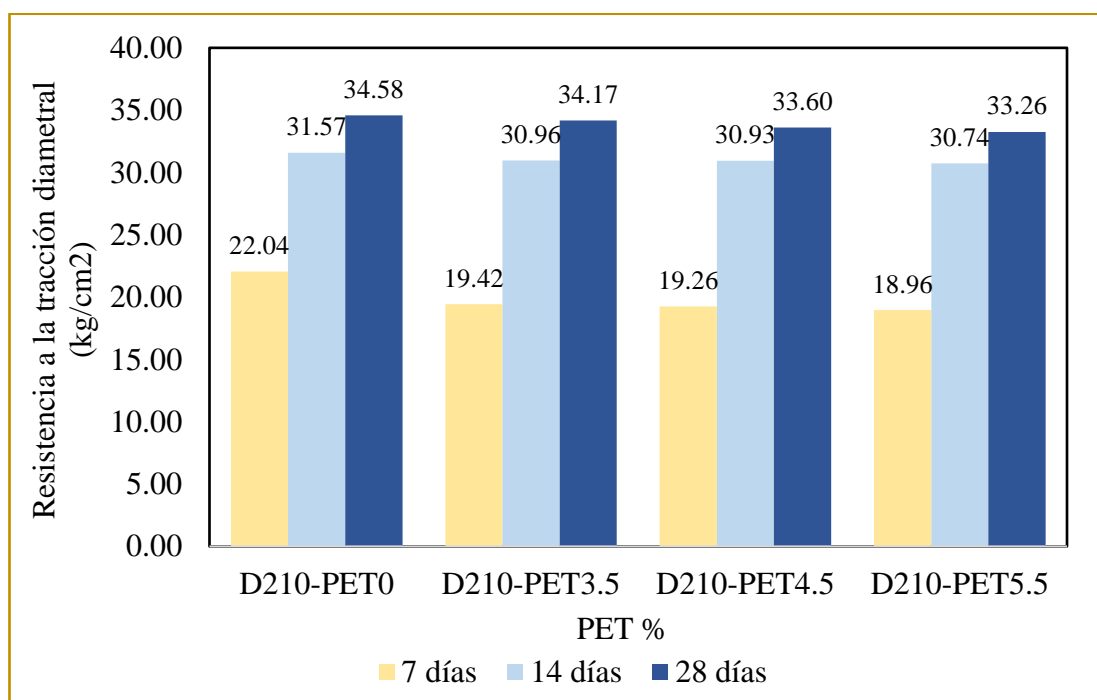
Diseño de Mezcla	% PET triturado	Edad	Carga máxima de rotura P	Diámetro promedio de la probeta d	Longitud promedio de la probeta l	Resistencia a la tracción indirecta T	Promedio de resistencia a la tracción indirecta T	Desviación estándar
kg/cm2		(Días)	(N)	(mm)	(mm)	(Kg/cm2)	(Kg/cm2)	( $\sigma$ )
f <sub>c</sub> =210	5.5%	7	134300	152.4	304.8	18.8	18.96	0.19
		7	136630	151.4	305.8	19.2		
		7	135550	152.4	304.8	18.9		
		14	219560	151.4	304.8	30.9	30.74	0.19
		14	219090	152.4	305.8	30.5		
		14	218950	151.4	304.8	30.8		

28	235750	152.4	304.8	32.9		
28	237970	151.4	305.8	33.4	33.26	0.27
28	239360	152.4	304.8	33.5		

*Nota:* La tabla detalla los valores individuales obtenidos en los ensayos de tracción indirecta realizadas a los testigos de concreto con inclusión de 5.5% PET al diseño D210.

**Figura 22**

*Evolución de la resistencia a la tracción diametral de los testigos sin y con inclusión de PET*



Fuente: Propia

Los resultados de la resistencia a la tracción diametral del concreto con distintos porcentajes de PET reciclado (0%, 3.5%, 4.5% y 5.5%) se muestran en la Figura 22; estos fueron evaluados a los 7, 14 y 28 días de curado. En general, todas las mezclas mostraron un incremento progresivo de resistencia con el tiempo. El concreto de referencia D210-PET0, sin reemplazo de agregado fino por PET, exhibió las resistencias a la tracción diametral más altas, con valores de 22.04 kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días, 31.57 kg/cm<sup>2</sup> a los 14 días y 34.58 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días. Con el reemplazo parcial del agregado fino por PET, se observa una tendencia general a la disminución de la resistencia a la tracción diametral en comparación con la mezcla de referencia. A la edad de 28 días los diseños incorporados en 3.5, 4.5 y 5.5% de PET presentaron disminuciones de 1.2, 2.8 y 3.8% respectivamente en relación al diseño patrón.

#### 4.1.4.3. Resistencia a la flexión

**Tabla 19**

*Módulo de rotura (flexión) para la mezcla de concreto control ( $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ )*

Diseño de Mezcla	% PET triturado	Edad	Carga máxima de rotura P	Luz libre entre apoyos	Ancho b	Altura h	Ubic. de la falla	Módulo de rotura $M_r$	Promedio $M_r$	Desviación estándar
(kg/cm <sup>2</sup> )		(Días)	(N)	(mm)	(mm)	(mm)		(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )	( $\sigma$ )
f <sub>c</sub> =210	0%	7	28650	480	150	150	Tercio medio de la luz	41.55	55.08	3.41
		7	29950	480	150	150		43.43		
		7	30450	480	150	150		44.16		
		14	38880	480	150	150		56.39		
		14	35310	480	150	150		51.21		
		14	39750	480	150	150		57.65		
		28	44090	480	150	150		63.94		
		28	39270	480	150	150		56.95		
28	40370	480	150	150	58.55					

*Nota:* Esta tabla contiene los datos obtenidos al ensayar la resistencia a la flexión (módulo de rotura) de las vigas de concreto.

**Tabla 20**

*Módulo de rotura (flexión) para el concreto  $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$  con 3.5 % de inclusión de PET*

Diseño de Mezcla	% PET triturado	Edad	Carga máxima de rotura P	Luz libre entre apoyos	Ancho b	Altura h	Ubic. de la falla	Módulo de rotura $M_r$	Promedio $M_r$	Desviación estándar		
(kg/cm <sup>2</sup> )		(Días)	(N)	(mm)	(mm)	(mm)		(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )	( $\sigma$ )		
f <sub>c</sub> =210	3.5%	7	33870	480	150	150	Tercio medio de la luz	49.12	46.53	1.05		
		7	34090	480	150	150		49.44			48.45	1.44
		7	32270	480	150	150		46.80				
		14	32530	480	150	150		47.18				
		14	32470	480	150	150		47.09				
		14	31250	480	150	150		45.32				
		28	37570	480	150	150		54.49				
		28	38030	480	150	150		55.15			54.91	0.37
28	37980	480	150	150	55.08							

*Nota:* Se presentan los datos obtenidos en las pruebas de flexión de las vigas de concreto que contienen 3.5% de PET triturado, cuyo diseño base corresponde a una resistencia de D210.

**Tabla 21**

*Módulo de rotura (flexión) para el concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  con 4.5 % de inclusión de PET*

Diseño de Mezcla	% PET triturado	Edad	Carga máxima de rotura P	Luz libre entre apoyos	Ancho b	Altura h	Ubic. de la falla	Módulo de rotura $M_r$	Promedio $M_r$	Desviación estándar
(kg/cm <sup>2</sup> )		(Días)	(N)	(mm)	(mm)	(mm)		(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )	( $\sigma$ )
f'c=210	4.5%	7	32300	480	150	150	Tercio medio de la luz	46.84	45.76	0.98
		7	31400	480	150	150		45.54		
		7	30970	480	150	150		44.91		
		14	32050	480	150	150		46.48	46.44	0.04
		14	32030	480	150	150		46.45		
		14	31990	480	150	150		46.39		
		28	35960	480	150	150		52.15	51.81	0.95
		28	34990	480	150	150		50.74		
		28	36230	480	150	150		52.54		

*Nota:* Se presentan los datos obtenidos en las pruebas de flexión de las vigas de concreto que contienen 4.5% de PET triturado, cuyo diseño base corresponde a una resistencia de D210.

**Tabla 22**

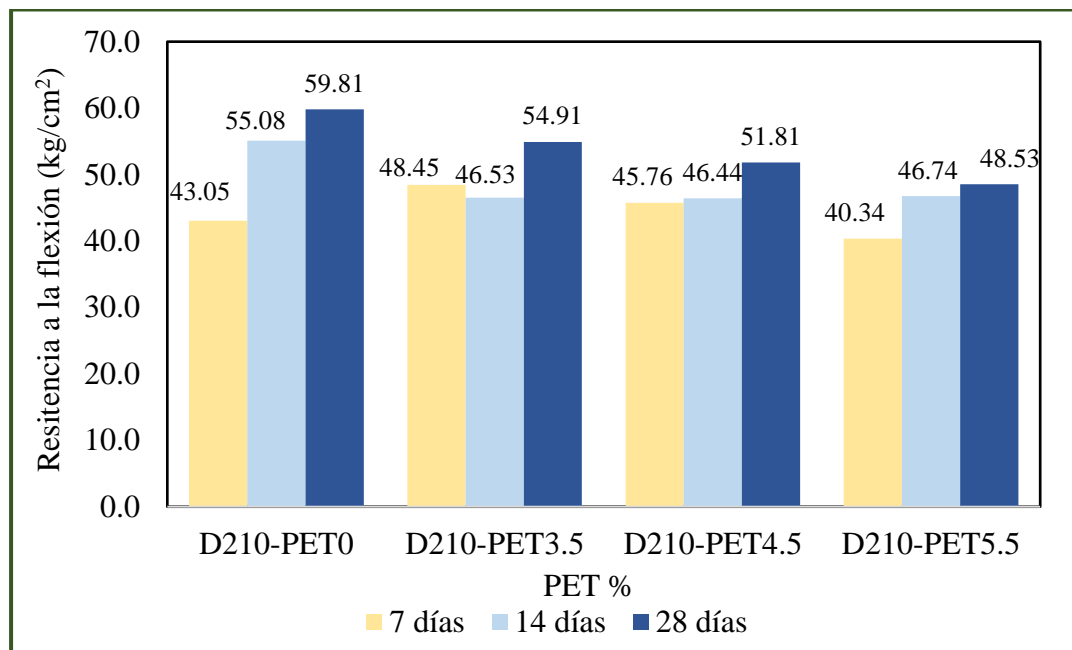
*Módulo de rotura (flexión) para el concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  con 5.5 % de inclusión de PET*

Diseño de Mezcla	% PET triturado	Edad	Carga máxima de rotura P	Luz libre entre apoyos	Ancho b	Altura h	Ubic. de la falla	Módulo de rotura $M_r$	Promedio $M_r$	Desviación estándar
(kg/cm <sup>2</sup> )		(Días)	(N)	(mm)	(mm)	(mm)		(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )	( $\sigma$ )
f'c=210	5.5%	7	28630	480	150	150	Tercio medio de la luz	41.52	40.34	1.83
		7	26360	480	150	150		38.23		
		7	28450	480	150	150		41.26		
		14	31680	480	150	150		45.94	46.74	1.54
		14	33450	480	150	150		48.51		
		14	31550	480	150	150		45.76		
		28	34860	480	150	150		50.56	48.53	2.23
		28	31820	480	150	150		46.15		
		28	33720	480	150	150		48.90		

*Nota:* Se presentan los datos obtenidos en las pruebas de flexión de las vigas de concreto que contienen 5.5% de PET triturado, cuyo diseño base corresponde a una resistencia de D210.

**Figura 23**

*Evolución de la resistencia a la flexión de las vigas sin y con inclusión de PET*



Fuente: Propia

La evolución de la resistencia a la flexión se presenta en la Figura 23, documentando las variaciones en las mezclas que incluyen PET reciclado (0%, 3.5% 4.5% y 5.5%). Las mediciones se realizaron a los 7, 14 y 28 días de curado. Como tendencia general, la resistencia a la flexión se incrementó sistemáticamente a medida que progresó el tiempo de curado en todas las dosificaciones evaluadas. La mezcla control (D210-PET0), que no incluyó sustitución de agregado fino por PET, alcanzó las máximas resistencias a la flexión, registrando 43.05 kg/cm<sup>2</sup> (7 días), 55.08 kg/cm<sup>2</sup> (14 días) y 59.81 kg/cm<sup>2</sup> (28 días). Se nota una tendencia general de la resistencia a la flexión a bajar si se sustituye parcialmente el agregado fino por PET, en contraste con la mezcla de referencia. Los diseños incorporados en 3.5, 4.5 y 5.5% de PET mostraron reducciones del 8.2%, el 13.4% y el 18.8% con respecto al diseño de referencia a la edad de 28 días, respectivamente.

## 4.2. Contrastación de hipótesis

### 4.2.1. Comprobación de hipótesis de $f'c$

**Tabla 23**

*Resultados de la prueba de normalidad para las muestras sometidas a compresión*

		Pruebas de normalidad					
		Kolmogorov - Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro -Wilk		
Resistencia a la compresión (F'c)	PET (%)	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
		0.0	0.330	9	0.005	0.732	9
3.5	0.275	9	0.048	0.794	9	0.018	
4.5	0.287	9	0.031	0.793	9	0.017	
5.5	0.332	9	0.005	0.763	9	0.008	

a: El valor presentado es la corrección de significación de Lilliefors.

*Nota:* Dado que  $n=9=gl < 50$ , entonces se aplica el estadístico Shapiro – Wilk. El análisis fue ejecutado con el software SPSS versión 30.

- Para PET (0%) el Pvalor =  $0.003 < 0.050$
- Para PET (3.5%) el Pvalor =  $0.018 < 0.050$
- Para PET (4.5%) el Pvalor =  $0.017 < 0.050$
- Para PET (5.5%) el Pvalor =  $0.008 < 0.050$

Como el Pvalor en todos los grupos es  $< 0.05$ , entonces las pruebas se clasifican como pruebas no paramétricas es decir tienen una distribución no normal.

#### 1) *Formulación de la hipótesis nula (H0) y alterna (H1).*

*H0:* “La incorporación de distintas concentraciones de PET reciclado no influye significativamente la resistencia a la compresión del concreto”.

*H1:* “La incorporación de distintas concentraciones de PET reciclado influye significativamente la resistencia a la compresión del concreto”.

#### 2) *Nivel de significancia:*

El nivel de significancia ( $\alpha$ ) se ha fijado en 0.05, lo que implica que el estudio opera con certeza estadística del 95% y tolera un error máximo del 5%.

3) *Definición del criterio estadístico:*

No paramétrica: Prueba de Kruskal-Wallis

**Tabla 24**

*Contraste de hipótesis de las probetas ensayadas a compresión*

<b>Resumen de contrastes de hipótesis</b>			
Hipótesis nula	Prueba	Sig. <sup>a,b</sup>	Decisión
La distribución de Resistencia a la compresión (f <sub>c</sub> ) es la misma entre categorías de PET (%).	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	0.760	Conserve la hipótesis nula.

a: El nivel de significancia ( $\alpha$ ) se fijó en 0.05

b: El valor presentado es la significancia asintótica.

*Nota:* El análisis estadístico fue ejecutado mediante el software SPSS versión 30.

Dado que el  $Pvalor = Sig.^{a,b} = 0.760 > 0.05$ ; se procede a aceptar la hipótesis nula ( $H_0$ ) y rechazar la hipótesis alterna ( $H_1$ ). Con un nivel de confianza de 95%, se concluye que: La incorporación de distintas concentraciones de PET reciclado no influye significativamente la resistencia a la compresión del concreto.

**4.2.2. Comprobación de hipótesis de T**

**Tabla 25**

*Resultados de la prueba de normalidad para las muestras sometidas a tracción*

<b>Pruebas de normalidad</b>							
	PET (%)	Kolmogorov - Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro -Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Resistencia a tracción (T)	0.0	0.307	9	0.014	0.776	9	0.011
	3.5	0.324	9	0.007	0.758	9	0.007
	4.5	0.339	9	0.004	0.736	9	0.004
	5.5	0.333	9	0.005	0.742	9	0.004

a: El valor presentado es la corrección de significación de Lilliefors.

*Nota:* Dado que  $n=9=gl < 50$ , entonces se aplica el estadístico Shapiro – Wilk. El análisis fue ejecutado con el software SPSS versión 30.

- Para PET (0%) el Pvalor = 0.011 < 0.050
- Para PET (3.5%) el Pvalor = 0.007 < 0.050
- Para PET (4.5%) el Pvalor = 0.004 < 0.050
- Para PET (5.5%) el Pvalor = 0.004 < 0.050

Como el Pvalor en todos los grupos es < 0.05, entonces las pruebas se clasifican en pruebas no paramétricas es decir que tienen una distribución no normal.

1) *Formulación de la hipótesis nula (H0) y alterna (H1).*

*Ho:* “La incorporación de distintas concentraciones de PET reciclado no influye significativamente la resistencia a la tracción diametral del concreto”.

*H1:* “La incorporación de distintas concentraciones de PET reciclado influye significativamente la resistencia a la tracción diametral del concreto”.

2) *Nivel de significancia:*

El nivel de significancia ( $\alpha$ ) se ha fijado en 0.05, lo que implica que el estudio opera con certeza estadística del 95% y tolera un error máximo del 5%.

3) *Definición del criterio estadístico:*

No paramétrica: Prueba de Kruskal-Wallis

**Tabla 26**

*Contraste de hipótesis de las probetas ensayadas a tracción*

<b>Resumen de contrastes de hipótesis</b>			
Hipótesis nula	Prueba	Sig. <sup>a,b</sup>	Decisión
La distribución de Resistencia a la tracción (T) es la misma entre categorías de PET (%).	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	0.357	Conserve la hipótesis nula.

a: El nivel de significancia ( $\alpha$ ) se fijó en 0.05

b: El valor presentado es la significancia asintótica.

*Nota:* El análisis estadístico fue ejecutado mediante el software SPSS versión 30.

Dado que el *Pvalor* = Sig.<sup>a,b</sup> = 0.357 > 0.05; se concluye que la Ho es aceptada, mientras que la H1 es descartada. Esto significa que, con un grado de confianza del 95%, se determina

que la incorporación de distintas concentraciones de PET reciclado no influye significativamente la resistencia a la tracción del concreto.

### 4.2.3. Comprobación de hipótesis de Mr

**Tabla 27**

*Resultados de la prueba de normalidad para las muestras sometidas a flexión*

		Pruebas de normalidad						
		PET (%)	Kolmogorov - Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro -Wilk		
			Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Resistencia a la Flexión (Mr)	0.0	0.237	9	0.154	.904	9	0.275	
	3.5	0.220	9	0.200*	.844	9	0.064	
	4.5	0.320	9	0.008	.816	9	0.031	
	5.5	0.221	9	0.200*	.938	9	0.557	

\*. El valor presentado es un límite inferior de la significación verdadera.

a. El valor presentado es la corrección de significación de Lilliefors.

*Nota:* Dado que  $n=9=gl < 50$ , entonces se aplica el estadístico Shapiro – Wilk. El análisis fue ejecutado con el software SPSS versión 30.

- Para PET (0%) el Pvalor =  $0.275 > 0.050$
- Para PET (3.5%) el Pvalor =  $0.064 > 0.050$
- Para PET (4.5%) el Pvalor =  $0.031 < 0.050$
- Para PET (5.5%) el Pvalor =  $0.557 > 0.050$

Dado que uno de los grupos (4.5% de PET) no cumplió el supuesto de normalidad y el tamaño muestral es reducido, se optó por emplear la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, que no exige normalidad y proporciona resultados más confiables bajo estas condiciones.

1) *Formulación de la hipótesis nula (H0) y alterna (H1).*

*Ho:* “La incorporación de distintas concentraciones de PET reciclado no influye significativamente la resistencia a la flexión del concreto”.

*H1:* “La incorporación de distintas concentraciones de PET reciclado influye significativamente la resistencia a la flexión del concreto”.

2) *Nivel de significancia:*

El nivel de significancia ( $\alpha$ ) se ha fijado en 0.05, lo que implica que el estudio opera con certeza estadística del 95% y tolera un error máximo del 5%.

3) *Definición del criterio estadístico:*

No paramétrica: Prueba de Kruskal-Wallis

**Tabla 28**

*Contraste de hipótesis de las vigas ensayadas a flexión*

<b>Resumen de contrastes de hipótesis</b>			
Hipótesis nula	Prueba	Sig. <sup>a,b</sup>	Decisión
La distribución de Resistencia a la Flexión ( $M_r$ ) es la misma entre categorías de PET (%).	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	0.075	Conserve la hipótesis nula.

a: El nivel de significancia ( $\alpha$ ) se fijó en 0.05

b: El valor presentado es la significancia asintótica.

*Nota:* El análisis fue ejecutado con el software SPSS versión 30.

Dado que el  $Pvalor = Sig.^{a,b} = 0.075 > 0.05$ ; se procede a aceptar la hipótesis nula ( $H_0$ ) y rechazar la hipótesis alterna ( $H_1$ ). Con un nivel de confianza de 95%, se concluye que: La incorporación de distintas concentraciones de PET reciclado no influye significativamente la resistencia a la flexión del concreto.

### 4.3. Discusión de resultados

De la evaluación de los agregados, mostró que la piedra chancada de ¾" cumple con los parámetros normativos de la NTP 400.037, lo que garantiza una buena compactación y distribución de partículas. Por otro lado, la arena gruesa proveniente a la cantera de la familia Suarez en Mantacra presento una granulometría fuera de norma, con exceso de finos e impurezas orgánicas, lo que podría haber afectado la trabajabilidad y resistencia del concreto. Por ello, acertadamente se optó por la arena del Rio Porvenir-Mantacra, donde esta arena se cumplió con la granulometría establecida por la normativa, cuyo módulo de fineza es 3.1 la cual califica como una arena gruesa. Asimismo, se realizó las características geotécnicas como el contenido de humedad, peso específico, absorción, peso unitario suelto y compactado para elaborar los diseños de mezclas de concreto.

A partir del análisis de las propiedades físicas del PET triturado, se determinó un módulo de finura (MF) de 4.7, mientras que su peso unitario y compactado fueron de 344.11 kg/m<sup>3</sup> y 412.69 kg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Al comparar estos resultados con el estudio de Acevedo y Posada (2020), se observa una similitud en la granulometría del PET, ya que ambos casos la mayor proporción de partículas queda retenida en el tamiz N°8 (2.36 mm), alcanzando aproximadamente el 80% de retención. Asimismo, el módulo de finura del PET resulto superior al del agregado fino natural, lo cual coincide con lo reportado por Dávila (2023).

De las propiedades físicas, de los resultados del ensayo de asentamiento muestran una disminución progresiva de la trabajabilidad del concreto fresco a medida que se incrementa el porcentaje de reemplazo de agregado fino por PET reciclado triturado. La mezcla patrón D210-PET0, presentó el mayor asentamiento con 3.1 pulgadas, mientras que las mezclas con 3.5, 4.5 y 5.5% de PET registraron asentamientos de 2.6, 2.4 y 2.2 pulgadas, respectivamente. Esta tendencia decreciente es debido a que el PET presentó un módulo de fineza de 4.7, muy superior al de la arena natural, lo que confirma que su distribución granulométrica era predominantemente gruesa y carente de finos, asimismo el PET triturado presenta una forma angular e irregular, característica que sumada a su elevada granulometría, incrementan significativamente la fricción interna y el enclavamiento mecánico entre las partículas de la mezcla, reduciendo su fluidez, el PET posee una nula absorción de agua, lo que significa que no contribuye a lubricar la mezcla ni a regular su consistencia interna de la misma manera que lo haría un agregado con cierta capacidad de absorción. Por lo tanto, para una misma relación agua/cemento de 0.56 en todos los diseños, la presencia de partículas de PET más gruesas y de

forma angular dificulta el deslizamiento entre las partículas, resultando en una menor trabajabilidad.

Respecto a los valores de temperatura del concreto fresco se mantuvieron constantes en 16.4°C en todas las mezclas. Este hallazgo es esperado, ya que el PET es un material inerte que no genera calor ni participa en reacciones exotérmicas con el cemento. Además, la constancia de las condiciones ambientales durante los ensayos contribuyó a la estabilidad térmica observada. Esto indica que la incorporación del PET no influye en la temperatura de fraguado del concreto, lo cual es favorable para el control de calidad en obra. Por otra parte, el contenido de aire mostró un incremento progresivo a medida que se aumentó el porcentaje de reemplazo de agregado fino por PET triturado. La mezcla sin PET tuvo un contenido de aire de 0.9%, mientras que la mezcla con 3.5, 4.5 y 5.5% de PET registraron 1.0%, 1.1% y 1.2% respectivamente. Este aumento puede atribuirse a la morfología irregular y angular del PET triturado, así como a su menor densidad en comparación con los agregados naturales.

La morfología irregular de las partículas de PET y su baja densidad pueden facilitar la retención de burbujas de aire durante el mezclado, las cuales quedan atrapadas en la matriz y contribuyen a un mayor contenido de aire. Un incremento en el contenido de aire puede afectar la resistencia del concreto, ya que los vacíos actúan como puntos de concentración de esfuerzos. Resultados similares fueron reportados por Dávila (2023), quien observó una tendencia creciente en el contenido de aire conforme se incrementaba la proporción de PET reciclado en las mezclas. Finalmente, el peso unitario del concreto evidencia una tendencia descendente a medida que se incrementa el porcentaje de sustitución del agregado fino por PET reciclado. La mezcla de control (D210-PET0) registró un valor de 2445 kg/m<sup>3</sup>, mientras que las mezclas con 3.5%, 4.5% y 5.5% de PET alcanzaron 2405 kg/m<sup>3</sup>, 2371 kg/m<sup>3</sup> y 2332 kg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Esta reducción en la densidad del concreto fresco debido a la incorporación de PET también ha sido documentada en otras investigaciones. Por ejemplo, Dávila (2023) reportó una disminución del 1.69% al emplear un 4% de PET, mientras que el presente estudio, con una proporción similar de 4.5%, se observó una reducción del 3%. Esta variación se explica por el reemplazo de un material más denso, como el agregado fino (peso específico de 2.658 g/cm<sup>3</sup>), por otro considerablemente más liviano, el PET triturado (peso específico de 1.389 g/cm<sup>3</sup>). Este hallazgo confirma que el PET reciclado puede ser utilizado eficazmente para producir concreto ligero, lo cual tiene beneficios potenciales en la reducción de cargas estructurales y en la optimización del transporte de materiales.

En cuanto a la resistencia de compresión, las propiedades mecánicas del concreto muestran una tendencia evidente a la disminución al sustituir parcialmente el agregado fino por PET reciclado, en relación con la mezcla de concreto convencional. Resultados semejantes también fueron observados por Dávila (2023), que para los diseños D210 a todas edades de rotura con las incorporaciones del PET triturado en 2, 4, 6 y 8% presento decrecimientos graduales a medida que aumentaba el contenido de PET. La justificación técnica fundamental para este comportamiento, radica en la deficiente adherencia en la zona de transición interfacial (ZTI) entre la matriz cementicia y la superficie lisa e hidrofóbica del PET. Este problema de adhesión se vio agravado por la granulometría del PET utilizada (módulo de fineza = 4.7). Las partículas gruesas crearon una interfaz de contacto más grande y desfavorable en comparación con la arena natural concentrando los esfuerzos y facilitando la iniciación de grietas. Esta mala adherencia hace que la ZTI actúe como una micro-fisura preexistente en la matriz. Bajo cargas de compresión, esta zona no puede transferir el esfuerzo de manera eficiente, lo que conduce a una reducción en la resistencia final. Este efecto es el principal factor limitante que explica porque la mezcla con 5.5% de PET presenta la mayor reducción de resistencia. A diferencia de los resultados obtenidos en la presente investigación, algunos estudios han reportado incrementos en la resistencia a la compresión al incorporar PET triturado en la mezcla. Según Dawood et al. (2020), dichos aumentos se presentan en un rango de 5% a 12.5%, mientras que, en otro estudio, con una sustitución del 10% del agregado fino por PET, se logró un incremento del 9.07% respecto al concreto de control, estas discrepancias pueden atribuirse a diferencias en la rugosidad superficial, la geometría del PET o el uso de aditivos que mejoran la adhesión, condiciones no replicadas en el presente estudio.

Por otra parte, los resultados de la tracción indirecta (resistencia diametral), revela que esta tiende a reducirse cuando el porcentaje de sustitución del agregado fino por PET se incrementa. Otros estudios han encontrado una baja en la resistencia a la tracción que incluye PET en su diseño de mezcla. Por ejemplo, Dávila (2023) reportó una reducción del 9.9% respecto al concreto patrón D210-PET0 cuando se utilizó un 6% de PET en lugar del árido fino; sin embargo, esta investigación observó una disminución del 3.8% con un 5.5% de PET. Este hallazgo es debido a la baja adherencia y la consecuente debilidad de la Zona de Transición Interfacial (ZTI) son el mecanismo primario detrás de esta pérdida de capacidad de tracción. Este problema de adhesión se vio agravado por la granulometría del PET utilizada (módulo de fineza = 4.7). Las partículas gruesas crearon una interfaz de contacto más grande y desfavorable en comparación con la arena natural concentrando los esfuerzos y facilitando la iniciación de

grietas. Akinyele y Ajede (2019), en su explicación, refuerzan que esta pérdida de capacidad se debe precisamente a la baja adherencia que se genera entre la matriz de cemento y el plástico, un fenómeno causado por la superficie inherentemente lisa del PET. En tracción, la ZTI deficiente funciona como un camino de menor resistencia, lo que permite que las grietas se propaguen con mayor facilidad.

Los resultados de la resistencia a la flexión evidencian igualmente un efecto desfavorable al reemplazar el agregado fino por PET reciclado, observándose una disminución progresiva de la resistencia conforme aumenta el porcentaje de PET incorporado. Esta tendencia decreciente en los valores de resistencia a la flexión, al igual que en otras propiedades mecánicas, ha sido documentada en diversas investigaciones previas. Estudios en los que el PET se utilizó como material adicional también reportan reducciones en la resistencia a la flexión de especímenes evaluados a los 28 días de curado, tal como lo señalan Umasabor y Daniel (2019). De forma similar, Dávila (2023), quien empleó PET como sustituto volumétrico del árido fino, registró una disminución del 2.1% al incorporar un 2% de PET respecto al concreto patrón D210-PET0. En contraste, en la presente investigación, con un 3.5% de PET, la reducción alcanzó un 8.2%. Está marcada reducción, más severa que en otros estudios, puede atribuirse a la combinación de dos factores: la inherente mala adherencia en la Zona de Transición Interfacial (ZTI) y la granulometría del PET utilizado ( $MF = 4.7$ ). Bajo flexión, la zona a tracción de la viga es la más crítica. Las partículas gruesas de PET localizadas en esta zona actúan como inclusiones rígidas y no adherentes, creando discontinuidades macroscópicas que funcionan como puntos de inicio prematuro para las grietas de flexión. Esta tendencia confirma que la presencia de la ZTI deficiente en las partículas de PET reduce la capacidad del material para resistir esfuerzos de tracción en la fibra inferior de la viga. La rápida propagación de grietas desde estas interfaces débiles, favorecida por el tamaño de las partículas, explica la significativa disminución de la ductilidad del concreto ante la flexión, un aspecto crítico en elementos estructurales. No obstante, los valores obtenidos se mantienen dentro de rangos aceptables para ciertas aplicaciones no estructurales.

## V. CONCLUSIONES

- La incorporación del PET reciclado triturado, como sustituto parcial del agregado fino en las dosificaciones evaluadas (3.5%, 4.5% y 5.5%), influye en una disminución progresiva en las propiedades mecánicas del concreto en comparación con la mezcla patrón (0% PET). Sin embargo, es fundamental destacar que todas las dosificaciones evaluadas lograron sobrepasar la resistencia a compresión requerida ( $f'_c = 294 \text{ kg/cm}^2$ ) desde la edad de 14 días.
- Respecto a las propiedades físicas del concreto fresco, se encontró una clara reducción de los valores de asentamiento conforme aumentaba la incorporación del PET triturado, alcanzando una reducción de 31.3% con 5.5% de PET, lo que se traduce como una pérdida de trabajabilidad de la mezcla. En cuanto a la temperatura del concreto, el resultado se mantuvo constante con  $16.4^\circ\text{C}$  en todas las mezclas. Por otra parte, los resultados del contenido de aire y la densidad de las mezclas de concreto se encuentran indirectamente relacionados, puesto que mientras el contenido de aire va en aumento con la presencia de la cantidad de PET, la densidad se ve disminuida con el aumento del PET triturado.
- La resistencia a la compresión mostró una reducción relativa a los 28 días con el incremento de PET, alcanzando un decrecimiento de 8.4% con 5.5% de PET en relación al concreto control, sin embargo, dichas resistencias superaron a los 17 MPa estipulado en la Norma E.060 para concreto estructural.
- La resistencia a la tracción indirecta exhibió una reducción relativa en todas las dosificaciones con PET a los 28 días, alcanzando un decrecimiento de 3.8% con 5.5% de PET.
- La resistencia a la flexión también mostró una tendencia decreciente en todas las dosificaciones con PET a los 28 días con el aumento de PET, alcanzando un decrecimiento de 18.8% con 5.5% de PET.
- En base a los resultados se concluye como porcentaje óptimo al 3.5% PET, obteniendo disminuciones de 3%, 1.2% y 8.2% con respecto al concreto patrón para las pruebas de 28 días de las propiedades de resistencia a la compresión, tracción indirecta y flexión respectivamente, disminuciones no tan significativas.

## VI. RECOMENDACIONES

En lo que respecta al uso de PET reciclado, se aconseja emplear un material cuya gradación sea más próxima a la del agregado fino natural y que cumpla con los límites establecidos por las normativas. Asimismo, se sugiere procurar un módulo de finura parecido al del árido fino, con el propósito de evaluar si una distribución granulométrica comparable puede contribuir a mejorar los resultados obtenidos en las pruebas físicas y mecánicas del concreto estructural.

En futuros diseños, se debería poner énfasis en la caracterización más profunda de la forma y textura superficial del PET triturado. Estas propiedades son cruciales para la trabajabilidad y la adherencia interfacial, y un control sobre ellas podría guiar un diseño de mezcla más efectivo para minimizar la pérdida de resistencia.

En cuanto los diseños de mezcla, antes de implementar estos diseños en campo, se recomienda validar los resultados con pruebas piloto bajo condiciones reales, y verificar su cumplimiento con la NTP 339.034.

En cuanto a las propiedades físicas del concreto fresco, la disminución del asentamiento observada en las mezclas con incorporación de PET reciclado refleja una pérdida de trabajabilidad. Por ello, se recomienda la adición de un aditivo superplastificante, con el fin de mantener una adecuada consistencia y manejabilidad en las mezclas durante el proceso de elaboración y colocación del concreto.

Se recomienda utilizar hasta un 3.5% de PET reciclado como sustituto parcial del agregado fino, ya que esta dosificación mantuvo una buena resistencia mecánica (solo una reducción del 3.02% en compresión a 28 días), sin afectar significativamente la trabajabilidad ni otras propiedades físicas del concreto.

Dado que el PET reduce las propiedades mecánicas, pero aligera el concreto, se recomienda desarrollar diseños de mezcla específicos para aplicaciones donde estas propiedades sean aceptables o incluso deseables. Por ejemplo, para concreto no estructural, bloques ligeros, prefabricados o rellenos, donde el menor peso y el uso de un material reciclado aporten un mayor beneficio general que la máxima resistencia.

Se debe evitar el uso del concreto incorporado con PET en ambientes agresivos (alta humedad, exposición a cloruros, ciclos de congelamiento y deshielo), hasta que los ensayos de permeabilidad confirmen que la baja adherencia del PET no ha comprometido la impermeabilidad de la matriz de cemento.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abanto, F. (2009). *Tecnología del concreto* (2da ed.). San Marcos.
- Aranibar, J. T., & Silva Cornejo, A. (2022). *Mejoramiento de las propiedades mecánicas del concreto  $f'c=210\text{kg/cm}^2$  adicionando plástico reciclado, Puerto Maldonado, 2022*. Universidad Cesar Vallejo.
- Campana, J., & Flores, R. M. (2019). “*Comportamiento de los plásticos reciclados PET en la resistencia a compresión y flexión del concreto  $f'c$  210, Lima, 2019*”. Universidad Cesar Vallejo.
- Chowdhury, T., Mahi, M., Azizul Haque, K., & Rahman, M. (2018). A Review On The Use Of Polyethylene Terephthalate (Pet) As Aggregates In Concrete. *Malaysian Journal of Science, Vol 37 No 2 (2018)*, 118-136. <https://doi.org/10.22452/mjs.vol37no2.4>
- Cluzman, D. (2021). “*Análisis comparativo de las propiedades físico-mecánicas del concreto  $f'c$  210  $\text{kg/cm}^2$ , al remplazarle fibra de vidrio y plástico reciclado, Callao – 2021*”. Universidad Cesar Vallejo.
- Córdova, R. (2023). *Estudio de las propiedades mecánicas del concreto adicionando plástico reciclado como reemplazo parcial del agregado fino*. Universidad Señor de Sipan.
- Davila, C. M. (2023). *Análisis de las propiedades físicas y mecánicas del concreto estructural, incorporando parcialmente tereftalato de polietileno (PET) como agregado fino* [Universidad Señor de Sipan]. <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/11386>
- Flores, M. (2005). *Estudio de las propiedades del concreto pesado de alta resistencia utilizando cemento portland tipo I y un aditivo superplastificante*. [https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI\\_f3d2e97851ca37777e6b9d8abf479f05](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI_f3d2e97851ca37777e6b9d8abf479f05)

- Gonzales, C., Paredes, J., Viñas, M., & Castro, R. (2018). *Tecnología del concreto: Cementos agua y agregados para el concreto* (p. 41). <https://es.slideshare.net/slideshow/cementos-agua-agregados-para-el-concreto/95292761>
- Gutiérrez de López, L. (2003). *El concreto y otros materiales para la construcción*. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/9302>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. del P. (2014). *Metodología de investigación* (Sexta Edición). DERECHOS RESERVADOS © 2014, respecto a la sexta edición por MCGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Neciosup, J. (2018). *Resistencia mecánica de un concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> sustituido en 7% y 10% del peso del cemento por polvo de Roca de Granito* [UNIVERSIDAD SAN PEDRO]. <https://core.ac.uk/download/pdf/231106351.pdf>
- NTP 339.034. (2015). *CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas*.
- NTP 339.035. (2009). *HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland* (p. 9).
- Olofinnade, O., Chandra J, S., & Chakraborty, P. (2020). *Recycling of high impact polystyrene and low-density polyethylene plastic wastes in lightweight based concrete for sustainable construction*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.176>
- Paz, M. (2016). *Reciclado de PET a partir de botellas post consumo*. Universidad Nacional de Córdoba.
- Quintero, A. F. R., & Rico, J. C. H. (2014). *DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN POR EL MÉTODO A.C.I. Y EFECTOS DE LA ADICIÓN DE CENIZAS VOLANTES DE TERMOTASAJERO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN*.

Terrones, L., & Vera, J. G. (2023). *ELABORACIÓN Y ESTUDIO DE PROPIEDADES DE UN DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO ADICIONANDO VIDRIO MOLIDO Y MATERIALES POLÍMEROS RECICLADOS*. Universidad Católica San Pablo.

Toirac, J. (2012). *CARACTERIZACIÓN GRANULOMÉTRICA DE LAS PLANTAS PRODUCTORAS DE ARENA EN LA REPÚBLICA DOMINICANA, SU IMPACTO EN LA CALIDAD Y COSTO DEL HORMIGÓN*. XXXVII(3), 293-334.

Zevallos, L. (2023). *Comportamiento de las propiedades mecánicas del concreto con adición de fibra de vidrio y plástico reciclado, llo 2023*. Universidad César Vallejo.

## VIII. ANEXOS

### ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA


#### **Tabla 29**

*Matriz de Consistencia*



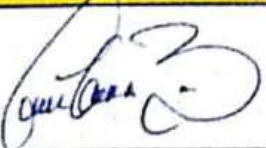
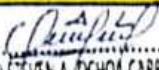

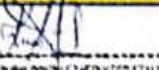

**TÍTULO: INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO PARA EVALUAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y FÍSICAS DEL CONCRETO EN CONDICIONES DE LABORATORIO - UNAT**

<b>FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>HIPÓTESIS</b>	<b>VARIABLES</b>	<b>INDICADORES</b>
<b>Problema general</b>	<b>Objetivo General</b>	<b>Hipótesis General</b>	<b>VI: Variable Independiente</b>	
¿Cómo influye la sustitución parcial del agregado fino por PET reciclado triturado en distintas concentraciones en las propiedades mecánicas y físicas del concreto, bajo condiciones de laboratorio?	Determinar la influencia de la incorporación del PET reciclado triturado en 3.5, 4.5 y 5.5% como sustituto parcial del agregado fino en las propiedades mecánicas y físicas del concreto bajo condiciones de laboratorio.	La sustitución del agregado fino por PET reciclado triturado en distintas concentraciones influye significativamente en las propiedades mecánicas y físicas del concreto bajo condiciones de laboratorio.	Incorporación de PET reciclado	0%, 3.5%, 4.5% y 5.5%
<b>Problemas Específicos</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>Hipótesis Específicos</b>	<b>VD: Variable Dependiente</b>	
¿Cómo afectan las distintas concentraciones de PET reciclado en las propiedades físicas del concreto fresco?	Evaluar las propiedades físicas del concreto fresco en función de la incorporación de distintas concentraciones de PET reciclado.	La incorporación de distintas concentraciones de PET reciclado influye significativamente en las propiedades físicas del concreto fresco.	Propiedades mecánicas y físicas del concreto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Asentamiento</li> <li>- Peso unitario</li> <li>- Temperatura</li> <li>- Contenido de aire</li> <li>- Resistencia a compresión</li> <li>- Resistencia a la tracción</li> <li>- Resistencia a flexión</li> </ul>
¿Cómo impactan las distintas concentraciones de PET reciclado en la resistencia a la compresión del concreto?	Evaluar la resistencia a la compresión del concreto al incorporar distintas concentraciones de PET reciclado.	La incorporación de distintas concentraciones de PET reciclado influye significativamente la resistencia a la compresión del concreto.		
¿Cómo impactan las distintas concentraciones de PET reciclado en la resistencia a la tracción diametral del concreto?	Evaluar la resistencia a la tracción diametral del concreto al incorporar distintas concentraciones de PET reciclado.	La incorporación de distintas concentraciones de PET reciclado influye significativamente la resistencia a la tracción diametral del concreto.		
¿Cómo impactan las distintas concentraciones de PET reciclado en la resistencia a la flexión del concreto?	Evaluar la resistencia a la flexión del concreto al incorporar distintas concentraciones de PET reciclado.	La incorporación de distintas concentraciones de PET reciclado influye significativamente la resistencia a la flexión del concreto.		



## ANEXO 2: CONSTANCIA DE REALIZACIÓN DE ENSAYOS EN LABORATORIO

	<p style="text-align: center;"><b>UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE TAYACAJA</b> <b>DANIEL HERNÁNDEZ MORILLO</b> <b>"INGENIERÍA CIVIL"</b></p> <p style="text-align: center;"><b>CONSTANCIA DE REALIZACIÓN DE</b> <b>ENSAYOS EN LABORATORIO</b></p>	
<p>Mediante la presente se deja constancia que la Tesista de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo, la Bach. CANCHARI VILA RUTH KARINA identificada con DNI N° 71380016, realizó en el Laboratorio de Materiales y Estructuras SL03LA04 de dicha universidad (UNAT) los ensayos necesarios para desarrollar su trabajo de investigación de tesis titulado "INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO PARA EVALUAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y FÍSICAS DEL CONCRETO EN CONDICIONES DE LABORATORIO – UNAT"; durante el periodo comprendido entre 03/04/2025 y 02/06/2025; estos ensayos fueron:</p>		
<ol style="list-style-type: none"><li>1. Ensayos para la caracterización de los agregados:<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Contenido de Humedad</li><li>▪ Cantidad de material fino que pasa el tamiz (N°200) por lavado</li><li>▪ Granulometría</li><li>▪ Peso específico y absorción</li><li>▪ Peso unitario compactado y suelto</li></ul></li><li>2. Ensayos para la caracterización del PET triturado:<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Granulometría</li><li>▪ Peso unitario compactado y suelto</li></ul></li><li>3. Ensayos del concreto en su estado fresco:<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Asentamiento</li><li>▪ Temperatura</li><li>▪ Contenido de aire</li><li>▪ Peso unitario</li></ul></li><li>4. Elaboración de probetas cilíndricas:<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Probetas cilíndricas de 15 x 30 cm – Para la resistencia a la compresión y tracción indirecta.</li></ul></li><li>5. Elaboración de vigas prismáticas:<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Vigas prismáticas de 15 x 15 x 53 cm – Para la resistencia a flexión.</li></ul></li><li>6. Ensayos del concreto en su estado endurecido:<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Resistencia a la compresión a las edades de 7, 14 y 28 días.</li></ul></li></ol>		
<p>Se expide esta constancia a solicitud de la interesada, para los fines convenientes.</p>		
<p style="text-align: right;">Pampas, 31 de Julio del 2025</p>		
<p style="text-align: center;"> ----- ASESOR DE TESIS MG. CHIHUAN QUISPE, RONALD JULIÁN ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0001-6130-7792">https://orcid.org/0000-0001-6130-7792</a></p>		

**ANEXO 3: CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADOS**

 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE TAYACAJA	<b>LABORATORIO DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS - UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE TAYACAJA "UNAT"</b>				
	PROTOCOLO				
	ENSAYO:	CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADOS			
	NORMA:	NTP 339.185 / ASTM C566			
PROYECTO:	INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO PARA EVALUAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y FÍSICAS DEL CONCRETO EN CONDICIONES DE LABORATORIO - UNAT				
UBICACIÓN:	MANZANERA	TIPO DE MATERIAL:		AGREGADO	
FECHA DE MUESTREO:	02/04/2025	RESPONSABLE:		RI DEL KARINA CASCHARI VILA	
FECHA DE ENSAYO:	03/04/2025	REVISADO POR:		MAG. RONALD JULIAN CHIHUANGUINPE	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD - PIEDRA CHANCADA</b>					
COD	DESCRIPCIÓN	UND	M-1	M-2	M-3
A	Peso de la tara	gr	147.10	147.70	147.20
B	Peso de la Tara + P <sub>MSN</sub>	gr	2655.80	2651.00	2179.70
C	P <sub>MSN</sub>	gr	2508.70	2503.30	2032.50
D	P <sub>MSH</sub>	gr	2497.60	2492.40	2023.50
W %	Contenido de Humedad (C-D / D)*100	%	0.44	0.44	0.44
F	<b>PROMEDIO DE CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	%	<b>0.44</b>		
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD - ARENA GRUESA</b>					
COD	DESCRIPCIÓN	UND	M-1	M-2	M-3
A	Peso de la tara	gr	147.70	149.10	145.40
B	Peso de la Tara + P <sub>MSN</sub>	gr	1046.00	1000.30	983.40
C	P <sub>MSN</sub>	gr	898.30	851.20	838.00
D	P <sub>MSH</sub>	gr	860.40	816.90	802.80
W %	Contenido de Humedad (C-D / D)*100	%	4.40	4.20	4.38
F	<b>PROMEDIO DE CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	%	<b>4.33</b>		
OBSERVACIONES:					
PROFESIONAL 1		PROFESIONAL 2		PROFESIONAL 3	
		  STEVEN A. OCHOA CARBAJAL INGENIERO CIVIL CIP N° 369090		  KERLY ESTHEFANY AQUINO GONZALEZ INGENIERA CIVIL CIP N° 180276	
NOMBRES: RONALD JULIÁN CHIHUANGUINPE		NOMBRES: STEVEN A. OCHOA CARBAJAL		NOMBRES: Kerly Esthefany Aquino Gonzalez	
FECHA: 03/04/2025		FECHA: 03/04/2025		FECHA: 03/04/2025	

**ANEXO 4: MATERIAL QUE PASA POR EL TAMIZ N° 200**

	<b>LABORATORIO DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS - UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE TAYACAJA "UNAT"</b>		
	<b>PROTOCOLO</b>		
	<b>ENSAYO :</b>	MATERIAL QUE PASA POR EL TAMIZ N° 200	
	<b>NORMA :</b>	NTP 400.018 / ASTM C117	
<b>PROYECTO :</b>	INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO PARA EVALUAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y FÍSICAS DEL CONCRETO EN CONDICIONES DE LABORATORIO - UNAT		
<b>UBICACION :</b>	MANIACRA	<b>TIPO DE MATERIAL :</b>	AGREGADO
<b>FECHA DE MUESTREO :</b>	03/04/2025	<b>RESPONSABLE :</b>	RUTH KARINA CANCIARI VILA
<b>FECHA DE ENSAYO :</b>	03/04/2025	<b>REVISADO POR :</b>	MAG. RONALD JULIAN CHIHUAN QUISPE

MATERIAL FINO QUE PASA POR EL TAMIZ N° 200 - ARENA GRUESA					
COD	DESCRIPCIÓN	UND	CANTIDAD		
			T-1	T-2	T-3
	Personalización de la tara				
A	Peso de la tara	gr	146.90	148.90	145.30
B	Peso de la muestra seca	gr	1530.20	1527.40	1517.00
PMSL	Peso de la muestra seca sin lavar + tara	gr	1677.10	1676.30	1662.30
PML	Peso de la muestra seca lavada + tara	gr	1622.70	1624.40	1613.50
C	Material fino que pasa por la malla N° 200	gr	54.40	51.90	48.80
A (%)	<b>MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ N° 200</b>	%	<b>3.24</b>	<b>3.10</b>	<b>2.94</b>
A (%)	<b>PROMEDIO DE MATERIAL QUE PASA EL</b>	%	<b>3.1</b>		

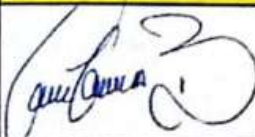




  

MATERIAL FINO QUE PASA POR EL TAMIZ N° 200 - PIEDRA CHANCADA					
COD	DESCRIPCIÓN	UND	CANTIDAD		
			T-1	T-2	T-3
	Personalización de la tara				
A	Peso de la tara	gr	147.10	147.70	147.20
B	Peso de la muestra seca	gr	2508.70	2503.30	2032.50
PMSL	Peso de la muestra seca sin lavar + tara	gr	2655.80	2651.00	2179.70
PML	Peso de la muestra seca lavada + tara	gr	2647.30	2640.10	2170.40
C	Material fino que pasa por la malla N° 200	gr	8.50	10.90	9.30
A (%)	<b>MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ N° 200</b>	%	<b>0.32</b>	<b>0.41</b>	<b>0.43</b>
A (%)	<b>PROMEDIO DE MATERIAL QUE PASA EL</b>	%	<b>0.4</b>		

OBSERVACIONES:

PROFESIONAL 1	PROFESIONAL 2	PROFESIONAL 3
	  STEVEN A. OCHOA CARBAJAL INGENIERO CIVIL CIP N° 369090	  KEDY ISHTELONY AQUINO GONZALEZ INGENIERA CIVIL CIP N° 356079
<b>NOMBRES:</b> ROCIO J. CHIHUAN QUISPE	<b>NOMBRES:</b> STEVEN A. OCHOA CARBAJAL	<b>NOMBRES:</b> Kedy Ishtelony Aquino Gonzalez
<b>FECHA:</b> 03/04/2025	<b>FECHA:</b> 03/04/2025	<b>FECHA:</b> 03/04/2025

## ANEXO 5: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO

UNAT UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE TAYACAJA		LABORATORIO DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS - UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE TAYACAJA "UNAT"				UNAT UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE TAYACAJA	
PROTOCOLO							
ENSAYO :		ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO					
NORMA :		NTP 400.012 / ASTM C136					
PROYECTO :		<b>INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO PARA EVALUAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y FÍSICAS DEL CONCRETO EN CONDICIONES DE LABORATORIO - UNAT</b>					
UBICACION :				TIPO DE MATERIAL :		AGREGADO	
FECHA DE MUESTREO :		03/04 2025		RESPONSABLE :		RUTH KARINA CANCHARI VILA	
FECHA DE ENSAYO :		04/04 2025		REVISADO POR :		MAG. RONALD JULIAN CHIHUAN QUISPE	
PESO INICIAL DE MUESTRA		3656.40 gr					

Nº	TAMIZ		PESO RETENIDO (gr)	% Retenido		% Que pasa		
	(pulgadas)	Aber. (mm)		% RETENIDO (%)	% RETENIDO ACUMULADO (%)	ARENA	Especificaciones (NTP 400.037-2018)- HUSO 5	
							Lim. Sup	Lim. Inf
1	1 1/2"	37.50	0	0.00	0.00	100	100	100
2	1"	25.00	220	6.02	6.02	94	90	100
3	3/4"	19.00	2480.2	67.83	73.85	26	20	55
4	1/2"	12.50	952.6	26.05	99.90	0	0	10
5	3/8"	9.50	2.5	0.07	99.97	0	0	5
6	Nº 4	4.75		0.00	99.97	0		
7	Nº 8	2.36		0.00	99.97	0		
8	Nº 16	1.18		0.00	99.97	0		
9	Nº 30	0.60		0.00	99.97	0		
10	Nº 50	0.30		0.00	99.97	0		
11	FONDO	0.00	1.10	0.03	100.00	0		
<b>TOTAL</b>			<b>3656.4</b>	<b>100.00</b>				

Tamaño máximo:	1 1/2"
Tamaño máximo nominal:	1"

**CURVA GRANULOMÉTRICA DE AGREGADO GRUESO**



● - Límite Grueso o Superior
● - Límite Fino o Inferior
● - Curva de piedra chancada

OBSERVACIONES:

PROFESIONAL 1	PROFESIONAL 2	PROFESIONAL 3
 	  <b>STEVEN A. OCHOA CARBAL</b> INGENIERO CIVIL CIP N° 369090	  <b>Kerly Echepony Aquino Gonzalez</b> INGENIERA CIVIL CIP N° 358079
NOMBRES: RONALD J. CHIHUAN QUISPE	NOMBRES: STEVEN A. OCHOA CARBAL	NOMBRES: Kerly Echepony Aquino Gonzalez
FECHA : 04/04/2025	FECHA : 04/04/2025	FECHA : 04/04/2025

## ANEXO 6: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO

	<b>LABORATORIO DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS - UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE TAYACAJA "UNAT"</b>		
	<b>PROTOCOLO</b>		
	<b>ENSAYO :</b>	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO FINO	
	<b>NORMA :</b>	NTP 400.012 / ASTM C136	
<b>PROYECTO :</b>	INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO PARA EVALUAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y FÍSICAS DEL CONCRETO EN CONDICIONES DE LABORATORIO - UNAT		
<b>UBICACION :</b>	MANTACRA	<b>TIPO DE MATERIAL :</b>	AGREGADO
<b>FECHA DE MUESTREO :</b>	03/04/2025	<b>RESPONSABLE :</b>	RUTH KARINA CANCHARI VILA
<b>FECHA DE ENSAYO :</b>	04/04/2025	<b>REVISADO POR :</b>	MAG. RONALD JULIAN CHIBUAN QUISPE
<b>PESO INICIAL DE MUESTRA</b>	1516 gr		

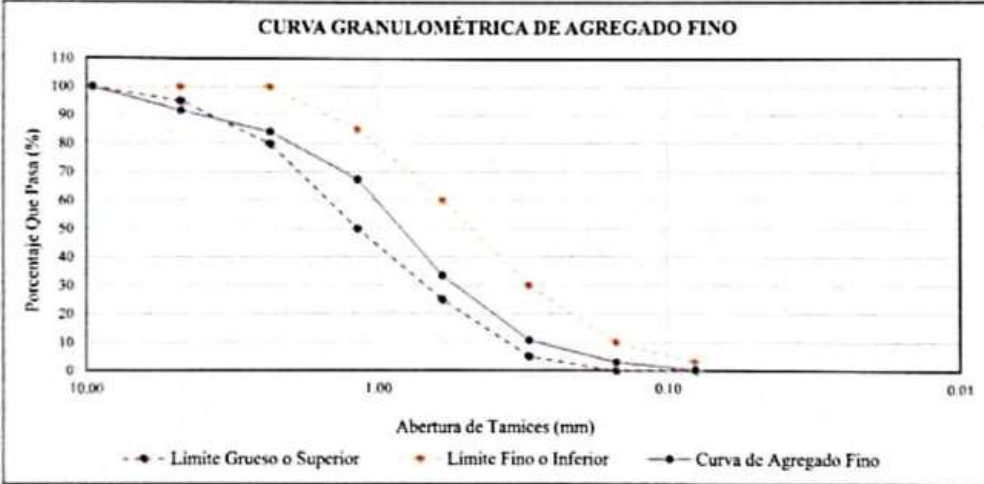
N°	TAMIZ		PESO RETENIDO (gr)	% Retenido		% Que pasa		
	(pulgadas)	Aber. (mm)		% RETENIDO (%)	% RETENIDO ACUMULADO (%)	ARENA	Especificaciones (NTP 400.037-2018)	
							Lim. Sup	Lim. Inf
1	3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100	100	100
2	N° 4	4.75	125.9	8.30	8.30	92	95	100
3	N° 8	2.36	114.8	7.57	15.88	84	80	100
4	N° 16	1.18	253.4	16.72	32.59	67	50	85
5	N° 30	0.60	515	33.97	66.56	33	25	60
6	N° 50	0.30	345.3	22.78	89.34	11	5	30
7	N° 100	0.15	115.6	7.63	96.97	3	0	10
8	N° 200	0.08	41.8	2.76	99.72	0	0	3
9	FONDO	0.00	4.20	0.28	100.00	0		
<b>TOTAL</b>			<b>1516</b>	<b>100.00</b>				

Modulo de finiza:	3.1
-------------------	-----


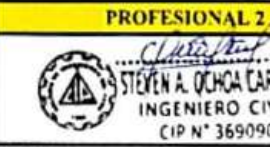

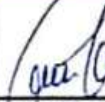


  

**CURVA GRANULOMÉTRICA DE AGREGADO FINO**




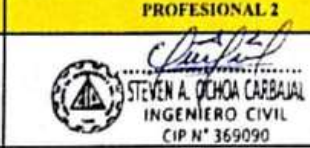



- ◻ - Limite Grueso o Superior
- ◻ - Limite Fino o Inferior
- ● - Curva de Agregado Fino



OBSERVACIONES:

PROFESIONAL 1	PROFESIONAL 2	PROFESIONAL 3
		
		
NOMBRES RONALD J. CHIBUAN QUISPE	NOMBRES STEVEN A. OCHOA CARBAJAL	NOMBRES Kerly Esthefany Aquino Cortalez
FECHA : 04/04/2025	FECHA : 04/04/2025	FECHA : 04/04/2025

## ANEXO 7: PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO

 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE TAYACAJA	LABORATORIO DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS - UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE TAYACAJA - UNAT				
	PROTOCOLO				
	ENSAYO :	PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO			
	NORMA :	NTP 400.021			
PROYECTO :	INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO PARA EVALUAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y FÍSICAS DEL CONCRETO EN CONDICIONES DE LABORATORIO - UNAT				
UBICACIÓN :	MANTACRA	TIPO DE MATERIAL :	AGREGADO		
FECHA DE MUESTREO :	07/04/2025	RESPONSABLE :	RUTH KARIN YUANU HARI VILA		
FECHA DE ENSAYO :	08/04/2025	REVISADO POR :	MAG. RONALD JULIAN CHIHUAN QUISEPÉ		
<b>PESO ESPECÍFICO - PIEDRA CHANCADA</b>					
<b>COD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UND.</b>	<b>T-1</b>	<b>T-2</b>	<b>T-3</b>
<b>A</b>	PESO DE LA MUESTRA SECADO AL HORNO EN AIRE	<i>gr</i>	2292.60	2126.10	2585.40
<b>B</b>	PESO DE LA MUESTRA DE ENSAYO DE SUPERFICIE SATURADA SECA EN AIRE	<i>gr</i>	2316.20	2148.30	2600.50
<b>C</b>	PESO APARENTE DE LA MUESTRA DE ENSAYO SATURADO EN AGUA	<i>gr</i>	1302.80	1192.80	1484.40
<b>OD</b>	PESO ESPECÍFICO SECO $A/(B-C)$	$gr/cm^3$	2.26	2.23	2.32
<b>SSD</b>	PESO ESPECÍFICO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO $B/(B-C)$	$gr/cm^3$	2.29	2.25	2.33
<b>PSA</b>	PESO ESPECÍFICO APARENTE $A/(A-C)$	$gr/cm^3$	2.32	2.28	2.35
<b>PROMEDIOS</b>					
PESO ESPECÍFICO SECO		$gr/cm^3$	2.268		
PESO ESPECÍFICO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO		$gr/cm^3$	2.288		
PESO ESPECÍFICO APARENTE		$gr/cm^3$	2.314		
<b>PORCENTAJE DE ABSORCIÓN - PIEDRA CHANCADA</b>					
<b>COD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UND.</b>	<b>T-1</b>	<b>T-2</b>	<b>T-3</b>
<b>A</b>	Peso de la tara	<i>gr</i>	147.10	147.70	147.20
<b>B</b>	Peso de la tara + Psss	<i>gr</i>	2463.30	2296.00	2747.70
<b>C</b>	Psss	<i>gr</i>	2316.20	2148.30	2600.50
<b>D</b>	Pmsh	<i>gr</i>	2292.60	2126.10	2585.40
<b>E</b>	CONTENIDO DE HUMEDAD $((C-D)/D)*100$	%	1.029	1.044	0.584
<b>F</b>	PROMEDIO DE ABSORCIÓN	%	0.886		
OBSERVACIONES:					
PROFESIONAL 1		PROFESIONAL 2		PROFESIONAL 3	
		 STEVEN A. OCHOA CARBAZAL INGENIERO CIVIL CIP N° 369090		 AQUINO GONZALEZ ESTEFANY INGENIERA CIVIL CIP N° 350073	
NOMBRES: RONALD JULIAN CHIHUAN QUISEPÉ		NOMBRES: STEVEN A. OCHOA CARBAZAL		NOMBRES: Kerly Estefany Aquino Gonzalez	
FECHA: 08/04/2025		FECHA: 08/04/2025		FECHA: 08/04/2025	

**ANEXO 8: PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO**

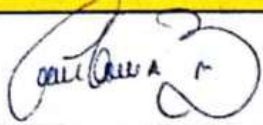
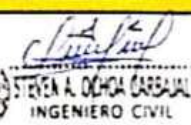



 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE TAYACAJA	LABORATORIO DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS - UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE TAYACAJA "UNAT"			
	PROTOCOLO			
	ENSAYO	PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO		
	NORMA	NTP 400.022 / ASTM C128		
PROYECTO	INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO PARA EVALUAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y FÍSICAS DEL CONCRETO EN CONDICIONES DE LABORATORIO - UNAT			
UBICACION	MANTACRA	TIPO DE MATERIAL	AGREGADO	
FECHA DE MUESTREO	07/04/2025	RESPONSABLE	RUTH KARINA CANCHARI VILA	
FECHA DE ENSAYO	08/04/2025	REVISADO POR	MAG. RONALDO JULIAN CHIHUAN QUINPE	



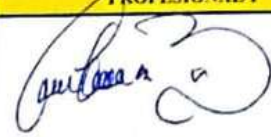




PESO ESPECÍFICO - ARENA GRUESA					
COD	DESCRIPCIÓN	UND.	T-1	T-2	T-3
A	PESO DE LA MUESTRA SECADO EN HORNO	gr	499.00	498.30	506.30
B	PESO DEL PICNÓMETRO AFORADO LLENO DE AGUA	gr	641.4	639.1	641.7
C	PESO TOTAL DEL PICNÓMETRO AFORADO CON LA MUESTRA Y LLENO DE AGUA	gr	960.8	958.0	965.4
S	PESO DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA	gr	507.1	506.1	514.4
OD	PESO ESPECÍFICO SECO $A/(B+S-C)$	gr/cm <sup>3</sup>	2.658	2.662	2.655
SSD	PESO ESPECÍFICO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO $S/(B+S-C)$	gr/cm <sup>3</sup>	2.702	2.704	2.697
PSA	PESO ESPECÍFICO APARENTE $A/(B+A-C)$	gr/cm <sup>3</sup>	2.778	2.778	2.773
PROMEDIOS					
PESO ESPECÍFICO SECO		gr/cm <sup>3</sup>	2.658		
PESO ESPECÍFICO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO		gr/cm <sup>3</sup>	2.701		
PESO ESPECÍFICO APARENTE		gr/cm <sup>3</sup>	2.776		

PORCENTAJE DE ABSORCIÓN - ARENA GRUESA					
COD	DESCRIPCIÓN	UND.	T-1	T-2	T-3
A	Peso de la tara	gr	146.90	148.90	145.30
B	Peso de la tara + P <sub>ss</sub>	gr	654.00	655.00	659.70
C	P <sub>ss</sub>	gr	507.10	506.10	514.40
D	P <sub>msh</sub>	gr	499.00	498.30	506.30
E	CONTENIDO DE HUMEDAD $((C-D)/D)*100$	%	1.623	1.565	1.600
F	PROMEDIO DE ABSORCIÓN	%	1.596		




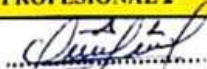

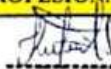

OBSERVACIONES:

PROFESIONAL 1	PROFESIONAL 2	PROFESIONAL 3
	 	 
NOMBRES: RONALDO S. CHIHUAN QUINPE	NOMBRES: STEVEN A. OCHOA CEREBRAL <small>CIP N° 359050</small>	NOMBRES: Kerly Esthefany Aguirre Gonzalez
FECHA: 08/04/2025	FECHA: 08/04/2025	FECHA: 08/04/2025

## ANEXO 9: PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO

 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE TAYACAJA	LABORATORIO DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS - UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE TAYACAJA "UNAT"																																																		
	PROTOCOLO																																																		
	ENSAYO :	PESO UNITARIO DE AGREGADO GRUESO																																																	
	NORMA :	NTP 400.017 / ASTM C29																																																	
PROYECTO :	INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO PARA EVALUAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y FÍSICAS DEL CONCRETO EN CONDICIONES DE LABORATORIO - UNAT																																																		
UBICACIÓN :	MANTACRA	TIPO DE MATERIAL :	AGREGADO																																																
FECHA DE MUESTREO :	08/04/2025	RESPONSABLE :	RUTH KARINA CANCHARI VILA																																																
FECHA DE ENSAYO :	09/04/2025	REVISADO POR :	MAG. RONALD JULIAN CHIHUAN QUISPE																																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="6">PESO UNITARIO SUELTO (PUS) - AGREGADO GRUESO</th> </tr> <tr> <th>Nº</th> <th>DESCRIPCIÓN</th> <th>UND</th> <th>T-1</th> <th>T-2</th> <th>T-3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Peso del recipiente metalico (A)</td> <td>kg</td> <td>7.91</td> <td>7.91</td> <td>7.91</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Peso del recipiente metalico + muestra (B)</td> <td>kg</td> <td>21.32</td> <td>21.38</td> <td>21.38</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Peso de la muestra (B-A)</td> <td>kg</td> <td>13.41</td> <td>13.47</td> <td>13.47</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Volumen de recipiente metalico(C)</td> <td>m<sup>3</sup></td> <td>0.0092</td> <td>0.0092</td> <td>0.0092</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>PESO UNITARIO SUELTO (B-A)/C</td> <td>kg/m<sup>3</sup></td> <td>1457.30</td> <td>1463.82</td> <td>1463.82</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td><b>PROMEDIO DE PESO UNITARIO SUELTO</b></td> <td>kg/m<sup>3</sup></td> <td colspan="3" style="text-align: center;">1461.65</td> </tr> </tbody> </table>				PESO UNITARIO SUELTO (PUS) - AGREGADO GRUESO						Nº	DESCRIPCIÓN	UND	T-1	T-2	T-3	1	Peso del recipiente metalico (A)	kg	7.91	7.91	7.91	2	Peso del recipiente metalico + muestra (B)	kg	21.32	21.38	21.38	3	Peso de la muestra (B-A)	kg	13.41	13.47	13.47	4	Volumen de recipiente metalico(C)	m <sup>3</sup>	0.0092	0.0092	0.0092	5	PESO UNITARIO SUELTO (B-A)/C	kg/m <sup>3</sup>	1457.30	1463.82	1463.82	6	<b>PROMEDIO DE PESO UNITARIO SUELTO</b>	kg/m <sup>3</sup>	1461.65		
PESO UNITARIO SUELTO (PUS) - AGREGADO GRUESO																																																			
Nº	DESCRIPCIÓN	UND	T-1	T-2	T-3																																														
1	Peso del recipiente metalico (A)	kg	7.91	7.91	7.91																																														
2	Peso del recipiente metalico + muestra (B)	kg	21.32	21.38	21.38																																														
3	Peso de la muestra (B-A)	kg	13.41	13.47	13.47																																														
4	Volumen de recipiente metalico(C)	m <sup>3</sup>	0.0092	0.0092	0.0092																																														
5	PESO UNITARIO SUELTO (B-A)/C	kg/m <sup>3</sup>	1457.30	1463.82	1463.82																																														
6	<b>PROMEDIO DE PESO UNITARIO SUELTO</b>	kg/m <sup>3</sup>	1461.65																																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="6">PESO UNITARIO COMPACTADO (PUC) - AGREGADO GRUESO</th> </tr> <tr> <th>Nº</th> <th>DESCRIPCIÓN</th> <th>UND</th> <th>T-1</th> <th>T-2</th> <th>T-3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Peso del recipiente metalico (A)</td> <td>kg</td> <td>7.91</td> <td>7.91</td> <td>7.91</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Peso del recipiente metalico+ muestra (B)</td> <td>kg</td> <td>22.03</td> <td>22.09</td> <td>22.04</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Peso de la muestra (B-A)</td> <td>kg</td> <td>14.12</td> <td>14.18</td> <td>14.13</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Volumen de recipiente metalico (C)</td> <td>m<sup>3</sup></td> <td>0.0092</td> <td>0.0092</td> <td>0.0092</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>PESO UNITARIO COMPACTADO (B-A)/C</td> <td>kg/m<sup>3</sup></td> <td>1534.46</td> <td>1540.98</td> <td>1535.54</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td><b>PROMEDIO DE PESO UNITARIO COMPACTADO</b></td> <td>kg/m<sup>3</sup></td> <td colspan="3" style="text-align: center;">1536.99</td> </tr> </tbody> </table>				PESO UNITARIO COMPACTADO (PUC) - AGREGADO GRUESO						Nº	DESCRIPCIÓN	UND	T-1	T-2	T-3	1	Peso del recipiente metalico (A)	kg	7.91	7.91	7.91	2	Peso del recipiente metalico+ muestra (B)	kg	22.03	22.09	22.04	3	Peso de la muestra (B-A)	kg	14.12	14.18	14.13	4	Volumen de recipiente metalico (C)	m <sup>3</sup>	0.0092	0.0092	0.0092	5	PESO UNITARIO COMPACTADO (B-A)/C	kg/m <sup>3</sup>	1534.46	1540.98	1535.54	6	<b>PROMEDIO DE PESO UNITARIO COMPACTADO</b>	kg/m <sup>3</sup>	1536.99		
PESO UNITARIO COMPACTADO (PUC) - AGREGADO GRUESO																																																			
Nº	DESCRIPCIÓN	UND	T-1	T-2	T-3																																														
1	Peso del recipiente metalico (A)	kg	7.91	7.91	7.91																																														
2	Peso del recipiente metalico+ muestra (B)	kg	22.03	22.09	22.04																																														
3	Peso de la muestra (B-A)	kg	14.12	14.18	14.13																																														
4	Volumen de recipiente metalico (C)	m <sup>3</sup>	0.0092	0.0092	0.0092																																														
5	PESO UNITARIO COMPACTADO (B-A)/C	kg/m <sup>3</sup>	1534.46	1540.98	1535.54																																														
6	<b>PROMEDIO DE PESO UNITARIO COMPACTADO</b>	kg/m <sup>3</sup>	1536.99																																																
OBSERVACIONES:																																																			
PROFESIONAL 1		PROFESIONAL 2		PROFESIONAL 3																																															
		  STEVEN A. OCHOA CARBAJAL INGENIERO CIVIL CIP N° 369090		  KERLY ESTHEFANY AQUINO GONZALEZ INGENIERA CIVIL CIP N° 369116																																															
NOMBRES: RONALD B. CHIHUAN QUISPE		NOMBRES: STEVEN A. OCHOA CARBAJAL		NOMBRES: Kerly Esthefany Aquino Gonzalez																																															
FECHA: 09/04/2025		FECHA: 09/04/2025		FECHA: 09/04/2025																																															

## ANEXO 10: PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO

 <p style="font-size: small;">UNAT UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE TAYACAJA</p>	<b>LABORATORIO DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS - UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE TAYACAJA "UNAT"</b>																																																																																																			
	<b>PROTOCOLO</b>																																																																																																			
	ENSAYO :	PESO UNITARIO DE AGREGADO FINO																																																																																																		
	NORMA :	NTP 400.017 / ASTM C29																																																																																																		
PROYECTO :	INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO PARA EVALUAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y FÍSICAS DEL CONCRETO EN CONDICIONES DE LABORATORIO - UNAT																																																																																																			
UBICACIÓN :	MANIACRA	TIPO DE MATERIAL :	AGREGADO																																																																																																	
FECHA DE MUESTREO :	08/04/2025	RESPONSABLE :	RUTH KARINA CANCHARI VILA																																																																																																	
FECHA DE ENSAYO :	09/04/2025	REVISADO POR :	MAG. RONALD JULIAN CHIHUAN QUISPE																																																																																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">PESO UNITARIO SUELTO (PUS) - AGREGADO FINO</th> </tr> <tr> <th style="width: 5%;">N°</th> <th style="width: 45%;">DESCRIPCIÓN</th> <th style="width: 10%;">UND</th> <th style="width: 10%;">T-1</th> <th style="width: 10%;">T-2</th> <th style="width: 10%;">T-3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Peso del recipiente metalico (A)</td> <td>kg</td> <td>2.73</td> <td>2.73</td> <td>2.73</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Peso del recipiente metalico + muestra (B)</td> <td>kg</td> <td>7.39</td> <td>7.50</td> <td>7.50</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Peso de la muestra (B-A)</td> <td>kg</td> <td>4.66</td> <td>4.77</td> <td>4.77</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Volumen de recipiente metalico(C)</td> <td>m<sup>3</sup></td> <td>0.0027</td> <td>0.0027</td> <td>0.0027</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>PESO UNITARIO SUELTO (B-A)/C</td> <td>kg/m<sup>3</sup></td> <td>1711.98</td> <td>1752.39</td> <td>1752.39</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td style="text-align: center;"><b>PROMEDIO DE PESO UNITARIO SUELTO</b></td> <td>kg/m<sup>3</sup></td> <td colspan="3" style="text-align: center;">1738.92</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">PESO UNITARIO COMPACTADO (PUC) - AGREGADO FINO</th> </tr> <tr> <th style="width: 5%;">N°</th> <th style="width: 45%;">DESCRIPCIÓN</th> <th style="width: 10%;">UND</th> <th style="width: 10%;">T-1</th> <th style="width: 10%;">T-2</th> <th style="width: 10%;">T-3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Peso del recipiente metalico (A)</td> <td>kg</td> <td>2.73</td> <td>2.73</td> <td>2.73</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Peso del recipiente metalico+ muestra (B)</td> <td>kg</td> <td>7.65</td> <td>7.68</td> <td>7.68</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Peso de la muestra (B-A)</td> <td>kg</td> <td>4.92</td> <td>4.95</td> <td>4.95</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Volumen de recipiente metalico (C)</td> <td>m<sup>3</sup></td> <td>0.0027</td> <td>0.0027</td> <td>0.0027</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>PESO UNITARIO COMPACTADO (B-A)/C</td> <td>kg/m<sup>3</sup></td> <td>1807.50</td> <td>1818.52</td> <td>1818.52</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td style="text-align: center;"><b>PROMEDIO DE PESO UNITARIO COMPACTADO</b></td> <td>kg/m<sup>3</sup></td> <td colspan="3" style="text-align: center;">1814.85</td> </tr> </tbody> </table>					PESO UNITARIO SUELTO (PUS) - AGREGADO FINO						N°	DESCRIPCIÓN	UND	T-1	T-2	T-3	1	Peso del recipiente metalico (A)	kg	2.73	2.73	2.73	2	Peso del recipiente metalico + muestra (B)	kg	7.39	7.50	7.50	3	Peso de la muestra (B-A)	kg	4.66	4.77	4.77	4	Volumen de recipiente metalico(C)	m <sup>3</sup>	0.0027	0.0027	0.0027	5	PESO UNITARIO SUELTO (B-A)/C	kg/m <sup>3</sup>	1711.98	1752.39	1752.39	6	<b>PROMEDIO DE PESO UNITARIO SUELTO</b>	kg/m <sup>3</sup>	1738.92			PESO UNITARIO COMPACTADO (PUC) - AGREGADO FINO						N°	DESCRIPCIÓN	UND	T-1	T-2	T-3	1	Peso del recipiente metalico (A)	kg	2.73	2.73	2.73	2	Peso del recipiente metalico+ muestra (B)	kg	7.65	7.68	7.68	3	Peso de la muestra (B-A)	kg	4.92	4.95	4.95	4	Volumen de recipiente metalico (C)	m <sup>3</sup>	0.0027	0.0027	0.0027	5	PESO UNITARIO COMPACTADO (B-A)/C	kg/m <sup>3</sup>	1807.50	1818.52	1818.52	6	<b>PROMEDIO DE PESO UNITARIO COMPACTADO</b>	kg/m <sup>3</sup>	1814.85		
PESO UNITARIO SUELTO (PUS) - AGREGADO FINO																																																																																																				
N°	DESCRIPCIÓN	UND	T-1	T-2	T-3																																																																																															
1	Peso del recipiente metalico (A)	kg	2.73	2.73	2.73																																																																																															
2	Peso del recipiente metalico + muestra (B)	kg	7.39	7.50	7.50																																																																																															
3	Peso de la muestra (B-A)	kg	4.66	4.77	4.77																																																																																															
4	Volumen de recipiente metalico(C)	m <sup>3</sup>	0.0027	0.0027	0.0027																																																																																															
5	PESO UNITARIO SUELTO (B-A)/C	kg/m <sup>3</sup>	1711.98	1752.39	1752.39																																																																																															
6	<b>PROMEDIO DE PESO UNITARIO SUELTO</b>	kg/m <sup>3</sup>	1738.92																																																																																																	
PESO UNITARIO COMPACTADO (PUC) - AGREGADO FINO																																																																																																				
N°	DESCRIPCIÓN	UND	T-1	T-2	T-3																																																																																															
1	Peso del recipiente metalico (A)	kg	2.73	2.73	2.73																																																																																															
2	Peso del recipiente metalico+ muestra (B)	kg	7.65	7.68	7.68																																																																																															
3	Peso de la muestra (B-A)	kg	4.92	4.95	4.95																																																																																															
4	Volumen de recipiente metalico (C)	m <sup>3</sup>	0.0027	0.0027	0.0027																																																																																															
5	PESO UNITARIO COMPACTADO (B-A)/C	kg/m <sup>3</sup>	1807.50	1818.52	1818.52																																																																																															
6	<b>PROMEDIO DE PESO UNITARIO COMPACTADO</b>	kg/m <sup>3</sup>	1814.85																																																																																																	
OBSERVACIONES:																																																																																																				
<b>PROFESIONAL 1</b>		<b>PROFESIONAL 2</b>		<b>PROFESIONAL 3</b>																																																																																																
		  STEVEN A. OCHOA CARBAJAL INGENIERO CIVIL CIP N° 369090		  KEILY ESTHELFANY AGUIÑO GONZÁLEZ INGENIERA CIVIL CIP N° 356079																																																																																																
NOMBRES: RONALD J. CHIHUAN QUISPE		NOMBRES: STEVEN A. OCHOA CARBAJAL		NOMBRES: Keily Esthelfany Aquino Gonzalez																																																																																																
FECHA: 09/04/2025		FECHA: 09/04/2025		FECHA: 09/04/2025																																																																																																

## ANEXO 11: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL PET TRITURADO COMO AGREGADO FINO

LABORATORIO DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS - UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE TAYACAJA "UNAT"									
PROTOCOLO									
<b>ENSAYO :</b>	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PET COMO AGREGADO FINO								
<b>NORMA :</b>	NTP 400.012 / ASTM C136								
<b>PROYECTO :</b>	INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO PARA EVALUAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y FÍSICAS DEL CONCRETO EN CONDICIONES DE LABORATORIO - UNAT								
UBICACION :		TIPO DE MATERIAL :	AGREGADO						
FECHA DE MUESTREO :	10/04/2025	RESPONSABLE :	RUTH KARINA CANCHARI VILA						
FECHA DE ENSAYO :	10/04/2025	REVISADO POR :	MAG. RONALD JULIAN CHIHUAN QUISPE						
PESO INICIAL DE MUESTRA	500 gr								

N°	TAMIZ		PESO RETENIDO (gr)	% Retenido		% Que pasa		
	(pulgadas)	Aber. (mm)		% RETENIDO (%)	% RETENIDO ACUMULADO (%)	ARENA	Especificaciones (NTP 400.037-2018)	
							Lim. Sup	Lim. Inf
1	3/8"	9.50	0	0.00	0.00	100	100	100
2	N° 4	4.75	6.1	1.22	1.22	99	95	100
3	N° 8	2.36	382.7	76.62	77.84	22	80	100
4	N° 16	1.18	93.5	18.72	96.55	3	50	85
5	N° 30	0.60	13.2	2.64	99.20	1	25	60
6	N° 50	0.30	3.2	0.64	99.84	0	5	30
7	N° 100	0.15	0.6	0.12	99.96	0	0	10
8	N° 200	0.08	0.2	0.04	100.00	0	0	3
9	FONDO	0.00	0.01	0.00	100.00	0		
<b>TOTAL</b>			<b>499.51</b>	<b>100.00</b>				

Modulo de fineza:	<b>4.7</b>
-------------------	------------

### CURVA GRANULOMÉTRICA DE PET TRITURADO



- - - Límite Superior
- - - Límite Inferior
—●— Curva de PET triturado

OBSERVACIONES:

PROFESIONAL 1	PROFESIONAL 2	PROFESIONAL 3
 NOMBRES: <b>RENALDO J. CHIHUAN QUISPE</b>	  NOMBRES: <b>STEVEN A. OCHOA CARBAJAL</b> <small>CIP N° 369090</small>	  NOMBRES: <b>Kerly Esthela Aguirre Gonzalez</b> <small>CIP N° 386079</small>
FECHA : 10/04/2025	FECHA : 10/04/2025	FECHA : 10/04/2025

ANEXO 12: PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO DE PET TRITURADO

 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE TAYACAJA</p>	<b>LABORATORIO DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS - UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE TAYACAJA "UNAT"</b>			
	<b>PROTOCOLO</b>			
	ENSAYO :	PESO UNITARIO DEL PET		
	NORMA :	NTP 400.017 / ASTM C29		
PROYECTO :	INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO PARA EVALUAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y FÍSICAS DEL CONCRETO EN CONDICIONES DE LABORATORIO - UNAT			
UBICACION :		TIPO DE MATERIAL :	AGREGADO	
FECHA DE MUESTREO :	11-04/2025	RESPONSABLE :	RUTH KARINA CANCHARI VILA	
FECHA DE ENSAYO :	11-04/2025	REVISADO POR :	MAG. RONALD JULIAN CIBHUAN QUISPE	

PESO UNITARIO SUELTO (PUS) - PET TRITURADO					
Nº	DESCRIPCIÓN	UND	T-1	T-2	T-3
1	Peso del recipiente metalico (A)	kg	2.73	2.73	2.73
2	Peso del recipiente metalico + muestra (B)	kg	3.65	3.69	3.66
3	Peso de la muestra (B-A)	kg	0.92	0.96	0.93
4	Volumen de recipiente metalico(C)	m <sup>3</sup>	0.0027	0.0027	0.0027
5	PESO UNITARIO SUELTO (B-A)/C	kg/m <sup>3</sup>	337.99	352.68	341.66
6	<b>PROMEDIO DE PESO UNITARIO SUELTO</b>	kg/m <sup>3</sup>	344.11		

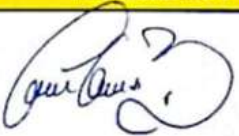
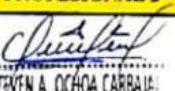

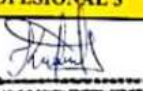

  

PESO UNITARIO COMPACTADO (PUC) - PET TRITURADO					
Nº	DESCRIPCIÓN	UND	T-1	T-2	T-3
1	Peso del recipiente metalico (A)	kg	2.73	2.73	2.73
2	Peso del recipiente metalico+ muestra (B)	kg	3.85	3.85	3.86
3	Peso de la muestra (B-A)	kg	1.12	1.12	1.13
4	Volumen de recipiente metalico (C)	m <sup>3</sup>	0.0027	0.0027	0.0027
5	PESO UNITARIO COMPACTADO (B-A)/C	kg/m <sup>3</sup>	411.46	411.46	415.14
6	<b>PROMEDIO DE PESO UNITARIO COMPACTADO</b>	kg/m <sup>3</sup>	412.69		

OBSERVACIONES:

PROFESIONAL 1	PROFESIONAL 2	PROFESIONAL 3
	  STEVEN A. OCHOA CARBAJAL INGENIERO CIVIL (IP N° 369090)	  KERLY ESTHELA AGUINO CONDE INGENIERA CIVIL (IP N° 369170)
NOMBRES: RONALD J. CIBHUAN QUISPE	NOMBRES: STEVEN A. OCHOA CARBAJAL	NOMBRES: Kerly Esthela Aguino Conde
FECHA: 11/04/2025	FECHA: 11/04/2025	FECHA: 11/04/2025

## ANEXO 13: DISEÑO DE MEZCLA F'C: 210 kg/cm<sup>2</sup> (PATRÓN)

DISEÑO DE MEZCLA METODO ACI 211 - PARA UNA RESISTENCIA DE 210 kg/cm<sup>2</sup>

DATOS GENERALES		
Resistencia del concreto:	210	kg/cm <sup>2</sup>

DATOS DEL CEMENTO		
Marca y Tipo:	Andino Tipo I	
Peso por bolsa:	42.5	kg
Peso específico:	3.15	gr/cm <sup>3</sup>

DATOS DEL AGREGADO		
Característica	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO
Modulo de fineza:	-	3.1
Tamaño máximo nominal (plg.):	1"	-
Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> ):	1461.65	1738.92
Peso Unitario Compactado (kg/m <sup>3</sup> ):	1536.99	1814.85
Contenido de humedad (%):	0.44	4.33
Absorción (%):	0.89	1.60
Peso específico (gr/cm <sup>3</sup> ):	2.27	2.66

### 1. RESISTENCIA A LA COMPRESION REQUERIDA

f <sub>c</sub> =	210	kg/cm <sup>2</sup>
Dat=	84	
f <sub>cr</sub> =	294	kg/cm <sup>2</sup>

### 2. SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

Asentamiento:	4"	max
Consistencia:	Plastica	

### 3. CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO

Tamaño maximo nominal(TMN):	1"	
Aire atrapado:	1.5	%

### 4. SELECCIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA

Agua (a):	193	lt
-----------	-----	----

### 5. RELACIONES DE AGUA/CEMENTO (A/C)

f <sub>cr</sub> =	294	kg/cm <sup>2</sup>
-------------------	-----	--------------------

*Sin aire incorporado*

Relacion a/c=	0.558	
---------------	-------	--

*Interpolacion:*

f <sub>cr</sub>	a/c	
300	0.55	}
294	X	
250	0.62	
X=	0.558	

### 6. PESO DEL CEMENTO

Cemento=	345.630	kg
----------	---------	----

#### 6.1. FACTOR DE CEMENTO

F <sub>Ccm</sub> =	8.13	bolsas
--------------------	------	--------

### 7. VOLUMEN DEL AGREGADO GRUESO

$$Vol_{Ag.G} = 0.640$$

#### 7.1. PESO TOTAL DEL AGREGADO GRUESO

$$Peso\ total\ del\ Ag.G = 983.674\ kg$$

### 8. VOLUMEN ABSOLUTO DE LOS MATERIALES PARA EL CONCRETO

#### 8.1. VOLUMEN ABSOLUTO DEL CEMENTO

$$Vol\ abs\ cemento = 0.110\ m^3$$

#### 8.2. VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO GRUESO

$$Vol\ abs\ Ag.G = 0.434\ m^3$$

#### 8.3. VOLUMEN ABSOLUTO DE AGUA

$$Vol\ abs\ agua = 0.193\ m^3$$

#### 8.4. VOLUMEN ABSOLUTO DE AIRE ATRAPADO

$$Vol\ abs\ aire = 0.015\ m^3$$

#### 8.5. VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO FINO

$$Sumatoria\ de\ volmenes\ absolutos = 0.751\ m^3$$

$$Por\ m^3\ de\ concreto = 1\ m^3$$

$$Vol\ abs\ Agr.F = 0.249\ m^3$$

### 9. PESO DEL AGREGADO FINO

$$Peso\ Agr.\ F = 660.666\ kg$$

### 10. CORRECCION DE LOS AGREGADOS

#### 10.1. POR HUMEDAD

##### 10.1.1. AGREGADO FINO

$$Corr.\ del\ Agr.\ F = 689.273\ kg$$

##### 10.1.2. AGREGADO GRUESO

$$Corr.\ del\ Agr.\ G = 988.002\ kg$$

#### 10.2. POR ABSORCION

##### 10.2.1. AGREGADO FINO

$$Corr.\ del\ Agr.\ F = 18.063\ kg$$

##### 10.2.2. AGREGADO GRUESO

$$Corr.\ del\ Agr.\ G = -4.387\ kg$$

$$Agua\ libre = 13.675\ lt$$

### 11. AGUA EFECTIVA

$$Agua\ efectiva = 179.325\ lt$$

### 12. CEMENTO EFECTIVA

$$Cemento\ efectiva = 321.140\ kg$$

### 13. PROPORCIONES

#### POR PESO

Cemento=	1
Agr. Fino=	1.99
Agr. Grueso=	2.86
Agua (R a/c)=	0.52

#### POR BOLSAS DE CEMENTO (42.5)

Cemento=	1	bls
Agr. Fino=	84.76	kg/bls
Agr. Grueso=	121.49	kg/bls
Agua=	22.05	lt/bls

## ANEXO 14: DISEÑO DE MEZCLA F'C: 210 kg/cm<sup>2</sup> con PET 3.5%

DISEÑO DE MEZCLA METODO ACI 211 PARA F'c= 210 kg/cm<sup>2</sup> +3.5% de PET

DATOS GENERALES		
Resistencia del concreto:	210	kg/cm <sup>2</sup>

DATOS DEL CEMENTO		
Marca y Tipo:	Andino Tipo I	
Peso por bolsa:	42.5	kg
Peso específico:	3.15	gr/cm <sup>3</sup>

DATOS DEL AGREGADO		
Característica	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO
Modulo de fineza	-	3.1
Tamaño máximo nominal (plg.)	1"	-
Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1461.65	1738.92
Peso Unitario Compactado (kg/m <sup>3</sup> )	1536.99	1814.85
Contenido de humedad (%)	0.44	4.33
Absorción (%)	0.886	1.596
Peso específico (gr/cm <sup>3</sup> )	2.268	2.658

DATOS DEL PET		
Peso específico=	1389	kg/m <sup>3</sup>

### 1. RESISTENCIA A LA COMPRESION REQUERIDA

f<sub>c</sub>= 210 kg/cm<sup>2</sup>  
 Dat= 84  
 f<sub>cr</sub>= 294 kg/cm<sup>2</sup>

### 2. SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

Asentamiento: 4" max  
 Consistencia: Plástica

### 3. CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO

Tamaño maximo nominal (TMN): 1"  
 Aire atrapado: 1.5 %

### 4. SELECCIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA

Agua (a): 193 lt

### 5. RELACIONES DE AGUA/CEMENTO (A/C)

f<sub>cr</sub>= 294 kg/cm<sup>2</sup>

*Sin aire incorporado*

Relacion a/c= 0.558

*Interpolacion:*

$$\left[ \begin{array}{cc} f_{cr} & a/c \\ 300 & 0.55 \\ 294 & X \\ 250 & 0.62 \end{array} \right]$$

X= 0.558

### 6. PESO DEL CEMENTO

Cemento= 345.630 kg

#### 6.1. FACTOR DE CEMENTO

F<sub>Cem</sub>= 8.13 bolsas

### 7. VOLUMEN DEL AGREGADO GRUESO

Vol.Ag.G= 0.640

#### 7.1. PESO TOTAL DEL AGREGADO GRUESO

Peso total del Ag.G= 983.674 kg

### 8. VOLUMEN ABSOLUTO DE LOS MATERIALES PARA EL CONCRETO

#### 8.1. VOLUMEN ABSOLUTO DEL CEMENTO

Vol abs cemento= 0.110 m<sup>3</sup>

#### 8.2. VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO GRUESO

Vol abs Ag.G= 0.434 m<sup>3</sup>

#### 8.3. VOLUMEN ABSOLUTO DE AGUA

Vol abs agua= 0.193 m<sup>3</sup>

#### 8.4. VOLUMEN ABSOLUTO DE AIRE ATRAPADO

Vol abs aire= 0.015 m<sup>3</sup>

#### 8.5. VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO FINO

Sumatoria de volúmenes absolutos= 0.751 m<sup>3</sup>

Por m<sup>3</sup> de concreto= 1 m<sup>3</sup>

Vol abs Agr.F= 0.249 m<sup>3</sup>

Peso del Agr. F sin %PET= 660.666 kg

Reemplazando el % PET en el agregado fino

Volumen abs Agr. F= 3.5%

Vol PET= 0.0087 m<sup>3</sup>

### 9. PESO DEL PET

Peso PET= 12.084 kg

### 10. NUEVO PESO DEL AGREGADO FINO

Peso del Agr. F= 637.543 kg

### 11. CORRECCION DE LOS AGREGADOS

#### 11.1. POR HUMEDAD

##### 11.1.1. AGREGADO FINO

Corr. del Agr. F= 665.148 kg

##### 11.1.2. AGREGADO GRUESO

Corr. del Agr. G= 988.002 kg

#### 11.2. POR ABSORCION

##### 11.2.1. AGREGADO FINO

Corr. del Agr. F= 17.430 kg

##### 11.2.2. AGREGADO GRUESO

Corr. del Agr. G= -4.387 kg

Agua libre= 13.043 lt

### 11. AGUA EFECTIVA

Agua efectiva= 179.957 lt

### 12. CEMENTO EFECTIVA

Cemento efectiva= 322.272 kg

### 13. PROPORCIONES

#### POR PESO

Cemento=	1
Agr. Fino=	1.92
Agr. Grueso=	2.86
Agua (R a/c)=	0.52
PET 3.5%=	0.03

#### POR BOLSAS DE CEMENTO (42.5)

Cemento=	1	bls
Agr. Fino=	81.79	kg/bls
Agr. Grueso=	121.49	kg/bls
Agua=	22.13	lt/bls
PET 3.5%=	1.49	kg/bls

## ANEXO 15: DISEÑO DE MEZCLA F'C: 210 kg/cm<sup>2</sup> con PET 4.5%

### DISEÑO DE MEZCLA POR METODO ACI 211 PARA F'c= 210 kg/cm<sup>2</sup> +4.5% de PET

DATOS GENERALES		
Resistencia del concreto:	210	kg/cm <sup>2</sup>

DATOS DEL CEMENTO		
Marca y Tipo:	Andino Tipo I	
Peso por bolsa:	42.5	kg
Peso específico:	3.15	gr/cm <sup>3</sup>

DATOS DEL AGREGADO		
Característica	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO
Modulo de fineza	-	3.1
Tamaño máximo nominal (plg)	1"	-
Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1461.65	1738.92
Peso Unitario Compactado (kg/m <sup>3</sup> )	1536.99	1814.85
Contenido de humedad (%)	0.44	4.33
Absorción (%)	0.886	1.596
Peso específico (gr/cm <sup>3</sup> )	2.268	2.658

DATOS DEL PET		
Peso específico=	1389	kg/m <sup>3</sup>

#### 1. RESISTENCIA A LA COMPRESION REQUERIDA (f'cr)

f'c=	210	kg/cm <sup>2</sup>
Dat=	84	
f'cr=210+fs	294	kg/cm <sup>2</sup>

#### 2. SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

Asentamiento:	4"	max
Consistencia:	Plastica	

#### 3. CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO

Tamaño maximo nominal (TMN):	1"	
Aire atrapado:	1.5	%

#### 4. SELECCIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA

Agua (a):	193	lt
-----------	-----	----

#### 5. RELACIONES DE AGUA/CEMENTO (A/C)

f'cr=	294	kg/cm <sup>2</sup>
-------	-----	--------------------

<i>Sin aire incorporado</i>		
Relacion a/c=	0.558	

#### Interpolacion:

f'cr	a/c
300	0.55
294	X
250	0.62
X=	0.558

#### 6. PESO DEL CEMENTO

Cemento=	345.630	kg
----------	---------	----

#### 6.1. FACTOR DE CEMENTO

F <sub>Cem</sub> =	8.13	bolsas
--------------------	------	--------

#### 7. VOLUMEN DEL AGREGADO GRUESO

Factor. Agr.Gr=	0.640
-----------------	-------

#### 7.1. PESO TOTAL DEL AGREGADO GRUESO

Peso total del Ag.G	983.674	kg
---------------------	---------	----

#### 8. VOLUMEN ABSOLUTO DE LOS MATERIALES PARA EL CONCRETO

##### 8.1. VOLUMEN ABSOLUTO DEL CEMENTO

Vol abs cemento=	0.110	m <sup>3</sup>
------------------	-------	----------------

##### 8.2. VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO GRUESO

Vol abs Ag.G=	0.434	m <sup>3</sup>
---------------	-------	----------------

##### 8.3. VOLUMEN ABSOLUTO DE AGUA

Vol abs agua=	0.193	m <sup>3</sup>
---------------	-------	----------------

##### 8.4. VOLUMEN ABSOLUTO DE AIRE ATRAPADO

Vol abs aire=	0.015	m <sup>3</sup>
---------------	-------	----------------

##### 8.5. VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO FINO

Sumatoria de volúmenes absolutos=	0.751	m <sup>3</sup>
-----------------------------------	-------	----------------

Por m <sup>3</sup> de concrete	1	m <sup>3</sup>
--------------------------------	---	----------------

Vol abs Agr.F=	0.249	m <sup>3</sup>
----------------	-------	----------------

Peso del Agr. F sin %PET=	660.666	kg
---------------------------	---------	----

#### Reemplazando el % PET en el agregado fino

Volumen abs Agr. F=	4.5%
---------------------	------

Vol PET=	0.0112	m <sup>3</sup>
----------	--------	----------------

#### 9. PESO DEL PET

Peso PET=	15.536	kg
-----------	--------	----

#### 10. NUEVO PESO DEL AGREGADO FINO

Peso del Agr. F=	630.936	kg
------------------	---------	----

#### 11. CORRECCION DE LOS AGREGADOS

##### 11.1. POR HUMEDAD

##### 11.1.1. AGREGADO FINO

Corr. del Agr. F=	658.256	kg
-------------------	---------	----

##### 11.1.2. AGREGADO GRUESO

Corr. del Agr. G=	988.002	kg
-------------------	---------	----

##### 11.2. POR ABSORCION

##### 11.2.1. AGREGADO FINO

Corr. del Agr. F=	17.250	kg
-------------------	--------	----

##### 11.2.2. AGREGADO GRUESO

Corr. del Agr. G=	-4.387	kg
-------------------	--------	----

Agua libre=	12.863	lt
-------------	--------	----

#### 11. AGUA EFECTIVA

Agua efectiva=	180.137	lt
----------------	---------	----

#### 12. CEMENTO EFECTIVA

Cemento efectiva=	322.596	kg
-------------------	---------	----

#### 13. PROPORCIONES

##### POR PESO

Cemento=	1
Agr. Fino=	1.90
Agr. Grueso=	2.86
Agua (R a/c)=	0.52
PET 4.5%=	0.04

##### POR BOLSAS DE CEMENTO (42.5)

Cemento=	1	bls
Agr. Fino=	80.94	kg/bls
Agr. Grueso=	121.49	kg/bls
Agua=	22.15	lt/bls
PET 4.5%=	1.91	kg/bls

## ANEXO 16: DISEÑO DE MEZCLA F'C: 210 kg/cm<sup>2</sup> con PET 5.5%

**DISEÑO DE MEZCLA POR METODO ACI 211 PARA F'c= 210 kg/cm<sup>2</sup> + 5.5% de PET**

DATOS GENERALES		
Resistencia del concreto:	210	kg/cm <sup>2</sup>

DATOS DEL CEMENTO		
Marca y Tipo:	Andino Tipo I	
Peso por bolsa:	42.5	kg
Peso específico:	3.15	gr/cm <sup>3</sup>

DATOS DEL AGREGADO		
Característica	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO
Modulo de fineza	-	3.1
Tamaño máximo nominal (plg)	1"	-
Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1461.65	1738.92
Peso Unitario Compactado (kg/m <sup>3</sup> )	1536.99	1814.85
Contenido de humedad (%)	0.44	4.33
Absorción (%)	0.886	1.596
Peso específico (gr/cm <sup>3</sup> )	2.268	2.658

DATOS DEL PET		
Peso específico=	1389	kg/m <sup>3</sup>

### 1. RESISTENCIA A LA COMPRESION REQUERIDA

f'c= 210 kg/cm<sup>2</sup>  
 Dat= 84  
 f'cr= 294 kg/cm<sup>2</sup>

### 2. SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

Asentamiento: 4" max  
 Consistencia: Plastica

### 3. CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO

Tamaño máximo nominal (TMN): 1"  
 Aire atrapado: 1.5 %

### 4. SELECCIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA

Agua (a): 193 lt

### 5. RELACIONES DE AGUA/CEMENTO (A/C)

f'cr= 294 kg/cm<sup>2</sup>

*Sin aire incorporado*

Relacion a/c= 0.558

*Interpolacion:*

{	f'cr	a/c	}
	300	0.55	
	294	X	
	250	0.62	
	X=	0.558	

### 6. PESO DEL CEMENTO

Cemento= 345.630 kg

#### 6.1. FACTOR DE CEMENTO

F<sub>cm</sub>= 8.13 bolsas

### 7. VOLUMEN DEL AGREGADO GRUESO

Vol. Ag. G= 0.640

#### 7.1. PESO TOTAL DEL AGREGADO GRUESO

Peso total del Ag. G= 983.674 kg

### 8. VOLUMEN ABSOLUTO DE LOS MATERIALES PARA EL CONCRETO

#### 8.1. VOLUMEN ABSOLUTO DEL CEMENTO

Vol abs cemento= 0.110 m<sup>3</sup>

#### 8.2. VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO GRUESO

Vol abs Ag. G= 0.434 m<sup>3</sup>

#### 8.3. VOLUMEN ABSOLUTO DE AGUA

Vol abs agua= 0.193 m<sup>3</sup>

#### 8.4. VOLUMEN ABSOLUTO DE AIRE ATRAPADO

Vol abs aire= 0.015 m<sup>3</sup>

#### 8.5. VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO FINO

Sumatoria de volúmenes absolutos= 0.751 m<sup>3</sup>

Por m<sup>3</sup> de concreto 1 m<sup>3</sup>

Vol abs Agr. F= 0.249 m<sup>3</sup>

Peso del Agr. F sin %PET= 660.666 kg

Reemplazando el % PET en el agregado fino

Volumen abs Agr. F= 5.5%

Vol PET= 0.0137 m<sup>3</sup>

### 9. PESO DEL PET

Peso PET= 18.989 kg

### 10. NUEVO PESO DEL AGREGADO FINO

Peso del Agr. F= 624.329 kg

### 11. CORRECCION DE LOS AGREGADOS

#### 11.1. POR HUMEDAD

##### 11.1.1. AGREGADO FINO

Corr. del Agr. F= 651.363 kg

##### 11.1.2. AGREGADO GRUESO

Corr. del Agr. G= 988.002 kg

#### 11.2. POR ABSORCION

##### 11.2.1. AGREGADO FINO

Corr. del Agr. F= 17.069 kg

##### 11.2.2. AGREGADO GRUESO

Corr. del Agr. G= -4.387 kg

Agua libre= 12.682 lt

### 11. AGUA EFECTIVA

Agua efectiva= 180.318 lt

### 12. CEMENTO EFECTIVA

Cemento efectiva= 322.919 kg

### 13. PROPORCIONES

#### POR PESO



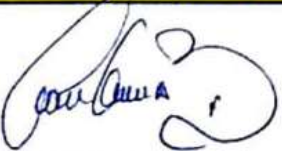
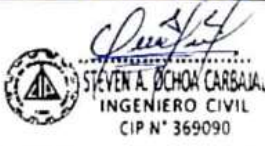

Cemento=	1
Agr. Fino=	1.88
Agr. Grueso=	2.86
Agua (R a/c)=	0.52
PET 5.5%=	0.05

#### POR BOLSAS DE CEMENTO (42.5)


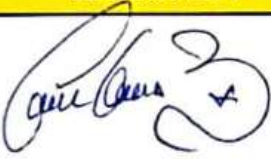


Cemento=	1	bls
Agr. Fino=	80.09	kg/bls
Agr. Grueso=	121.49	kg/bls
Agua=	22.17	lt/bls
PET 5.5%=	2.33	kg/bls

## ANEXO 17: PROPIEDADES FÍSICAS DEL CONCRETO FRESCO

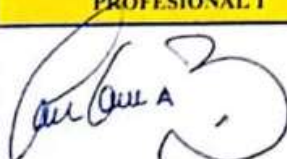
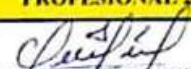



### ✚ ASENTAMIENTO

LABORATORIO DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS - UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE TAYACAJA "UNAT"																																													
	<b>ENSAYO:</b>	Hormigón (CONCRETO). Metodo de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland																																											
	<b>REFERENCIA:</b>	NTP.339.035:2015																																											
	<b>PROYECTO:</b>	INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO PARA EVALUAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y FÍSICAS DEL CONCRETO EN CONDICIONES DE LABORATORIO - UNAT																																											
<b>INICIO DE ENSAYO:</b>	Lunes, 05 de mayo del 2025	<b>RESPONSABLE:</b>	Ruth Karina Canchari Vila																																										
<b>FIN DE ENSAYO:</b>	Lunes, 05 de junio del 2025	<b>REVISADO POR:</b>	Mg. Ronald Julian Chihuan Quispe																																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Diseño</th> <th rowspan="2">IDENTIFICACIÓN</th> <th>Diseño</th> <th>Fecha de</th> <th colspan="2">Asentamiento</th> </tr> <tr> <th>f'c</th> <th>vaciado</th> <th>(Pulg)</th> <th>(cm)</th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th>(kg/cm2)</th> <th>(Días)</th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DM-01</td> <td>f'c=210 kg/cm2</td> <td>210</td> <td>05/05/2025</td> <td>3.1</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>DM-02</td> <td>PET3.5%-f'c=210 kg/cm2</td> <td>210</td> <td>05/05/2025</td> <td>2.6</td> <td>6.7</td> </tr> <tr> <td>DM-03</td> <td>PET4.5%-f'c=210 kg/cm2</td> <td>210</td> <td>05/05/2025</td> <td>2.4</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>DM-04</td> <td>PET5.5%-f'c=210 kg/cm2</td> <td>210</td> <td>05/05/2025</td> <td>2.2</td> <td>5.5</td> </tr> </tbody> </table>						Diseño	IDENTIFICACIÓN	Diseño	Fecha de	Asentamiento		f'c	vaciado	(Pulg)	(cm)			(kg/cm2)	(Días)			DM-01	f'c=210 kg/cm2	210	05/05/2025	3.1	8	DM-02	PET3.5%-f'c=210 kg/cm2	210	05/05/2025	2.6	6.7	DM-03	PET4.5%-f'c=210 kg/cm2	210	05/05/2025	2.4	6	DM-04	PET5.5%-f'c=210 kg/cm2	210	05/05/2025	2.2	5.5
Diseño	IDENTIFICACIÓN	Diseño	Fecha de	Asentamiento																																									
		f'c	vaciado	(Pulg)	(cm)																																								
		(kg/cm2)	(Días)																																										
DM-01	f'c=210 kg/cm2	210	05/05/2025	3.1	8																																								
DM-02	PET3.5%-f'c=210 kg/cm2	210	05/05/2025	2.6	6.7																																								
DM-03	PET4.5%-f'c=210 kg/cm2	210	05/05/2025	2.4	6																																								
DM-04	PET5.5%-f'c=210 kg/cm2	210	05/05/2025	2.2	5.5																																								
<b>OBSERVACIONES:</b>																																													
<b>PROFESIONAL 1</b>		<b>PROFESIONAL 2</b>		<b>PROFESIONAL 3</b>																																									
																																													
<b>NOMBRES:</b> RONALDO J. CHIHUAN QUISPE		<b>NOMBRES:</b> STEVEN A. OCHOA CARBAJAL		<b>NOMBRES:</b> Kerly Esthler Pany Aquino Gonzalez																																									
<b>FECHA:</b>	05/05/2025	<b>FECHA:</b>	05/05/2025	<b>FECHA:</b>	05/05/2025																																								

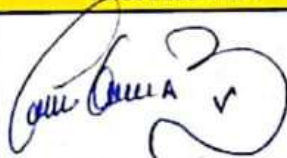
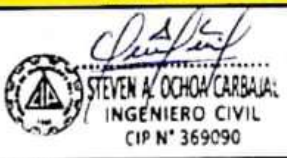

TEMPERATURA

LABORATORIO DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS - UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE TAYACAJA "UNAT"																																			
	<b>ENSAYO:</b>	CONCRETO. Metodo de ensayo normalizado para determinar la temperatura de mezcla de hormigón																																	
	<b>REFERENCIA:</b>	NTP.339.184																																	
	<b>PROYECTO:</b>	INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO PARA EVALUAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y FÍSICAS DEL CONCRETO EN CONDICIONES DE LABORATORIO - UNAT																																	
<b>INICIO DE ENSAYO:</b>	Lunes, 05 de mayo del 2025	<b>RESPONSABLE:</b>	Ruth Karina Canchari Vila																																
<b>FIN DE ENSAYO:</b>	Lunes, 05 de junio del 2025	<b>REVISADO POR:</b>	Mg. Ronald Julian Chihuan Quispe																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Diseño</th> <th rowspan="2">IDENTIFICACIÓN</th> <th>Diseño</th> <th>Fecha de</th> <th rowspan="2">Temperatura</th> </tr> <tr> <th>f'c</th> <th>vaciado</th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th>(kg/cm2)</th> <th>(Dias)</th> <th>( C° )</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DM-01</td> <td>f'c=210 kg/cm2</td> <td>210</td> <td>05/05/2025</td> <td>16.4</td> </tr> <tr> <td>DM-02</td> <td>PET3.5%-f'c=210 kg/cm2</td> <td>210</td> <td>05/05/2025</td> <td>16.4</td> </tr> <tr> <td>DM-03</td> <td>PET4.5%-f'c=210 kg/cm2</td> <td>210</td> <td>05/05/2025</td> <td>16.4</td> </tr> <tr> <td>DM-04</td> <td>PET5.5%-f'c=210 kg/cm2</td> <td>210</td> <td>05/05/2025</td> <td>16.4</td> </tr> </tbody> </table>				Diseño	IDENTIFICACIÓN	Diseño	Fecha de	Temperatura	f'c	vaciado			(kg/cm2)	(Dias)	( C° )	DM-01	f'c=210 kg/cm2	210	05/05/2025	16.4	DM-02	PET3.5%-f'c=210 kg/cm2	210	05/05/2025	16.4	DM-03	PET4.5%-f'c=210 kg/cm2	210	05/05/2025	16.4	DM-04	PET5.5%-f'c=210 kg/cm2	210	05/05/2025	16.4
Diseño	IDENTIFICACIÓN	Diseño	Fecha de			Temperatura																													
		f'c	vaciado																																
		(kg/cm2)	(Dias)	( C° )																															
DM-01	f'c=210 kg/cm2	210	05/05/2025	16.4																															
DM-02	PET3.5%-f'c=210 kg/cm2	210	05/05/2025	16.4																															
DM-03	PET4.5%-f'c=210 kg/cm2	210	05/05/2025	16.4																															
DM-04	PET5.5%-f'c=210 kg/cm2	210	05/05/2025	16.4																															
OBSERVACIONES:																																			
PROFESIONAL 1		PROFESIONAL 2		PROFESIONAL 3																															
		 STEVEN A. OCHOA CARBALLA INGENIERO CIVIL CIP N° 369090		 KARLY ESTHERY AQUINO CORALES INGENIERA CIVIL CIP N° 356079																															
NOMBRES: RONALDO J. CHIHUAN QUISPE		NOMBRES: STEVEN A. OCHOA CARBALLA		NOMBRES: Karly Esthery Aquino Corales																															
FECHA:	05/05/2025	FECHA:	05/05/2025	FECHA:	05/05/2025																														

✚ PESO UNITARIO

UNAT		LABORATORIO DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS - UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE TAYACAJA "UNAT"				UNAT																																	
UNAT		CONCRETO. Metodo de ensayo normalizado para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del concreto.				UNAT																																	
REFERENCIA:		NTP 319.046																																					
PROYECTO:		INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO PARA EVALUAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y FÍSICAS DEL CONCRETO EN CONDICIONES DE LABORATORIO - UNAT																																					
INICIO DE ENSAYO:		Lunes, 05 de mayo del 2025	RESPONSABLE:	Ruth Karina Canchari Vila																																			
FIN DE ENSAYO:		Lunes, 05 de junio del 2025	REVISADO POR:	Mg. Ronald Julian Chisuan Quispe																																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Diseño</th> <th rowspan="2">IDENTIFICACIÓN</th> <th>Diseño</th> <th>Fecha de</th> <th rowspan="2">DENSIDAD</th> </tr> <tr> <th>f'c</th> <th>vacado</th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th>(kg/cm2)</th> <th>(Días)</th> <th>( kg/m3 )</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DM-01</td> <td>f'c=210 kg/cm2</td> <td>210</td> <td>05/05/2025</td> <td>2445</td> </tr> <tr> <td>DM-02</td> <td>PET3.5%-f'c=210 kg/cm2</td> <td>210</td> <td>05/05/2025</td> <td>2465</td> </tr> <tr> <td>DM-03</td> <td>PET4.5%-f'c=210 kg/cm2</td> <td>210</td> <td>05/05/2025</td> <td>2372</td> </tr> <tr> <td>DM-04</td> <td>PET5.5%-f'c=210 kg/cm2</td> <td>210</td> <td>05/05/2025</td> <td>2332</td> </tr> </tbody> </table>								Diseño	IDENTIFICACIÓN	Diseño	Fecha de	DENSIDAD	f'c	vacado			(kg/cm2)	(Días)	( kg/m3 )	DM-01	f'c=210 kg/cm2	210	05/05/2025	2445	DM-02	PET3.5%-f'c=210 kg/cm2	210	05/05/2025	2465	DM-03	PET4.5%-f'c=210 kg/cm2	210	05/05/2025	2372	DM-04	PET5.5%-f'c=210 kg/cm2	210	05/05/2025	2332
Diseño	IDENTIFICACIÓN	Diseño	Fecha de	DENSIDAD																																			
		f'c	vacado																																				
		(kg/cm2)	(Días)	( kg/m3 )																																			
DM-01	f'c=210 kg/cm2	210	05/05/2025	2445																																			
DM-02	PET3.5%-f'c=210 kg/cm2	210	05/05/2025	2465																																			
DM-03	PET4.5%-f'c=210 kg/cm2	210	05/05/2025	2372																																			
DM-04	PET5.5%-f'c=210 kg/cm2	210	05/05/2025	2332																																			
OBSERVACIONES:																																							
PROFESIONAL 1		PROFESIONAL 2			PROFESIONAL 3																																		
		  STEVEN A. OCHOA CARBAJAL INGENIERO CIVIL CIP N° 369077			  KERY ESTHELFANY AQUINO GONZALEZ INGENIERA CIVIL CIP N° 369077																																		
NOMBRES:		NOMBRES:			NOMBRES:																																		
RICARDO J. CHISUAN QUISPE		STEVEN A. OCHOA CARBAJAL			Kerly Esthelfany Aquino Gonzalez																																		
FECHA:	05/05/2025	FECHA:	05/05/2025	FECHA:	05/05/2025																																		

CONTENIDO DE AIRE

UNAT		LABORATORIO DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS - UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE TAYACAJA "UNAT"		UNAT																																	
ENSAYO:	CONCRETO, Metodo de ensayo normalizado para la determinación del contenido de aire en el concreto fresco. Metodo de presión.																																				
REFERENCIA:	NTP.339.080																																				
PROYECTO:	INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO PARA EVALUAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y FÍSICAS DEL CONCRETO EN CONDICIONES DE LABORATORIO - UNAT																																				
INICIO DE ENSAYO:	Lunes, 05 de mayo del 2025	RESPONSABLE:	Ruth Karina Canchari Vila																																		
FIN DE ENSAYO:	Lunes, 05 de junio del 2025	REVISADO POR:	Mg. Ronald Julian Chhuan Quispe																																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Diseño</th> <th rowspan="2">IDENTIFICACIÓN</th> <th>Diseño</th> <th>Fecha de</th> <th rowspan="2">Contenido de aire</th> </tr> <tr> <th>f'c</th> <th>vaciado</th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th>(kg/cm2)</th> <th>(Días)</th> <th>( % )</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DM-01</td> <td>f'c=210 kg/cm2</td> <td>210</td> <td>05/05/2025</td> <td>0.9</td> </tr> <tr> <td>DM-02</td> <td>PET3.5%-f'c=210 kg/cm2</td> <td>210</td> <td>05/05/2025</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>DM-03</td> <td>PET4.5%-f'c=210 kg/cm2</td> <td>210</td> <td>05/05/2025</td> <td>1.1</td> </tr> <tr> <td>DM-04</td> <td>PET5.5%-f'c=210 kg/cm2</td> <td>210</td> <td>05/05/2025</td> <td>1.2</td> </tr> </tbody> </table>						Diseño	IDENTIFICACIÓN	Diseño	Fecha de	Contenido de aire	f'c	vaciado			(kg/cm2)	(Días)	( % )	DM-01	f'c=210 kg/cm2	210	05/05/2025	0.9	DM-02	PET3.5%-f'c=210 kg/cm2	210	05/05/2025	1	DM-03	PET4.5%-f'c=210 kg/cm2	210	05/05/2025	1.1	DM-04	PET5.5%-f'c=210 kg/cm2	210	05/05/2025	1.2
Diseño	IDENTIFICACIÓN	Diseño	Fecha de	Contenido de aire																																	
		f'c	vaciado																																		
		(kg/cm2)	(Días)	( % )																																	
DM-01	f'c=210 kg/cm2	210	05/05/2025	0.9																																	
DM-02	PET3.5%-f'c=210 kg/cm2	210	05/05/2025	1																																	
DM-03	PET4.5%-f'c=210 kg/cm2	210	05/05/2025	1.1																																	
DM-04	PET5.5%-f'c=210 kg/cm2	210	05/05/2025	1.2																																	
OBSERVACIONES:																																					
PROFESIONAL 1		PROFESIONAL 2		PROFESIONAL 3																																	
																																					
NOMBRES: RONALD J. CHHUAN QUISPE		NOMBRES: STEVEN A. OCHOA CARBAJAL		NOMBRES: KERLY ESTHEFANY AGUIRRE GONZALEZ																																	
FECHA:	05/05/2025	FECHA:	05/05/2025	FECHA:	05/05/2025																																



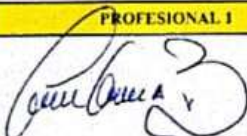


## ANEXO 18: PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO

### RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN



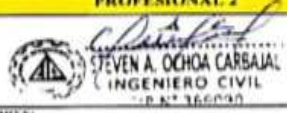
✚ F'c: 210 kg/cm<sup>2</sup> - PET0 (PATRÓN)

<b>LABORATORIO DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS - UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE TAYACAJA "UNAT"</b>																																																																																																																											
<b>ENSAYO:</b>	CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas.																																																																																																																										
<b>REFERENCIA:</b>	NTP 310.034.2015																																																																																																																										
<b>PROYECTO:</b>	INCORPORACIÓN DE PET REICLADO PARA EVALUAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y FÍSICAS DEL CONCRETO EN CONDICIONES DE LABORATORIO - UNAT																																																																																																																										
<b>INICIO DE ENSAYO:</b>	Lunes, 05 de mayo del 2025	<b>RESPONSABLE:</b>	Ruth Karina Canchari Vila																																																																																																																								
<b>FIN DE ENSAYO:</b>	Lunes, 02 de junio del 2025	<b>REVISADO POR:</b>	Mg. Ronald Julian Chihuan Quispe																																																																																																																								
<p><b>D.P 210 = Discoñ Patron 210 kg/cm<sup>2</sup></b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Muestra</th> <th>IDENTIFICACION</th> <th>Discoñ</th> <th>Fecha de vaciado</th> <th>Fecha de ensayo</th> <th>Edad</th> <th>Carga</th> <th>Diámetro</th> <th>Area</th> <th>Fc</th> <th>Promedio Fc</th> <th>Desviación estándar</th> </tr> <tr> <th>Nº</th> <th></th> <th>Fc</th> <th>(Días)</th> <th>(Días)</th> <th>(Días)</th> <th>(Kg)</th> <th>(cm)</th> <th>(cm<sup>2</sup>)</th> <th>(kg/cm<sup>2</sup>)</th> <th>(kg/cm<sup>2</sup>)</th> <th>(%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>01</td> <td>Testigo 1 - D Patron 210</td> <td>210</td> <td>12/05/2025</td> <td>19/05/2025</td> <td>7</td> <td>45245.6</td> <td>15.2</td> <td>181.2</td> <td>249.7</td> <td rowspan="3">249.3</td> <td rowspan="3">0.46</td> </tr> <tr> <td>02</td> <td>Testigo 2 - D Patron 210</td> <td>210</td> <td>12/05/2025</td> <td>19/05/2025</td> <td>7</td> <td>44883.5</td> <td>15.2</td> <td>180.4</td> <td>248.8</td> </tr> <tr> <td>03</td> <td>Testigo 3 - D Patron 210</td> <td>210</td> <td>12/05/2025</td> <td>19/05/2025</td> <td>7</td> <td>45340.9</td> <td>15.2</td> <td>181.8</td> <td>249.4</td> </tr> <tr> <td>04</td> <td>Testigo 4 - D Patron 210</td> <td>210</td> <td>07/05/2025</td> <td>21/05/2025</td> <td>14</td> <td>62953.8</td> <td>15.2</td> <td>182.0</td> <td>345.9</td> <td rowspan="3">345.0</td> <td rowspan="3">2.71</td> </tr> <tr> <td>05</td> <td>Testigo 5 - D Patron 210</td> <td>210</td> <td>07/05/2025</td> <td>21/05/2025</td> <td>14</td> <td>61286.4</td> <td>15.1</td> <td>179.2</td> <td>342.0</td> </tr> <tr> <td>06</td> <td>Testigo 6 - D Patron 210</td> <td>210</td> <td>07/05/2025</td> <td>21/05/2025</td> <td>14</td> <td>62426.6</td> <td>15.1</td> <td>179.8</td> <td>347.2</td> </tr> <tr> <td>07</td> <td>Testigo 7 - D Patron 210</td> <td>210</td> <td>05/05/2025</td> <td>02/06/2025</td> <td>28</td> <td>66417.7</td> <td>15.2</td> <td>181.4</td> <td>366.2</td> <td rowspan="3">364.2</td> <td rowspan="3">1.79</td> </tr> <tr> <td>08</td> <td>Testigo 8 - D Patron 210</td> <td>210</td> <td>05/05/2025</td> <td>02/06/2025</td> <td>28</td> <td>65735.7</td> <td>15.2</td> <td>181.2</td> <td>362.7</td> </tr> <tr> <td>09</td> <td>Testigo 9 - D Patron 210</td> <td>210</td> <td>05/05/2025</td> <td>02/06/2025</td> <td>28</td> <td>65556.8</td> <td>15.2</td> <td>180.2</td> <td>363.8</td> </tr> </tbody> </table>				Muestra	IDENTIFICACION	Discoñ	Fecha de vaciado	Fecha de ensayo	Edad	Carga	Diámetro	Area	Fc	Promedio Fc	Desviación estándar	Nº		Fc	(Días)	(Días)	(Días)	(Kg)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )	(%)	01	Testigo 1 - D Patron 210	210	12/05/2025	19/05/2025	7	45245.6	15.2	181.2	249.7	249.3	0.46	02	Testigo 2 - D Patron 210	210	12/05/2025	19/05/2025	7	44883.5	15.2	180.4	248.8	03	Testigo 3 - D Patron 210	210	12/05/2025	19/05/2025	7	45340.9	15.2	181.8	249.4	04	Testigo 4 - D Patron 210	210	07/05/2025	21/05/2025	14	62953.8	15.2	182.0	345.9	345.0	2.71	05	Testigo 5 - D Patron 210	210	07/05/2025	21/05/2025	14	61286.4	15.1	179.2	342.0	06	Testigo 6 - D Patron 210	210	07/05/2025	21/05/2025	14	62426.6	15.1	179.8	347.2	07	Testigo 7 - D Patron 210	210	05/05/2025	02/06/2025	28	66417.7	15.2	181.4	366.2	364.2	1.79	08	Testigo 8 - D Patron 210	210	05/05/2025	02/06/2025	28	65735.7	15.2	181.2	362.7	09	Testigo 9 - D Patron 210	210	05/05/2025	02/06/2025	28	65556.8	15.2	180.2	363.8
Muestra	IDENTIFICACION	Discoñ	Fecha de vaciado	Fecha de ensayo	Edad	Carga	Diámetro	Area	Fc	Promedio Fc	Desviación estándar																																																																																																																
Nº		Fc	(Días)	(Días)	(Días)	(Kg)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )	(%)																																																																																																																
01	Testigo 1 - D Patron 210	210	12/05/2025	19/05/2025	7	45245.6	15.2	181.2	249.7	249.3	0.46																																																																																																																
02	Testigo 2 - D Patron 210	210	12/05/2025	19/05/2025	7	44883.5	15.2	180.4	248.8																																																																																																																		
03	Testigo 3 - D Patron 210	210	12/05/2025	19/05/2025	7	45340.9	15.2	181.8	249.4																																																																																																																		
04	Testigo 4 - D Patron 210	210	07/05/2025	21/05/2025	14	62953.8	15.2	182.0	345.9	345.0	2.71																																																																																																																
05	Testigo 5 - D Patron 210	210	07/05/2025	21/05/2025	14	61286.4	15.1	179.2	342.0																																																																																																																		
06	Testigo 6 - D Patron 210	210	07/05/2025	21/05/2025	14	62426.6	15.1	179.8	347.2																																																																																																																		
07	Testigo 7 - D Patron 210	210	05/05/2025	02/06/2025	28	66417.7	15.2	181.4	366.2	364.2	1.79																																																																																																																
08	Testigo 8 - D Patron 210	210	05/05/2025	02/06/2025	28	65735.7	15.2	181.2	362.7																																																																																																																		
09	Testigo 9 - D Patron 210	210	05/05/2025	02/06/2025	28	65556.8	15.2	180.2	363.8																																																																																																																		
<b>OBSERVACIONES:</b>																																																																																																																											
<b>PROFESIONAL 1</b>		<b>PROFESIONAL 2</b>		<b>PROFESIONAL 3</b>																																																																																																																							
<b>NOMBRES:</b> RONALD J. CHIHUAN QUISPE		<b>NOMBRES:</b> STEVEN A. OCHOA CARBAJAL		<b>NOMBRES:</b> Kerly Esthefany Aquino Gonzalez																																																																																																																							
<b>FECHA:</b>	02/06/2025	<b>FECHA:</b>	02/06/2025	<b>FECHA:</b>	02/06/2025																																																																																																																						



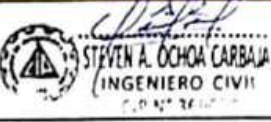

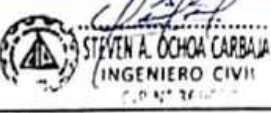


✚ F'c: 210 kg/cm<sup>2</sup> con PET 3.5%

LABORATORIO DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS - UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE TAYACAJA "UNAT"																																																																																																																							
		ENSAYO: CONCRETO Metodo de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas.																																																																																																																					
REFERENCIA:		NTP 319.034-2015																																																																																																																					
PROYECTO:		INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO PARA EVALUAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y FÍSICAS DEL CONCRETO EN CONDICIONES DE LABORATORIO - UNAT																																																																																																																					
INICIO DE ENSAYO:		Lunes, 05 de mayo del 2025				RESPONSABLE:		Ruth Karina Canchari Vila																																																																																																															
FIN DE ENSAYO:		Lunes, 02 de junio del 2025				REVISADO POR:		Mg. Ronald Julian Chihuan Quispe																																																																																																															
<p>M.P 3.5% PET = Diseño Patron 210 kg/cm<sup>2</sup> con 3.5%PET</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Muestra N°</th> <th>IDENTIFICACIÓN</th> <th>Diseño</th> <th>Fecha de vaciado (Días)</th> <th>Fecha de ensayo (Días)</th> <th>Edad (Días)</th> <th>Carga (Kg)</th> <th>Diámetro (mm)</th> <th>Área (cm<sup>2</sup>)</th> <th>Fc (Kg/cm<sup>2</sup>)</th> <th>Promedio Fc (Kg/cm<sup>2</sup>)</th> <th>Desviación estándar (σ)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>01</td> <td>Testigo 1 - M.P 3.5%PET</td> <td>210</td> <td>12/05/2025</td> <td>19/05/2025</td> <td>7</td> <td>47877.1</td> <td>15.2</td> <td>180.6</td> <td>265.10</td> <td rowspan="3">264.3</td> <td rowspan="3">0.80</td> </tr> <tr> <td>02</td> <td>Testigo 2 - M.P 3.5%PET</td> <td>210</td> <td>12/05/2025</td> <td>19/05/2025</td> <td>7</td> <td>47298.3</td> <td>15.1</td> <td>179.5</td> <td>263.9</td> </tr> <tr> <td>03</td> <td>Testigo 3 - M.P 3.5%PET</td> <td>210</td> <td>12/05/2025</td> <td>19/05/2025</td> <td>7</td> <td>47688.1</td> <td>15.2</td> <td>180.5</td> <td>264.2</td> </tr> <tr> <td>04</td> <td>Testigo 4 - M.P 3.5%PET</td> <td>210</td> <td>07/05/2025</td> <td>21/05/2025</td> <td>14</td> <td>59125.6</td> <td>15.2</td> <td>181.2</td> <td>326.3</td> <td rowspan="3">328.7</td> <td rowspan="3">2.15</td> </tr> <tr> <td>05</td> <td>Testigo 5 - M.P 3.5%PET</td> <td>210</td> <td>07/05/2025</td> <td>21/05/2025</td> <td>14</td> <td>59390.9</td> <td>15.1</td> <td>179.7</td> <td>330.5</td> </tr> <tr> <td>06</td> <td>Testigo 6 - M.P 3.5%PET</td> <td>210</td> <td>07/05/2025</td> <td>21/05/2025</td> <td>14</td> <td>59453.5</td> <td>15.2</td> <td>180.6</td> <td>329.2</td> </tr> <tr> <td>07</td> <td>Testigo 7 - M.P 3.5%PET</td> <td>210</td> <td>05/05/2025</td> <td>02/06/2025</td> <td>28</td> <td>64239.6</td> <td>15.3</td> <td>183.3</td> <td>350.5</td> <td rowspan="3">353.2</td> <td rowspan="3">2.40</td> </tr> <tr> <td>08</td> <td>Testigo 8 - M.P 3.5%PET</td> <td>210</td> <td>05/05/2025</td> <td>02/06/2025</td> <td>28</td> <td>65644.9</td> <td>15.4</td> <td>185.5</td> <td>353.9</td> </tr> <tr> <td>09</td> <td>Testigo 9 - M.P 3.5%PET</td> <td>210</td> <td>05/05/2025</td> <td>02/06/2025</td> <td>28</td> <td>64488.1</td> <td>15.2</td> <td>181.6</td> <td>355.1</td> </tr> </tbody> </table>												Muestra N°	IDENTIFICACIÓN	Diseño	Fecha de vaciado (Días)	Fecha de ensayo (Días)	Edad (Días)	Carga (Kg)	Diámetro (mm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Fc (Kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio Fc (Kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (σ)	01	Testigo 1 - M.P 3.5%PET	210	12/05/2025	19/05/2025	7	47877.1	15.2	180.6	265.10	264.3	0.80	02	Testigo 2 - M.P 3.5%PET	210	12/05/2025	19/05/2025	7	47298.3	15.1	179.5	263.9	03	Testigo 3 - M.P 3.5%PET	210	12/05/2025	19/05/2025	7	47688.1	15.2	180.5	264.2	04	Testigo 4 - M.P 3.5%PET	210	07/05/2025	21/05/2025	14	59125.6	15.2	181.2	326.3	328.7	2.15	05	Testigo 5 - M.P 3.5%PET	210	07/05/2025	21/05/2025	14	59390.9	15.1	179.7	330.5	06	Testigo 6 - M.P 3.5%PET	210	07/05/2025	21/05/2025	14	59453.5	15.2	180.6	329.2	07	Testigo 7 - M.P 3.5%PET	210	05/05/2025	02/06/2025	28	64239.6	15.3	183.3	350.5	353.2	2.40	08	Testigo 8 - M.P 3.5%PET	210	05/05/2025	02/06/2025	28	65644.9	15.4	185.5	353.9	09	Testigo 9 - M.P 3.5%PET	210	05/05/2025	02/06/2025	28	64488.1	15.2	181.6	355.1
Muestra N°	IDENTIFICACIÓN	Diseño	Fecha de vaciado (Días)	Fecha de ensayo (Días)	Edad (Días)	Carga (Kg)	Diámetro (mm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Fc (Kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio Fc (Kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (σ)																																																																																																												
01	Testigo 1 - M.P 3.5%PET	210	12/05/2025	19/05/2025	7	47877.1	15.2	180.6	265.10	264.3	0.80																																																																																																												
02	Testigo 2 - M.P 3.5%PET	210	12/05/2025	19/05/2025	7	47298.3	15.1	179.5	263.9																																																																																																														
03	Testigo 3 - M.P 3.5%PET	210	12/05/2025	19/05/2025	7	47688.1	15.2	180.5	264.2																																																																																																														
04	Testigo 4 - M.P 3.5%PET	210	07/05/2025	21/05/2025	14	59125.6	15.2	181.2	326.3	328.7	2.15																																																																																																												
05	Testigo 5 - M.P 3.5%PET	210	07/05/2025	21/05/2025	14	59390.9	15.1	179.7	330.5																																																																																																														
06	Testigo 6 - M.P 3.5%PET	210	07/05/2025	21/05/2025	14	59453.5	15.2	180.6	329.2																																																																																																														
07	Testigo 7 - M.P 3.5%PET	210	05/05/2025	02/06/2025	28	64239.6	15.3	183.3	350.5	353.2	2.40																																																																																																												
08	Testigo 8 - M.P 3.5%PET	210	05/05/2025	02/06/2025	28	65644.9	15.4	185.5	353.9																																																																																																														
09	Testigo 9 - M.P 3.5%PET	210	05/05/2025	02/06/2025	28	64488.1	15.2	181.6	355.1																																																																																																														
OBSERVACIONES:																																																																																																																							
PROFESIONAL 1				PROFESIONAL 2				PROFESIONAL 3																																																																																																															
																																																																																																																							
NOMBRES: RONALDO J. CHIHUAN QUISPE				NOMBRES: STEVEN A. OCHOA CARBAL				NOMBRES: Keily Esthicy Aquino Gonzalez																																																																																																															
FECHA:		02/06/2025		FECHA:		02/06/2025		FECHA:		02/06/2025																																																																																																													

✚ F'c: 210 kg/cm<sup>2</sup> con PET 4.5%

LABORATORIO DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS - UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE TAYACAJA "UNAT"																																																																																																																																			
		ENSAYO: CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas.																																																																																																																																	
REFERENCIA:		NTP 339.034 2013																																																																																																																																	
PROYECTO:		INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO PARA EVALUAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y FÍSICAS DEL CONCRETO EN CONDICIONES DE LABORATORIO - UNAT																																																																																																																																	
INICIO DE ENSAYO:		Lunes, 05 de mayo del 2025				RESPONSABLE:		Ruth Karina Canchari Vila																																																																																																																											
FIN DE ENSAYO:		Lunes, 02 de junio del 2025				REVISADO POR:		Mg. Ronald Julian Chihuan Quispe																																																																																																																											
<p>M.P 4.5% PET = Diseño Patron 210 kg/cm<sup>2</sup> con 4.5%PET</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Muestra</th> <th>IDENTIFICACIÓN</th> <th>Diseño</th> <th>Fecha de variado</th> <th>Fecha de ensayo</th> <th>Edad</th> <th>Carga</th> <th>Diámetro</th> <th>Área</th> <th>Fc</th> <th>Promedio Fc</th> <th>Desviación estándar</th> </tr> <tr> <th>Nº</th> <th></th> <th>Fc</th> <th>(Días)</th> <th>(Días)</th> <th>(Días)</th> <th>(kgf)</th> <th>(cm)</th> <th>(cm<sup>2</sup>)</th> <th>(kg/cm<sup>2</sup>)</th> <th>(kg/cm<sup>2</sup>)</th> <th>(cm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>01</td> <td>Ensayo 1 - M.P 4.5%PET</td> <td>210</td> <td>12/05/2025</td> <td>19/05/2025</td> <td>7</td> <td>48923.8</td> <td>15.2</td> <td>181.2</td> <td>270.0</td> <td rowspan="3">269.6</td> <td rowspan="3">0.60</td> </tr> <tr> <td>02</td> <td>Ensayo 2 - M.P 4.5%PET</td> <td>210</td> <td>12/05/2025</td> <td>19/05/2025</td> <td>7</td> <td>48690.0</td> <td>15.2</td> <td>180.4</td> <td>269.9</td> </tr> <tr> <td>03</td> <td>Ensayo 3 - M.P 4.5%PET</td> <td>210</td> <td>12/05/2025</td> <td>19/05/2025</td> <td>7</td> <td>48889.7</td> <td>15.2</td> <td>181.8</td> <td>268.9</td> </tr> <tr> <td>04</td> <td>Ensayo 4 - M.P 4.5%PET</td> <td>210</td> <td>07/05/2025</td> <td>21/05/2025</td> <td>14</td> <td>59186.4</td> <td>15.2</td> <td>182.0</td> <td>325.2</td> <td rowspan="3">325.0</td> <td rowspan="3">0.20</td> </tr> <tr> <td>05</td> <td>Ensayo 5 - M.P 4.5%PET</td> <td>210</td> <td>07/05/2025</td> <td>21/05/2025</td> <td>14</td> <td>58240.0</td> <td>15.1</td> <td>179.2</td> <td>325.0</td> </tr> <tr> <td>06</td> <td>Ensayo 6 - M.P 4.5%PET</td> <td>210</td> <td>07/05/2025</td> <td>21/05/2025</td> <td>14</td> <td>58399.0</td> <td>15.1</td> <td>179.8</td> <td>324.8</td> </tr> <tr> <td>07</td> <td>Ensayo 7 - M.P 4.5%PET</td> <td>210</td> <td>05/05/2025</td> <td>02/06/2025</td> <td>28</td> <td>62717.3</td> <td>15.2</td> <td>181.4</td> <td>345.8</td> <td rowspan="3">347.7</td> <td rowspan="3">1.73</td> </tr> <tr> <td>08</td> <td>Ensayo 8 - M.P 4.5%PET</td> <td>210</td> <td>05/05/2025</td> <td>02/06/2025</td> <td>28</td> <td>63089.6</td> <td>15.2</td> <td>181.2</td> <td>348.1</td> </tr> <tr> <td>09</td> <td>Ensayo 9 - M.P 4.5%PET</td> <td>210</td> <td>05/05/2025</td> <td>02/06/2025</td> <td>28</td> <td>62935.8</td> <td>15.2</td> <td>180.2</td> <td>349.2</td> </tr> </tbody> </table>												Muestra	IDENTIFICACIÓN	Diseño	Fecha de variado	Fecha de ensayo	Edad	Carga	Diámetro	Área	Fc	Promedio Fc	Desviación estándar	Nº		Fc	(Días)	(Días)	(Días)	(kgf)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )	(cm)	01	Ensayo 1 - M.P 4.5%PET	210	12/05/2025	19/05/2025	7	48923.8	15.2	181.2	270.0	269.6	0.60	02	Ensayo 2 - M.P 4.5%PET	210	12/05/2025	19/05/2025	7	48690.0	15.2	180.4	269.9	03	Ensayo 3 - M.P 4.5%PET	210	12/05/2025	19/05/2025	7	48889.7	15.2	181.8	268.9	04	Ensayo 4 - M.P 4.5%PET	210	07/05/2025	21/05/2025	14	59186.4	15.2	182.0	325.2	325.0	0.20	05	Ensayo 5 - M.P 4.5%PET	210	07/05/2025	21/05/2025	14	58240.0	15.1	179.2	325.0	06	Ensayo 6 - M.P 4.5%PET	210	07/05/2025	21/05/2025	14	58399.0	15.1	179.8	324.8	07	Ensayo 7 - M.P 4.5%PET	210	05/05/2025	02/06/2025	28	62717.3	15.2	181.4	345.8	347.7	1.73	08	Ensayo 8 - M.P 4.5%PET	210	05/05/2025	02/06/2025	28	63089.6	15.2	181.2	348.1	09	Ensayo 9 - M.P 4.5%PET	210	05/05/2025	02/06/2025	28	62935.8	15.2	180.2	349.2
Muestra	IDENTIFICACIÓN	Diseño	Fecha de variado	Fecha de ensayo	Edad	Carga	Diámetro	Área	Fc	Promedio Fc	Desviación estándar																																																																																																																								
Nº		Fc	(Días)	(Días)	(Días)	(kgf)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )	(cm)																																																																																																																								
01	Ensayo 1 - M.P 4.5%PET	210	12/05/2025	19/05/2025	7	48923.8	15.2	181.2	270.0	269.6	0.60																																																																																																																								
02	Ensayo 2 - M.P 4.5%PET	210	12/05/2025	19/05/2025	7	48690.0	15.2	180.4	269.9																																																																																																																										
03	Ensayo 3 - M.P 4.5%PET	210	12/05/2025	19/05/2025	7	48889.7	15.2	181.8	268.9																																																																																																																										
04	Ensayo 4 - M.P 4.5%PET	210	07/05/2025	21/05/2025	14	59186.4	15.2	182.0	325.2	325.0	0.20																																																																																																																								
05	Ensayo 5 - M.P 4.5%PET	210	07/05/2025	21/05/2025	14	58240.0	15.1	179.2	325.0																																																																																																																										
06	Ensayo 6 - M.P 4.5%PET	210	07/05/2025	21/05/2025	14	58399.0	15.1	179.8	324.8																																																																																																																										
07	Ensayo 7 - M.P 4.5%PET	210	05/05/2025	02/06/2025	28	62717.3	15.2	181.4	345.8	347.7	1.73																																																																																																																								
08	Ensayo 8 - M.P 4.5%PET	210	05/05/2025	02/06/2025	28	63089.6	15.2	181.2	348.1																																																																																																																										
09	Ensayo 9 - M.P 4.5%PET	210	05/05/2025	02/06/2025	28	62935.8	15.2	180.2	349.2																																																																																																																										
OBSERVACIONES:																																																																																																																																			
PROFESIONAL 1				PROFESIONAL 2				PROFESIONAL 3																																																																																																																											
																																																																																																																																			
NOMBRES: RONALD J. CHIHUAN QUISPE				NOMBRES: STEVEN A. OCHOA CARBAJAL				NOMBRES: Kerly Esthefany Aquino Gonzalez																																																																																																																											
FECHA:		02/06/2025		FECHA:		02/06/2025		FECHA:		02/06/2025																																																																																																																									

✚ F'c: 210 kg/cm<sup>2</sup> con PET 5.5%

LABORATORIO DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS - UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE TAYACAJA "UNAT"																																																																																																																											
	<b>ENSAYO:</b>	CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas																																																																																																																									
	<b>REFERENCIA:</b>	NTP 539.034.2015																																																																																																																									
	<b>PROYECTO:</b>	INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO PARA EVALUAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y FÍSICAS DEL CONCRETO EN CONDICIONES DE LABORATORIO - UNAT																																																																																																																									
<b>INICIO DE ENSAYO:</b>	Lunes, 05 de mayo del 2025	<b>RESPONSABLE:</b>	Ruth Karina Canchari Vila																																																																																																																								
<b>FIN DE ENSAYO:</b>	Lunes, 02 de junio del 2025	<b>REVISADO POR:</b>	Mg. Ronald Julian Chihuan Quispe																																																																																																																								
<p><b>M.P 5.5% PET-Diseño Patron 210 kg/cm<sup>2</sup> con 5.5%PET</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Muestra</th> <th>IDENTIFICACIÓN</th> <th>Diseño</th> <th>Fecha de vaciado</th> <th>Fecha de ensayo</th> <th>Edad</th> <th>Carga</th> <th>Diametro</th> <th>Área</th> <th>Fc</th> <th>Promedio Fc</th> <th>Desviación estándar</th> </tr> <tr> <th>N°</th> <th></th> <th>Fe</th> <th>(Días)</th> <th>(Días)</th> <th>(Días)</th> <th>(kgf)</th> <th>(cm)</th> <th>(cm<sup>2</sup>)</th> <th>(kg/cm<sup>2</sup>)</th> <th>(kg/cm<sup>2</sup>)</th> <th>(%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>01</td> <td>Testigo 1 - M.P 5.5%PET</td> <td>210</td> <td>12/05/2025</td> <td>19/05/2025</td> <td>7</td> <td>50323.0</td> <td>15.2</td> <td>182.0</td> <td>276.5</td> <td rowspan="3">273.9</td> <td rowspan="3">2.43</td> </tr> <tr> <td>02</td> <td>Testigo 2 - M.P 5.5%PET</td> <td>210</td> <td>12/05/2025</td> <td>19/05/2025</td> <td>7</td> <td>49266.7</td> <td>15.2</td> <td>180.2</td> <td>271.4</td> </tr> <tr> <td>03</td> <td>Testigo 3 - M.P 5.5%PET</td> <td>210</td> <td>12/05/2025</td> <td>19/05/2025</td> <td>7</td> <td>48960.3</td> <td>15.2</td> <td>180.2</td> <td>271.7</td> </tr> <tr> <td>04</td> <td>Testigo 4 - M.P 5.5%PET</td> <td>210</td> <td>07/05/2025</td> <td>21/05/2025</td> <td>14</td> <td>58582.0</td> <td>15.2</td> <td>181.2</td> <td>323.3</td> <td rowspan="3">322.9</td> <td rowspan="3">0.87</td> </tr> <tr> <td>05</td> <td>Testigo 5 - M.P 5.5%PET</td> <td>210</td> <td>07/05/2025</td> <td>21/05/2025</td> <td>14</td> <td>57845.4</td> <td>15.1</td> <td>179.7</td> <td>321.9</td> </tr> <tr> <td>06</td> <td>Testigo 6 - M.P 5.5%PET</td> <td>210</td> <td>07/05/2025</td> <td>21/05/2025</td> <td>14</td> <td>58424.1</td> <td>15.2</td> <td>180.6</td> <td>323.5</td> </tr> <tr> <td>07</td> <td>Testigo 7 - M.P 5.5%PET</td> <td>210</td> <td>05/05/2025</td> <td>02/06/2025</td> <td>28</td> <td>60726.5</td> <td>15.2</td> <td>180.7</td> <td>336.1</td> <td rowspan="3">333.6</td> <td rowspan="3">2.24</td> </tr> <tr> <td>08</td> <td>Testigo 8 - M.P 5.5%PET</td> <td>210</td> <td>05/05/2025</td> <td>02/06/2025</td> <td>28</td> <td>59473.2</td> <td>15.1</td> <td>179.2</td> <td>331.9</td> </tr> <tr> <td>09</td> <td>Testigo 9 - M.P 5.5%PET</td> <td>210</td> <td>05/05/2025</td> <td>02/06/2025</td> <td>28</td> <td>60150.1</td> <td>15.2</td> <td>180.8</td> <td>332.7</td> </tr> </tbody> </table>				Muestra	IDENTIFICACIÓN	Diseño	Fecha de vaciado	Fecha de ensayo	Edad	Carga	Diametro	Área	Fc	Promedio Fc	Desviación estándar	N°		Fe	(Días)	(Días)	(Días)	(kgf)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )	(%)	01	Testigo 1 - M.P 5.5%PET	210	12/05/2025	19/05/2025	7	50323.0	15.2	182.0	276.5	273.9	2.43	02	Testigo 2 - M.P 5.5%PET	210	12/05/2025	19/05/2025	7	49266.7	15.2	180.2	271.4	03	Testigo 3 - M.P 5.5%PET	210	12/05/2025	19/05/2025	7	48960.3	15.2	180.2	271.7	04	Testigo 4 - M.P 5.5%PET	210	07/05/2025	21/05/2025	14	58582.0	15.2	181.2	323.3	322.9	0.87	05	Testigo 5 - M.P 5.5%PET	210	07/05/2025	21/05/2025	14	57845.4	15.1	179.7	321.9	06	Testigo 6 - M.P 5.5%PET	210	07/05/2025	21/05/2025	14	58424.1	15.2	180.6	323.5	07	Testigo 7 - M.P 5.5%PET	210	05/05/2025	02/06/2025	28	60726.5	15.2	180.7	336.1	333.6	2.24	08	Testigo 8 - M.P 5.5%PET	210	05/05/2025	02/06/2025	28	59473.2	15.1	179.2	331.9	09	Testigo 9 - M.P 5.5%PET	210	05/05/2025	02/06/2025	28	60150.1	15.2	180.8	332.7
Muestra	IDENTIFICACIÓN	Diseño	Fecha de vaciado	Fecha de ensayo	Edad	Carga	Diametro	Área	Fc	Promedio Fc	Desviación estándar																																																																																																																
N°		Fe	(Días)	(Días)	(Días)	(kgf)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )	(%)																																																																																																																
01	Testigo 1 - M.P 5.5%PET	210	12/05/2025	19/05/2025	7	50323.0	15.2	182.0	276.5	273.9	2.43																																																																																																																
02	Testigo 2 - M.P 5.5%PET	210	12/05/2025	19/05/2025	7	49266.7	15.2	180.2	271.4																																																																																																																		
03	Testigo 3 - M.P 5.5%PET	210	12/05/2025	19/05/2025	7	48960.3	15.2	180.2	271.7																																																																																																																		
04	Testigo 4 - M.P 5.5%PET	210	07/05/2025	21/05/2025	14	58582.0	15.2	181.2	323.3	322.9	0.87																																																																																																																
05	Testigo 5 - M.P 5.5%PET	210	07/05/2025	21/05/2025	14	57845.4	15.1	179.7	321.9																																																																																																																		
06	Testigo 6 - M.P 5.5%PET	210	07/05/2025	21/05/2025	14	58424.1	15.2	180.6	323.5																																																																																																																		
07	Testigo 7 - M.P 5.5%PET	210	05/05/2025	02/06/2025	28	60726.5	15.2	180.7	336.1	333.6	2.24																																																																																																																
08	Testigo 8 - M.P 5.5%PET	210	05/05/2025	02/06/2025	28	59473.2	15.1	179.2	331.9																																																																																																																		
09	Testigo 9 - M.P 5.5%PET	210	05/05/2025	02/06/2025	28	60150.1	15.2	180.8	332.7																																																																																																																		
<b>OBSERVACIONES:</b>																																																																																																																											
<b>PROFESIONAL 1</b>		<b>PROFESIONAL 2</b>																																																																																																																									
		 STEVEN A. OCHOA CARBAL INGENIERO CIVIL C.O. N° 36107																																																																																																																									
																																																																																																																											
<b>NOMBRES:</b> RONALD J. CHIHUAN QUISPE		<b>NOMBRES:</b> STEVEN A. OCHOA CARBAL																																																																																																																									
<b>FECHA:</b> 02/06/2025		<b>FECHA:</b> 02/06/2025																																																																																																																									
		<b>PROFESIONAL 3</b>																																																																																																																									
		 KERLY ESTHEFANY AGUIÑO GONZÁLEZ INGENIERA CIVIL C.O. N° 356079																																																																																																																									
																																																																																																																											
		<b>NOMBRES:</b> Kerly Esthefany Aguiño González																																																																																																																									
		<b>FECHA:</b> 02/06/2025																																																																																																																									

## RESISTENCIA A TRACCIÓN INDIRECTA

	<b>LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO</b>	Código	C3-FOR-015	
	CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a tracción indirecta del concreto, por compresión diametral de una probeta cilíndrica	Versión	01	
	NTP 339.084:2022	Fecha	24-03-22	
		Página	1 de 1	

Expediente N° : 1106-2025  
 Nombre del tesista : Bach.Ing.Civil. Ruth Karina Canchari Vila

Nombre de la tesis : INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO PARA EVALUAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y FÍSICAS DEL CONCRETO EN CONDICIONES DE LABORATORIO - UNAT  
 Ubicación : Huancayo - Junín  
 Fecha de emisión : 11-Junio-2025

Testigo N°	Diseño de mezcla f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	% incorporación de PET reciclado triturado	Fecha de vaciado	Fecha de ensayo	Edad (días)	Tipo de curado	Dimensiones en (mm)		Carga máxima (N)	Resistencia a la tracción indirecta (MPa)	Resistencia a la tracción indirecta (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio resistencia a la tracción diametral (Mpa)
							Diámetro	Longitud				
1	f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup>	0%	13-05-25	20-05-25	7	Poza de curado	152.4	304.8	156220	2.14	21.8	2.16
2			13-05-25	20-05-25	7	Poza de curado	151.4	305.8	158550	2.18	22.2	
3			13-05-25	20-05-25	7	Poza de curado	152.4	304.8	157810	2.16	22.1	
4			08-05-25	22-05-25	14	Poza de curado	151.4	305.8	224210	3.08	31.4	3.10
5			08-05-25	22-05-25	14	Poza de curado	152.4	304.8	225450	3.09	31.5	
6			08-05-25	22-05-25	14	Poza de curado	151.4	305.8	226530	3.11	31.8	
7			06-05-25	03-06-25	28	Poza de curado	152.4	304.8	248990	3.41	34.8	3.39
8			06-05-25	03-06-25	28	Poza de curado	151.4	305.8	246890	3.39	34.6	
9			06-05-25	03-06-25	28	Poza de curado	152.4	304.8	245680	3.37	34.3	

**NOTAS:**

- 1) El muestreo, moldeo, identificación y curado inicial fue realizado por el CLIENTE.
- 2) El tipo de muestra, cantidad de muestras y procedencia fue establecido por el CLIENTE.
- 3) La velocidad de carga de ensayo fue de 1,05 MPa/min ± 0,35 MPa/min, en conformidad con la norma NTP 339.084:2017
- 4) El uso e interpretación de los resultados es de exclusiva responsabilidad del CLIENTE.
- 5) Está prohibido reproducir u modificar el presente informe de ensayo, sin autorización de C3 Ingeniería Especializada SAC

Realizado y revisado por el M.Sc. Ing. Omar A. Huamani Salazar



	<b>LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO</b>			Código	C3-FOR-015	
	CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a tracción indirecta del concreto, por compresión diametral de una probeta cilíndrica			Versión	01	
	NTP 339.084:2022			Fecha	24-03-22	
				Página	1 de 1	

Expediente N° : 1106-2025

Nombre del testista : Bach.Ing.Civil. Ruth Karina Canchari Vila

Nombre de la tesis : INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO PARA EVALUAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y FÍSICAS DEL CONCRETO EN CONDICIONES DE LABORATORIO - UNAT

Ubicación : Huancayo - Junín

Fecha de emisión : 11-Junio-2025

Testigo N°	Diseño de mezcla f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	% incorporación de PET reciclado triturado	Fecha de vaciado	Fecha de ensayo	Edad (días)	Tipo de curado	Dimensiones en (mm)		Carga máxima (N)	Resistencia a la tracción indirecta (MPa)	Resistencia a la tracción indirecta (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio resistencia a la tracción diametral (Mpa)		
							Diámetro	Longitud						
1	f'c=210 kg/cm <sup>2</sup>	3.5%	13-05-25	20-05-25	7	Poza de curado	152.4	304.8	139150	1.91	19.5	1.90		
2			13-05-25	20-05-25	7	Poza de curado	151.4	305.8	139270	1.92	19.5			
3			13-05-25	20-05-25	7	Poza de curado	152.4	304.8	137980	1.89	19.3			
4					08-05-25	22-05-25	14	Poza de curado	152.4	304.8	221150	3.03	30.9	3.04
5			08-05-25	22-05-25	14	Poza de curado	152.4	305.8	222100	3.03	30.9			
6			08-05-25	22-05-25	14	Poza de curado	152.4	304.8	222060	3.04	31.0			
7					06-05-25	03-06-25	28	Poza de curado	152.4	304.8	242050	3.32	33.8	3.35
8			06-05-25	03-06-25	28	Poza de curado	151.4	305.8	244760	3.37	34.3			
9			06-05-25	03-06-25	28	Poza de curado	152.4	304.8	245870	3.37	34.4			

**NOTAS:**

- 1) El muestreo, moldeo, identificación y curado inicial fue realizado por el CLIENTE.
- 2) El tipo de muestra, cantidad de muestras y procedencia fue establecido por el CLIENTE
- 3) La velocidad de carga de ensayo fue de 1,05 MPa/min ± 0,35 MPa/min, en conformidad con la norma NTP 339.084:2017
- 4) El uso e interpretación de los resultados es de exclusiva responsabilidad del CLIENTE.
- 5) Está prohibido reproducir u modificar el presente informe de ensayo, sin autorización de C3 Ingeniería Especializada SAC

Realizado y revisado por el M.Sc. Ing. Omar A. Huamani Salazar



	<b>LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO</b>		Código	C3-FOR-015	
	<b>CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a tracción indirecta del concreto, por compresión diametral de una probeta cilíndrica</b> <b>NTP 339.084:2022</b>		Versión	01	
			Fecha	24-03-22	
			Página	1 de 1	

Expediente N° : 1106-2025

Nombre del testista : Bach.Ing.Civil. Ruth Karina Canchari Vila

Nombre de la tesis : INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO PARA EVALUAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y FÍSICAS DEL CONCRETO EN CONDICIONES DE LABORATORIO - UNAT

Ubicación : Huancayo - Junín

Fecha de emisión : 11-Junio-2025

Testigo N°	Diseño de mezcla f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	% incorporación de PET reciclado triturado	Fecha de vaciado	Fecha de ensayo	Edad (días)	Tipo de curado	Dimensiones en (mm)		Carga máxima (N)	Resistencia a la tracción indirecta (MPa)	Resistencia a la tracción indirecta (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio resistencia a la tracción diametral (Mpa)		
							Diámetro	Longitud						
1	f'c=210 kg/cm <sup>2</sup>	4.5%	13-05-25	20-05-25	7	Poza de curado	152.4	304.8	137990	1.89	19.3	1.89		
2			13-05-25	20-05-25	7	Poza de curado	151.4	305.8	138010	1.90	19.4			
3			13-05-25	20-05-25	7	Poza de curado	152.4	304.8	136970	1.88	19.1			
4			f'c=210 kg/cm <sup>2</sup>	4.5%	08-05-25	22-05-25	14	Poza de curado	152.4	304.8	221100	3.03	30.9	3.03
5					08-05-25	22-05-25	14	Poza de curado	151.4	305.8	221080	3.04	31.0	
6					08-05-25	22-05-25	14	Poza de curado	152.4	304.8	220990	3.03	30.9	
7					06-05-25	03-06-25	28	Poza de curado	152.4	304.8	239580	3.28	33.5	3.30
8					06-05-25	03-06-25	28	Poza de curado	151.4	305.8	240000	3.30	33.7	
9					06-05-25	03-06-25	28	Poza de curado	152.4	304.8	240920	3.30	33.7	

**NOTAS:**

- 1) El muestreo, moldeo, identificación y curado inicial fue realizado por el CLIENTE.
- 2) El tipo de muestra, cantidad de muestras y procedencia fue establecido por el CLIENTE
- 3) La velocidad de carga de ensayo fue de 1,05 MPa/min ± 0,35 MPa/min, en conformidad con la norma NTP 339.084:2017.
- 4) El uso e interpretación de los resultados es de exclusiva responsabilidad del CLIENTE.
- 5) Está prohibido reproducir u modificar el presente informe de ensayo, sin autorización de C3 Ingeniería Especializada SAC

Realizado y revisado por el M.Sc. Ing. Omar A. Huamani Salazar



	<b>LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO</b>	Código	C3-FOR-015	
	CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a tracción indirecta del concreto, por compresión diametral de una probeta cilíndrica	Versión	01	
	NTP 339.084:2022	Fecha	24-03-22	
		Página	1 de 1	

Expediente N° : 1106-2025

Nombre del tesista : Bach.Ing.Civil. Ruth Karina Canchari Vila

Nombre de la tesis : INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO PARA EVALUAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y FÍSICAS DEL CONCRETO EN CONDICIONES DE LABORATORIO - UNAT

Ubicación : Huancayo - Junín

Fecha de emisión : 11-Junio-2025

Testigo N°	Diseño de mezcla $f_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	% incorporación de PET reciclado triturado	Fecha de vaciado	Fecha de ensayo	Edad (días)	Tipo de curado	Dimensiones en (mm)		Carga máxima (N)	Resistencia a la tracción indirecta (MPa)	Resistencia a la tracción indirecta (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio resistencia a la tracción diametral (Mpa)
							Diámetro	Longitud				
1	F <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup>	5.5%	13-05-25	20-05-25	7	Poza de curado	152.4	304.8	134300	1.84	18.8	1.86
2			13-05-25	20-05-25	7	Poza de curado	151.4	305.8	136630	1.88	19.2	
3			13-05-25	20-05-25	7	Poza de curado	152.4	304.8	135550	1.86	18.9	
4			08-05-25	22-05-25	14	Poza de curado	151.4	304.8	219560	3.03	30.9	3.01
5			08-05-25	22-05-25	14	Poza de curado	152.4	305.8	219090	2.99	30.5	
6			08-05-25	22-05-25	14	Poza de curado	151.4	304.8	218950	3.02	30.8	
7			06-05-25	03-06-25	28	Poza de curado	152.4	304.8	235750	3.23	33.0	3.26
8			06-05-25	03-06-25	28	Poza de curado	151.4	305.8	237970	3.27	33.4	
9			06-05-25	03-06-25	28	Poza de curado	152.4	304.8	239360	3.28	33.5	

**NOTAS:**

- 1) El muestreo, moldeo, identificación y curado inicial fue realizado por el CLIENTE.
- 2) El tipo de muestra, cantidad de muestras y procedencia fue establecido por el CLIENTE
- 3) La velocidad de carga de ensayo fue de 1,05 MPa/min ± 0,35 MPa/min, en conformidad con la norma NTP 339.084:2017
- 4) El uso e interpretación de los resultados es de exclusiva responsabilidad del CLIENTE.
- 5) Está prohibido reproducir u modificar el presente informe de ensayo, sin autorización de C3 Ingeniería Especializada SAC

Realizado y revisado por el M.Sc. Ing. Omar A. Huamani Salazar



## RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

	<b>LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO</b>	Código	C3-FOR-012	
	<b>CONCRETO. Determinación de la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios de la distancia entre apoyos</b>	Versión	01	
	<b>NTP 339.078:2022</b>	Fecha	24-03-22	
		Página	1 de 1	

Expediente N° : 1106-2025

Nombre del testista : Bach.Ing.Civil. Ruth Karina Canchari Vila

Nombre de la tesis : INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO PARA EVALUAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y FÍSICAS DEL CONCRETO EN CONDICIONES DE LABORATORIO - UNAT

Ubicación : Huancayo - Junín

Fecha de emisión : 11-Junio-2025

Muestra N°	Diseño de mezcla f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	% Incorporación de PET reciclado triturado	Fecha de vaciado	Fecha de ensayo	Edad (días)	Tipo de curado	Carga máxima de rotura (N)	Luz libre entre apoyos (mm)	Ancho promedio de la viga en la sección de falla (mm)	Altura promedio de la viga en la sección de falla (mm)	Ubicación de la falla	Módulo de rotura M <sub>r</sub> (MPa)	Módulo de rotura M <sub>r</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio de módulo de rotura M <sub>r</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )
1	f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup>	0.0%	13-05-25	20-05-25	7	Poza de curado	28650	480	150	150	Tercio medio de la luz	4.07	41.55	43.05
2			13-05-25	20-05-25	7	Poza de curado	29950	480	150	150	Tercio medio de la luz	4.26	43.44	
3			13-05-25	20-05-25	7	Poza de curado	30450	480	150	150	Tercio medio de la luz	4.33	44.16	
4			08-05-25	22-05-25	14	Poza de curado	38880	480	150	150	Tercio medio de la luz	5.53	56.39	55.08
5			08-05-25	22-05-25	14	Poza de curado	35310	480	150	150	Tercio medio de la luz	5.02	51.21	
6			08-05-25	22-05-25	14	Poza de curado	39750	480	150	150	Tercio medio de la luz	5.65	57.65	
7			06-05-25	03-06-25	28	Poza de curado	44090	480	150	150	Tercio medio de la luz	6.27	63.94	59.81
8			06-05-25	03-06-25	28	Poza de curado	39270	480	150	150	Tercio medio de la luz	5.59	56.95	
9			06-05-25	03-06-25	28	Poza de curado	40370	480	150	150	Tercio medio de la luz	5.74	58.55	

**NOTAS:**

- 1) El muestreo, moldeo, identificación y curado inicial fue realizado por el CLIENTE.
- 2) El tipo de muestra, cantidad de muestras y procedencia fue establecido por el CLIENTE.
- 3) La velocidad de ensayo fue de 1,05 MPa/min ± 0,15 MPa/min, en conformidad con la norma NTP 339.078:2022
- 4) El uso e interpretación de los resultados es de exclusiva responsabilidad del CLIENTE.
- 5) Está prohibido reproducir u modificar el presente informe de ensayo, sin autorización de C3 Ingeniería Especializada SAC.

Realizado y revisado por el M.Sc. Ing. Omar A. Huamani Salazar



C3 INGENIERIA ESPECIALIZADA SAC  
 Av. Los Próceres N° 1000 - Chilca - Huancayo - Junín  
 Celular: 947-898992  
 Email: c3ingenieriaspecializadasac@gmail.com

	<b>LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO</b>	Código	C3-FOR-012	
	<b>CONCRETO. Determinación de la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios de la distancia entre apoyos</b> <b>NTP 339.078:2022</b>	Versión	01	
		Fecha	24-03-22	
		Página	1 de 1	

Expediente N° : 1106-2025

Nombre del testista : Bach.Ing.Civil. Ruth Karina Canchari Vila

Nombre de la tesis : INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO PARA EVALUAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y FÍSICAS DEL CONCRETO EN CONDICIONES DE LABORATORIO - UNAT

Ubicación : Huancayo - Junín

Fecha de emisión : 11-Junio-2025

Muestra N°	Diseño de mezcla f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	% Incorporación de PET reciclado triturado	Fecha de vaciado	Fecha de ensayo	Edad (días)	Tipo de curado	Carga máxima de rotura (N)	Luz libre entre apoyos (mm)	Ancho promedio de la viga en la sección de falla (mm)	Altura promedio de la viga en la sección de falla (mm)	Ubicación de la falla	Módulo de rotura M <sub>r</sub> (MPa)	Módulo de rotura M <sub>r</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio de módulo de rotura M <sub>r</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )
1	f'c=210 kg/cm <sup>2</sup>	3.5%	13-05-25	20-05-25	7	Poza de curado	33870	480	150	150	Tercio medio de la luz	4.82	49.12	48.45
2			13-05-25	20-05-25	7	Poza de curado	34090	480	150	150	Tercio medio de la luz	4.85	49.44	
3			13-05-25	20-05-25	7	Poza de curado	32270	480	150	150	Tercio medio de la luz	4.59	46.80	
4			08-05-25	22-05-25	14	Poza de curado	32530	480	150	150	Tercio medio de la luz	4.63	47.18	46.53
5			08-05-25	22-05-25	14	Poza de curado	32470	480	150	150	Tercio medio de la luz	4.62	47.09	
6			08-05-25	22-05-25	14	Poza de curado	31250	480	150	150	Tercio medio de la luz	4.44	45.32	
7			06-05-25	03-06-25	28	Poza de curado	37570	480	150	150	Tercio medio de la luz	5.34	54.49	54.91
8			06-05-25	03-06-25	28	Poza de curado	38030	480	150	150	Tercio medio de la luz	5.41	55.15	
9			06-05-25	03-06-25	28	Poza de curado	37980	480	150	150	Tercio medio de la luz	5.40	55.08	

**NOTAS:**

- 1) El muestreo, moldeo, identificación y curado inicial fue realizado por el CLIENTE.
- 2) El tipo de muestra, cantidad de muestras y procedencia fue establecido por el CLIENTE.
- 3) La velocidad de ensayo fue de 1,05 MPa/min ± 0,15 MPa/min, en conformidad con la norma NTP 339.078:2022.
- 4) El uso e interpretación de los resultados es de exclusiva responsabilidad del CLIENTE.
- 5) Está prohibido reproducir u modificar el presente informe de ensayo, sin autorización de C3 Ingeniería Especializada S.A.C.

Realizado y revisado por el M.Sc. Ing. Omar A. Huamani Salazar



C3 INGENIERIA ESPECIALIZADA SAC  
 Av. Los Próceres N° 1000 - Chilca - Huancayo - Junín  
 Celular: 947-898992  
 Email: c3ingenieriaespecializadasc@gmail.com

	<b>LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO</b>			Código	C3-FOR-012	
	<b>CONCRETO. Determinación de la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios de la distancia entre apoyos</b> <b>NTP 339.078:2022</b>			Versión	01	
				Fecha	24-03-22	
				Página	1 de 1	

Expediente N° : 1106-2025

Nombre del testista : Bach.Ing.Civil. Ruth Karina Canchari Vila

Nombre de la tesis : INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO PARA EVALUAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y FÍSICAS DEL CONCRETO EN CONDICIONES DE LABORATORIO - UNAT

Ubicación : Huancayo - Junín

Fecha de emisión : 11-Junio-2025

Muestra N°	Diseño de mezcla $f_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	% Incorporación de PET reciclado triturado	Fecha de vaciado	Fecha de ensayo	Edad (días)	Tipo de curado	Carga máxima de rotura (N)	Luz libre entre apoyos (mm)	Ancho promedio de la viga en la sección de falla (mm)	Altura promedio de la viga en la sección de falla (mm)	Ubicación de la falla	Módulo de rotura $M_r$ (MPa)	Módulo de rotura $M_r$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio de módulo de rotura $M_r$ (kg/cm <sup>2</sup> )
1	f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup>	4.5%	13-05-25	20-05-25	7	Poza de curado	32300	480	150	150	Tercio medio de la luz	4.59	46.84	45.77
2			13-05-25	20-05-25	7	Poza de curado	31400	480	150	150	Tercio medio de la luz	4.47	45.54	
3			13-05-25	20-05-25	7	Poza de curado	30970	480	150	150	Tercio medio de la luz	4.40	44.91	
4			08-05-25	22-05-25	14	Poza de curado	32050	480	150	150	Tercio medio de la luz	4.56	46.48	46.44
5			08-05-25	22-05-25	14	Poza de curado	32030	480	150	150	Tercio medio de la luz	4.56	46.45	
6			08-05-25	22-05-25	14	Poza de curado	31990	480	150	150	Tercio medio de la luz	4.55	46.39	
7			06-05-25	03-06-25	28	Poza de curado	35960	480	150	150	Tercio medio de la luz	5.11	52.15	51.81
8			06-05-25	03-06-25	28	Poza de curado	34990	480	150	150	Tercio medio de la luz	4.98	50.74	
9			06-05-25	03-06-25	28	Poza de curado	36230	480	150	150	Tercio medio de la luz	5.15	52.54	

**NOTAS:**

- 1) El muestreo, moldeo, identificación y curado inicial fue realizado por el CLIENTE.
- 2) El tipo de muestra, cantidad de muestras y procedencia fue establecido por el CLIENTE.
- 3) La velocidad de ensayo fue de 1,05 MPa/min ± 0,15 MPa/min, en conformidad con la norma NTP 339.078:2022.
- 4) El uso e interpretación de los resultados es de exclusiva responsabilidad del CLIENTE.
- 5) Está prohibido reproducir u modificar el presente informe de ensayo, sin autorización de C3 Ingeniería Especializada SAC.

Realizado y revisado por el M.Sc. Ing. Omar A. Huamani Salazar



C3 INGENIERIA ESPECIALIZADA SAC  
 Av. Los Próceres N° 1000 - Chilca - Huancayo - Junín  
 Celular: 947-898992  
 Email: c3ingenieriaspecializadasac@gmail.com

	<b>LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO</b>	Código	C3-FOR-012	
	<b>CONCRETO. Determinación de la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios de la distancia entre apoyos</b>	Versión	01	
	<b>NTP 339.078:2022</b>	Fecha	24-03-22	
		Página	1 de 1	

Expediente N° : 1106-2025

Nombre del testista : Bach. Ing. Civil. Ruth Karina Canchari Vila

Nombre de la tesis : INCORPORACIÓN DE PET RECICLADO PARA EVALUAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y FÍSICAS DEL CONCRETO EN CONDICIONES DE LABORATORIO - UNAT

Ubicación : Huancayo - Junín

Fecha de emisión : 11-Junio-2025

Muestra N°	Diseño de mezcla f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	% Incorporación de PET reciclado triturado	Fecha de vaciado	Fecha de ensayo	Edad (días)	Tipo de curado	Carga máxima de rotura (N)	Luz libre entre apoyos (mm)	Ancho promedio de la viga en la sección de falla (mm)	Altura promedio de la viga en la sección de falla (mm)	Ubicación de la falla	Módulo de rotura M <sub>r</sub> (MPa)	Módulo de rotura M <sub>r</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio de módulo de rotura M <sub>r</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )
1	f'c=210 kg/cm <sup>2</sup>	5.5%	13-05-25	20-05-25	7	Poza de curado	28630	480	150	150	Tercio medio de la luz	4.07	41.52	40.34
2			13-05-25	20-05-25	7	Poza de curado	26360	480	150	150	Tercio medio de la luz	3.75	38.23	
3			13-05-25	20-05-25	7	Poza de curado	28450	480	150	150	Tercio medio de la luz	4.05	41.26	
4			08-05-25	22-05-25	14	Poza de curado	31680	480	150	150	Tercio medio de la luz	4.51	45.94	46.74
5			08-05-25	22-05-25	14	Poza de curado	33450	480	150	150	Tercio medio de la luz	4.76	48.51	
6			08-05-25	22-05-25	14	Poza de curado	31550	480	150	150	Tercio medio de la luz	4.49	45.76	
7			06-05-25	03-06-25	28	Poza de curado	34860	480	150	150	Tercio medio de la luz	4.96	50.56	48.54
8			06-05-25	03-06-25	28	Poza de curado	31820	480	150	150	Tercio medio de la luz	4.53	46.15	
9			06-05-25	03-06-25	28	Poza de curado	33720	480	150	150	Tercio medio de la luz	4.80	48.90	

**NOTAS:**

- 1) El muestreo, moldeo, identificación y curado inicial fue realizado por el CLIENTE.
- 2) El tipo de muestra, cantidad de muestras y procedencia fue establecido por el CLIENTE.
- 3) La velocidad de ensayo fue de 1,05 MPa/min ± 0,15 MPa/min, en conformidad con la norma NTP 339.078:2022
- 4) El uso e interpretación de los resultados es de exclusiva responsabilidad del CLIENTE.
- 5) Está prohibido reproducir u modificar el presente informe de ensayo, sin autorización de C3 Ingeniería Especializada SAC.

Realizado y revisado por el M.Sc. Ing. Omar A. Huamani Salazar



C3 INGENIERIA ESPECIALIZADA SAC  
 Av. Los Próceres N° 1000 - Chilca - Huancayo - Junín  
 Celular: 947-898992  
 Email: c3ingenieriaspecializadasac@gmail.com

# ANEXO 18: CERTIFICADO DE ACREDITACIÓN EN INACAL

# Certificado



**INACAL**  
Instituto Nacional  
de Calidad  
Acreditación

La Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad - INACAL, en el marco de la Ley N° 30224, **OTORGA** el presente certificado de Renovación de la Acreditación a:

## C3 INGENIERIA ESPECIALIZADA S.A.C.

Laboratorio de Ensayo

En su sede ubicada en: Av. Los Próceres N° 1000, Urbanización Cercado, distrito de Chilca, provincia de Huancayo y departamento de Junín.

Con base en la norma

**NTP-ISO/IEC 17025:2017 Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración**

Facultándolo a emitir Informes de Ensayo con Símbolo de Acreditación. En el alcance de la acreditación otorgada que se detalla en el DA-acr-06P-21F que forma parte integral del presente certificado llevando el mismo número de registro indicado líneas abajo.

Fecha de Renovación: 18 de octubre de 2024  
Fecha de Vencimiento: 17 de octubre de 2028

Fecha de emisión: 08 de noviembre de 2024



Cédula N° : 0080-2024-INACAL/DA  
Adenda N° : 01 del Contrato N° 021-2021/INACAL-DA  
Registro N° : LE - 162

Firmado digitalmente por AGUILAR RODRIGUEZ, LUIS PATRICIA FAU  
2024.11.08 17:05:00  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 08.11.2024 23:26:17 -05:00

**PATRICIA AGUILAR RODRIGUEZ**  
Directora, Dirección de Acreditación - INACAL.

El presente certificado tiene validez con su correspondiente Alcance de Acreditación y cédula de notificación dado que el alcance puede estar sujeto a ampliaciones, reducciones, actualizaciones y suspensiones temporales. El alcance y vigencia debe confirmarse en la página web [www.inacal.gob.pe/acreditacion/categorias/acreditados](http://www.inacal.gob.pe/acreditacion/categorias/acreditados) y/o a través del código QR al momento de hacer uso del presente certificado.

La Dirección de Acreditación del INACAL es firmante del Acuerdo de Reconocimiento Multilateral (MLA) de Inter American Accreditation Cooperation (IAAC) e Internacional Accreditation Forum (IAF) y del Acuerdo de Reconocimiento Múltiple con la International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC).

DA-acr-01P-02M Ver. 03

**BUREAU VERITAS**  
Certification



## **C3 INGENIERÍA ESPECIALIZADA S.A.C.**

Contracting Entity: Av. Los Próceres Nro. 1000 Chilca, Huancayo - Perú

*Bureau Veritas Certification Holding SAS – UK Branch certifies that the Management System of the above organisation has been audited and found to be in accordance with the requirements of the management system standards detailed below*

### **ISO 9001:2015**

*Scope of certification*

**ENSAYOS DE LABORATORIO DE SUELOS, AGREGADOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS.  
CONTROL DE CALIDAD DE OBRAS DE CONSTRUCCIÓN.  
ESTUDIOS DE MECÁNICA DE SUELOS.**

**No aplicabilidad: 8.3 Diseño y desarrollo de los productos y servicios**

**LABORATORY TESTING OF SOILS, AGGREGATES, CONCRETE AND PAVEMENTS  
QUALITY CONTROL OF CONSTRUCTION WORKS  
SOIL MECHANIC STUDIES.**

**Non applicability: 8.3 Design and development of products and service**

Original cycle start date: **02-May-2022**

Expiry date of previous cycle: **N.A.**

Certification Audit date: **18-March-2022**

Certification cycle start date: **02-May-2022**

Subject to the continued satisfactory operation of the organization's Management System, this certificate expires on: **01-May-2025**

**Certificate No. C022.00201U Version: No. 1 Issue date: 02-May-2022**  
**Previous Certificate No. N.A.**

Certification body address: **6<sup>th</sup> Floor, 66 Prescot Street, London E1 8JG, United Kingdom**  
Local office: **Bureau Veritas Del Perú S.A. Av. Camino Real 390 – Torre Central del Centro Comercial Camino Real, Piso 14, Oficina 1402, Lima 27, Perú.**



Further clarifications regarding the scope and validity of this certificate and the applicability of the management system requirements, please call: **51-1-422 9000**



# ANEXO 19: CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS



LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO No LC-079



## Certificado de Calibración - Laboratorio de Fuerza

F-00436-001 R1

Calibration Certificate - Laboratory of Force

Page / Pág. 1 de 4

**Equipo** MÁQUINA PARA ENSAYOS A COMPRESIÓN

*Instrument*

**Fabricante / Año** A&A INSTRUMENTS (2018)

*Manufacturer / Year*

**Modelo** STYE-2000

*Model*

**Número de Serie** 181012

*Serial Number*

**Identificación Interna** C3-P-001

*Internal Identification*

**Capacidad Máxima** 2000 kN

*Maximum Capacity*

**Solicitante** C3 INGENIERIA ESPECIALIZADA S.A.C.

*Customer*

**Dirección** AV. LOS PROCERES NRO. 1000 URB. CERCADO JUNIN - HUANCAYO - CHILCA

*Address*

**Ciudad** HUANCAYO

*City*

**Fecha de Calibración** 2024 - 06 - 20

*Date of calibration*

**Fecha de Emisión** 2024 - 07 - 03

*Date of issue*

**Número de páginas del certificado, incluyendo anexos**

*Number of pages of the certificate and documents attached*

04

Los resultados emitidos en este Certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. Dichos resultados solo corresponden al ítem que se relaciona en esta página. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos y/o de la información suministrada por el solicitante.

Este Certificado de Calibración documenta y asegura la trazabilidad de los resultados a patrones nacionales e internacionales, que reproducen las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

El usuario es responsable de la Calibración de los instrumentos en apropiados intervalos de tiempo.

*The results issued in this Certificate relates to the time and conditions under which the measurements. These results correspond to the item that relates on page number one. The laboratory, which will not be liable for any damages that may arise from the improper use of the instruments and/or the information provided by the customer.*

*This Calibration Certificate documents and ensures the traceability of the reported results to national and international standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI).*

*The user is responsible for Calibration the measuring instruments at appropriate time intervals.*

Sin la aprobación del Laboratorio de Metrología Pinzuar no se puede reproducir el Certificado, excepto cuando se reproduce en su totalidad, ya que proporciona la seguridad que las partes del Certificado no se sacan de contexto. Los certificados de calibración sin firma no son válidos.

*Without the approval of the Pinzuar Metrology Laboratory, the report can not be reproduced, except when it is reproduced in its entirety, since it provides the security that the parts of the Certificate are not taken out of context. Unsigned calibration certificates are not valid.*

### Firmas que Autorizan el Certificado

*Signatures Authorizing the Certificate*

Ing. Sergio Iyán Martínez  
Director Laboratorio de Metrología

Br. Félix Jaramillo Castillo  
Métrico Laboratorio de Metrología

LMPC-057-01 (04/1)

LABORATORIO DE METROLOGÍA PINZUAR LTDA.

Fuerza • Longitud • Masa • Temperatura

Calle Ricardo Palma No. 998 Urb. San Joaquín - Bellavista - Callao (+51 1) 562 1263 - www.pinzuar.com.co

**F-00436-001 R1**

Página / Pág. 2 de 4

**DATOS TÉCNICOS**

<b>Dirección de Carga</b>	Compresión
<b>Tipo de Indicación</b>	Digital
<b>Resolución</b>	0,01 kN
<b>Apreciación</b>	0,01 kN
<b>Clase</b>	1,0
<b>Limite Inferior de la Escala</b>	2 kN
<b>Documento de Referencia</b>	ISO 7500-1:2018 Metallic materials - Calibration and verification of static uniaxial testing machines - Part 1: Tension/compression testing machines - Calibration and verification of the force-measuring system

**RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN**

La actividad se efectuó siguiendo los lineamientos establecidos en el documento de referencia iniciando con la inspección del equipo y encontrándose como apto para la ejecución de las mediciones correspondientes. El proceso se inicia ejecutando las precargas hasta la carga máxima del equipo. A continuación, se realizaron mediciones en los valores de fuerza discretos acordados con el cliente ejecutando el método comparación directa con fuerza indicada constante, en el que se lleva la indicación del equipo al valor de fuerza objetivo y se registran las lecturas del patrón. Cada lectura tomada se encuentra registrada en las tablas 1 y 2. Es importante destacar que se mantuvo una variación de temperatura inferior a 2 °C en cada serie de mediciones realizadas.

Durante el proceso de precargas, se identificó la necesidad de ajustar la indicación del equipo. Por lo tanto, en la Tabla 1 se registra el estado en el que se recibió inicialmente el equipo, mientras que en la Tabla 2 se muestra cómo se entregará al cliente después del ajuste. Es relevante mencionar que el ajuste de indicación se llevó a cabo únicamente con la previa autorización del cliente.

**Tabla 1.**

Indicaciones registradas durante las precargas, previas a ejecutar el ajuste de indicación.

Fuerza Nominal Indicada		Indicaciones Registradas del Equipo Patrón			Promedio $S_{1,2 y 3}$	Errores Relativos	
		$S_1$ Ascendente	$S_2$ Ascendente	$S_3$ Ascendente		Indicación $a$	Repetibilidad $b$
$\leq$ %	kN	kN	kN	kN	kN	%	%
10,0	200,00	206,653	205,186	207,909	206,583 0	-3,18	1,277
46,5	930,00	950,396	941,068	943,409	944,957 8	-1,58	0,970

**Tabla 2.**

Indicaciones como se entrega de la máquina

Fuerza Nominal Indicada		Indicaciones Registradas del Equipo Patrón para Cada Serie					Promedio $S_{1,2 y 3}$
		$S_1$ Ascendente	$S_2$ Ascendente	$S_2'$ No Aplica	$S_3$ Ascendente	$S_4$ No Aplica	
$\leq$ %	kN	kN	kN	----	kN	----	kN
10,0	200,00	200,092	201,503	----	201,438	----	201,011 0
15,0	300,00	299,475	302,322	----	302,322	----	301,373 1
20,0	400,00	400,465	401,754	----	402,923	----	401,713 9
25,0	500,00	500,718	500,894	----	503,361	----	501,657 5
30,0	600,00	600,978	600,011	----	603,563	----	601,517 3
35,0	700,00	700,916	698,652	----	702,924	----	700,831 0
40,0	800,00	800,783	797,489	----	802,990	----	800,420 5
45,0	900,00	900,991	895,553	----	902,777	----	899,773 7
49,5	990,00	991,174	984,368	----	990,749	----	988,763 5

**Tabla 3.**

Error realtivo de cero,  $f_0$ , calculado para cada serie de medición a partir de la indicación de cero residual obtenida tras la descarga del IBC.

$f_{0,01}$	$f_{0,02}$	$f_{0,02}$	$f_{0,03}$	$f_{0,04}$
%	%	%	%	%
0,000	0,000	----	0,000	----

LM-PC-05-F-01 R14.1

**LABORATORIO DE METROLOGÍA PINZUAR LTDA.**

Fuerza • Longitud • Masa • Temperatura

Calle Ricardo Palma No. 998 Urb. San Joaquín - Bellavista - Callao (+51 1) 562 1263 • www.pinzuar.com.co

RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN Continuación...

Tabla 4.  
Resultados de la Calibración de la máquina de ensayo.

Indicación del IBC		Error Relativo de ...			Resolución Relativa	Incertidumbre Expandida		k <sub>p=95%</sub>
= %	kN	Indicación q %	Repetibilidad b %	Reversibilidad v %	a %	U kN	%	
10,0	200,00	-0,5	0,700	-----	0,005	2,1	1,1	4,52
15,0	300,00	-0,5	0,943	-----	0,003	4,3	1,4	4,52
20,0	400,00	-0,43	0,609	-----	0,003	3,3	0,82	4,52
25,0	500,00	-0,33	0,524	-----	0,002	3,9	0,79	4,52
30,0	600,00	-0,25	0,589	-----	0,002	4,9	0,81	4,52
35,0	700,00	-0,12	0,609	-----	0,001	5,7	0,82	4,52
40,0	800,00	-0,05	0,687	-----	0,001	7,4	0,92	4,52
45,0	900,00	0,0	0,804	-----	0,001	10,0	1,1	4,52
49,5	990,00	0,1	0,691	-----	0,001	10	1,0	4,52

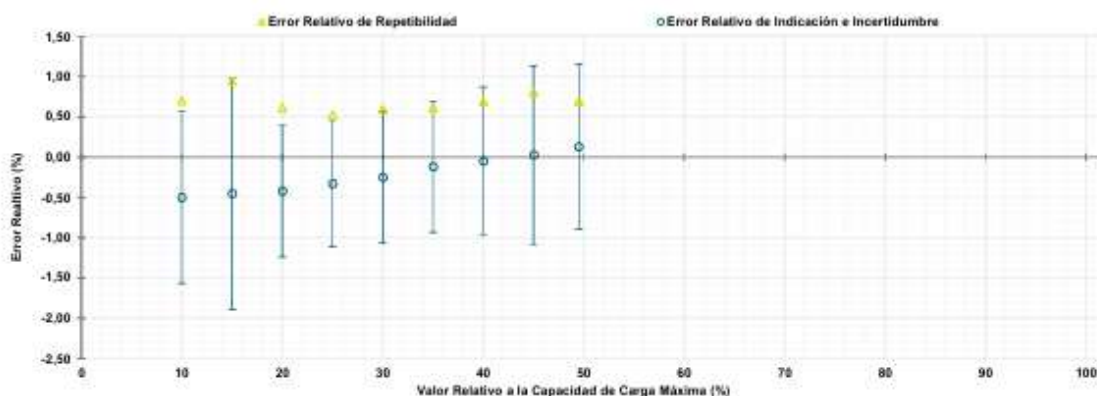


Figura 1. Representación gráfica de los resultados de la Calibración del IBC.

Tabla 5.

Coefficientes para el cálculo de la fuerza corregida a partir de los resultados reportados. Donde F (kN) es la fuerza calculada y X (kN) es el valor de la indicación mostrada por el IBC.

$$F = A + (B \cdot x) + (C \cdot x^2) + (D \cdot x^3)$$

A	B	C	D
-6,838 349 E-01	1,011 087 E00	-1,401 531 E-05	2,337 265 E-09

El usuario es responsable de la inclusión y cálculo de los aportes de la fuente de incertidumbre al utilizar esta ecuación en sus mediciones.

CONDICIONES AMBIENTALES

El lugar de la Calibración fue ARÉA DE RECEPCIÓN de la empresa C3 INGENIERIA ESPECIALIZADA S.A.C. ubicada en HUANCAYO. Durante la Calibración se presentaron las siguientes condiciones ambientales.

Temperatura Ambiente Máxima:	17,0 °C	Temperatura Ambiente Mínima:	15,5 °C
Humedad Relativa Máxima:	59 % hr	Humedad Relativa Mínima:	56 % hr

**F-00436-001 R1**

Página / Pág. 4 de 4

**INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN**

La incertidumbre expandida de medición declarada se expresa como la incertidumbre de medición estándar multiplicada por el factor de cobertura  $k$ , de modo que la probabilidad de cobertura corresponde a aproximadamente el 95%. La incertidumbre expandida fue estimada bajo los lineamientos del documento: JCGM 100:2008. GUM 1995 with minor corrections. Evaluation of measurement data Guide to the expression of uncertainty in measurement. First Edition. September 2008.

El factor de cobertura,  $k$ , reportado en la Tabla 4 es coherente con el tipo de distribución de probabilidad dominante en la estimación de la incertidumbre de medición.

**TRAZABILIDAD**

Los resultados reportados en este certificado de calibración se obtuvieron utilizando patrones trazables al SI a través de institutos nacionales de metrología y/o laboratorios acreditados y son parte de un programa de aseguramiento metrológico que garantiza la exactitud e incertidumbres requeridas. El/Los certificado(s) de calibración de el/los patrón(es) usado(s) como referencia para la calibración en cuestión, que se mencionan en la página dos y se pueden descargar accediendo al enlace del código QR.



Equipo de Referencia	Modelo	No. Serie	Clase	Certificado de Calibración	Próxima Calibración
Transductor de Fuerza 1000 kN	C8S	930040	0.5	6753 del INM de Colombia	2025-06

**CRITERIOS PARA LA CLASIFICACIÓN DE LA MÁQUINA DE ENSAYO**

La siguiente tabla proporciona los valores máximos permitidos, para los diferentes errores relativos del sistema de medición de fuerza y para la resolución relativa del indicador de fuerza que caracteriza la escala de la máquina de ensayo. Según ISO 7500-1:2018 Metallic materials - Calibration and verification of static uniaxial testing machines - Part 1: Tension/compression testing machines - Calibration and verification of the force-measuring system.

Clase de la escala de la máquina	Indicación	Repetibilidad	Reversibilidad*	Cero	Resolución relativa
0.5	0.5	0.5	0.75	0.05	0.25
1	1.0	1.0	1.50	0.10	0.50
2	2.0	2.0	3.00	0.20	1.00
3	3.0	3.0	4.50	0.30	1.50

\*El error relativo de reversibilidad se determina solamente cuando es previamente solicitado por el cliente.

**OBSERVACIONES**

- Se usa la coma (,) como separador decimal.
- Los valores de fuerza en los que se ha ejecutado la calibración fueron acordados y aprobados con el cliente.
- En cualquier caso, la máquina de ensayos debe calibrarse si se realiza un cambio de ubicación que requiera desmontaje, o si se somete a ajustes o reparaciones importantes. Numeral 9. ISO 7500-1:2018
- Se adjunta etiqueta de calibración No. **F-00436-001**
- El presente certificado reemplaza al certificado de calibración No. F-43600-001 R0, expedido con fecha 2024-06-24. Debido a la corrección de la identificación interna del equipo

Fin del Certificado

LM-PC-05-F-01 R14.1

**LABORATORIO DE METROLOGÍA PINZUAR LTDA.**

Fuerza • Longitud • Masa • Temperatura

Calle Ricardo Palma No. 998 Urb. San Joaquín - Bellavista - Callao (+51 1) 562 1263 • www.pinzuar.com.co

## ANEXO 20: FICHA TÉCNICA DEL CEMENTO TIPO PORTLAND TIPO I



### FICHA TÉCNICA

## CEMENTO ANDINO PREMIUM

#### DESCRIPCIÓN:

- Es un cemento Pórtland Tipo I, obtenido de la molienda clinker Tipo I y yeso.

#### BENEFICIOS:

- Alta resistencia a mediano y largo plazo.
- Alta durabilidad de las estructuras.
- Excelente trabajabilidad y acabado.
- Bajo contenido de álcalis. Buena resistencia a los agregados álcali reactivos.
- Moderada resistencia al salitre.

#### USOS:

- Estructuras sólidas de acabados perfectos.
- Construcciones de gran envergadura, como puentes, estructuras industriales y conjuntos habitacionales.
- Postes, vigas, viguetas y shotcrete.

#### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:

- Cumple con la Norma Técnica Peruana NTP-334.009 y la Norma Técnica Americana ASTM C-150.

#### FORMATO DE DISTRIBUCIÓN:

- Bolsas de 42.5 kg: 03 pliegos
- (02 de papel + 01 film plástico)
- Granel: A despacharse en camiones bombonas y big bags.



### RECOMENDACIONES

#### DOSIFICACIÓN:

- Se debe dosificar según la resistencia deseada.
- Respetar la relación agua/cemento (a/c) a fin de obtener un buen desarrollo de resistencias, trabajabilidad y performance del cemento.
- Realizar el curado con agua a fin de lograr un buen desarrollo de resistencia y acabado final.

#### MANIPULACIÓN:

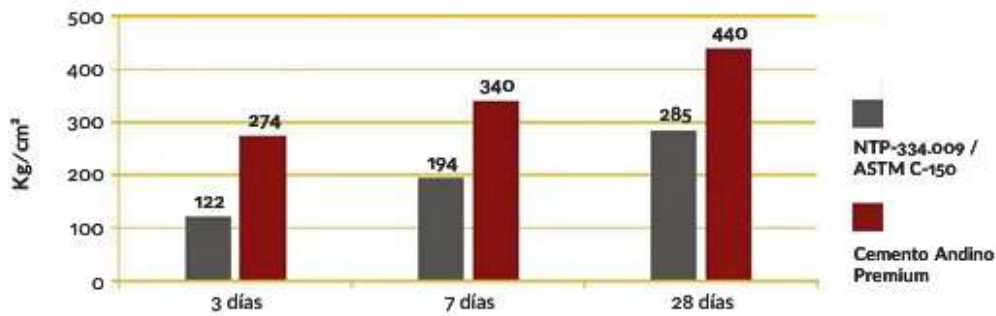
- Se debe manipular el cemento en ambientes ventilados.
- Se recomienda utilizar equipos de protección personal.
- Se debe evitar el contacto del cemento con la piel, los ojos y su inhalación.

#### ALMACENAMIENTO:

- Almacenar las bolsas bajo techo, separadas de paredes y pisos. Protegerlas de las corrientes de aire húmedo.
- No apilar más de 10 bolsas para evitar su compactación.
- En caso de un almacenamiento prolongado, se recomienda cubrir los sacos con un cobertor de polietileno.

## REQUISITOS MECÁNICOS

### COMPARACIÓN RESISTENCIAS NTP-334.009 / ASTM C-150 VS. CEMENTO ANDINO PREMIUM



## PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Parámetro	Unidad	Cemento Andino Premium	Requisitos NTP-334.009 / ASTM C-150
Contenido de aire	%	5.08	Máximo 12
Expansión autoclave	%	-0.02	Máximo 0.80
Superficie específica	m <sup>2</sup> /kg	373	Mínimo 260
Densidad	g/ml	3.15	No específica
<b>Resistencia a la compresión</b>			
Resistencia a la compresión a 3 días	kg/cm <sup>2</sup>	274	Mínimo 122
Resistencia a la compresión a 7 días	kg/cm <sup>2</sup>	340	Mínimo 194
Resistencia a la compresión a 28 días	kg/cm <sup>2</sup>	440	Mínimo 285*
<b>Tiempo de fraguado</b>			
Fraguado Vicat inicial	min	105	Mínimo 45
Fraguado Vicat final	min	282	Máximo 375
<b>Composición química</b>			
MgO	%	1.80	Máximo 6.0
SO <sub>3</sub>	%	2.67	Máximo 3.0
Pérdida al fuego	%	1.49	Máximo 3.0
Residuo insoluble	%	0.72	Máximo 1.5
<b>Fases mineralógicas</b>			
C <sub>2</sub> S	%	17.86	No específica
C <sub>3</sub> S	%	54.88	No específica
C <sub>3</sub> A	%	7.01	No específica
C <sub>4</sub> AF	%	10.37	No específica
<b>Álcalis equivalentes</b>			
Contenido de álcalis equivalentes	%	0.47	Máximo 0.60*
<b>Resistencia a los sulfatos</b>			
Resistencia al ataque de sulfatos	%	0.083	0.10 % máx. a 180 días

\*Requisito opcional

## ANEXO 21: PANEL FOTOGRÁFICO

✚ PIEDRA CHANCADA DE ¾" PROVENIENTE DE LA FERRETERÍA "PAUL"-  
JR. JOSÉ OLAYA, PAMPAS -TAYACAJA



ARENA GRUESA PROVENIENTE DEL RÍO PORVENIR – MANTACRA,  
PAMPAS - TAYACAJA



## ENSAYOS DE AGREGADOS

### ✚ ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD



### ✚ CANTIDAD DE MATERIAL FINO QUE PASA EL TAMIZ N°200 POR LAVADO



## ✚ GRANULOMETRÍA DE AGREGADO GRUESO



## ✚ GRANULOMETRÍA DE AGREGADO FINO



✚ ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO



✚ ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO



✚ ENSAYO DE PESO UNITARIO Y SUELTO DEL AGREGADO GRUESO



✚ ENSAYO DE PESO UNITARIO Y SUELTO DEL AGREGADO FINO



## RECICLADO Y TRITURACIÓN DEL PLÁSTICO PET

### RECICLAJE DE BOTELLAS PLÁSTICAS



### TRITURACIÓN DE LAS BOTELLAS PLÁSTICAS EN EL MOLINO TRITURADORA



✚ ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL PET TRITURADO



✚ ENSAYO DE PESO UNITARIO Y SUELTO DEL PET TRITURADO



✚ DOSIFICACIÓN DE LOS MATERIALES Y TRASLADO DEL AGREGADO A LA MEZCLADORA



## ENSAYOS DE CONCRETO FRESCO

### ✚ ENSAYO DE ASENTAMIENTO



### ✚ ENSAYO DE CONTROL DE TEMPERATURA



✚ ENSAYO DE CONTENIDO DE AIRE



✚ ENSAYO DEL PESO UNITARIO



## ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICAS Y PRISMÁTICOS

### ✚ LIMPIEZA Y ENGRASE DE LOS MOLDES



✚ ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICAS DE 6"X12"



✚ ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES PRISMÁTICOS DE 21" X 6" X 6"



✚ ESPECÍMENES CUBIERTOS CON PLÁSTICO Y BOLSAS PARA NO PERDER HUMEDAD



✚ DESMOLDE DE ESPECÍMENES CILÍNDRICAS Y PRISMÁTICOS



✚ CURADO DE ESPECÍMENES CILÍNDRICAS Y PRISMÁTICOS



✚ CONTROL DEL CALENTADOR DE CURADO Y LA TEMPERATURA DEL AGUA



✚ AÑADIENDO CAL HIDRATADA APAGADA AL CURADO



## ENSAYOS DEL CONCRETO ENDURECIDO

- ✚ CONTROL DE MEDICIÓN DEL DIÁMETRO Y ALTURA DE LOS ESPECÍMENES CILÍNDRICOS



- ✚ PESO DE LOS ESPECÍMENES CILÍNDRICOS



✚ ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN



## ✚ ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA



✚ ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

