

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL  
DE HUAMANGA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y  
CIVIL**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS:**

**Análisis comparativo de las propiedades mecánicas entre  
adoquín convencional y adoquín utilizando agregados  
reciclados de RDC en la ciudad de Ayacucho.**

Para optar el título profesional de:

**INGENIERO CIVIL**

PRESENTADO POR:

**Bach. Ricardo ALTAMIRANO ATAO**

ASESOR:

**Mg. Ing. Edward LEÓN PALACIOS**

**AYACUCHO - PERÚ**

**2025**

## DEDICATORIA

A mis padres:

A la memoria de mi padre Segundino Altamirano Rodríguez y de mi madre Anatolia Atao Godoy, quienes siempre se preocuparon por mi educación y cuya guía, amor y ejemplo siguen acompañándome desde el más allá. Estoy convencido de que me protegen y me inspiran en cada paso que doy.

También dedico este logro a mis amadas hijas Valeri Anabel Altamirano Ccaulla y Sahily Arianna Altamirano Ccaulla, y a mi querida esposa Saryta Ccaulla Contreras, pilares fundamentales de mi vida, motivación constante y razón de mis esfuerzos.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por darme la fortaleza y la oportunidad de culminar mis estudios.

A mis padres, por haberme formado con valores y esfuerzo. En especial, a mi madre Anatolia, por su apoyo incondicional, por inculcarme siempre el valor del estudio y por haber sido mi guía hasta el final de su vida. Gracias a ella, hoy puedo culminar este trabajo profesional.

A mi esposa Saryta, por acompañarme con amor, comprensión y paciencia en los momentos buenos y difíciles. A mi hija Valeri, por su constante preocupación y por estar siempre a mi lado con cariño y aliento.

A mi asesor Ing. Edward León Palacios, por su valioso apoyo y orientación durante el desarrollo de este trabajo de investigación.

A la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, y a todos los docentes que, con dedicación, compartieron sus conocimientos y me formaron a lo largo de esta etapa académica.

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo realizar un análisis comparativo de las propiedades físicas y mecánicas de adoquines de concreto fabricados con agregados naturales procedentes de río y con agregados reciclados provenientes de la trituración de concreto demolido de pistas y veredas en la ciudad de Ayacucho. Se elaboraron cinco diseños de mezcla con diferentes proporciones de agregado reciclado (0%, 25%, 50%, 75% y 100%), utilizando cemento Portland tipo I, y se sometieron a ensayos de resistencia a la compresión a edades de 7, 14, 21 y 28 días, así como a pruebas de absorción, alabeo y dimensionalidad, de acuerdo con las normas NTP 399.611, NTP 399.613, NTP 400.012, NTP 400.010, ASTM 143 y AASHTO T 119. Los resultados demostraron que los adoquines con hasta 50% de agregado reciclado cumplieron con los requisitos normativos en cuanto a resistencia y absorción, mientras que los diseños con 75% y 100% de agregado reciclado presentaron valores de absorción fuera de los límites permitidos. Se concluyó que era técnicamente viable utilizar hasta un 50% de agregado reciclado en la fabricación de adoquines para pavimentos, proponiendo una alternativa sostenible para el aprovechamiento de residuos de construcción sin comprometer la calidad estructural del producto.

**Palabras Claves:** Adoquines de concreto, agregados reciclados, resistencia a la compresión, sostenibilidad.

## ABSTRACT

The objective of this research was to conduct a comparative analysis of the physical and mechanical properties of concrete paving stones made with natural aggregates from rivers and recycled aggregates from the crushing of demolished concrete from roads and sidewalks in the city of Ayacucho. Five mix designs with different proportions of recycled aggregate (0%, 25%, 50%, 75% and 100%) were developed using Portland cement type I, and subjected to compressive strength tests at ages of 7, 14, 21 and 28 days, as well as absorption, warping and dimensionality tests, in accordance with NTP 399.611, NTP 399.613, NTP 400.012, NTP 400.010, ASTM 143 and AASHTO T 119 standards. The results showed that pavers with up to 50% recycled aggregate met regulatory requirements for strength and absorption, while designs with 75% and 100% recycled aggregate showed absorption values outside the allowable limits. It was concluded that it was technically feasible to use up to 50% recycled aggregate in the manufacture of paving stones, proposing a sustainable alternative for the use of construction waste without compromising the structural quality of the product.

**Keywords:** Concrete paving stones, recycled aggregates, compressive strength, sustainability.

## ÍNDICE

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT.....	v
ÍNDICE.....	vi
LISTA DE TABLAS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	xiv
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
1.1. Descripción del problema.....	15
1.2. Delimitación del problema.....	15
1.2.1. Espacial (geográfica).....	15
1.2.2. Temática y unidad de análisis.....	16
1.3. Formulación del problema.....	16
1.3.1. Problema general.....	16
1.3.2. Problemas específicos.....	16
1.4. Justificación e importancia.....	17
1.4.1. Justificación.....	17
1.4.2. Importancia.....	17
1.5. Limitaciones de la investigación.....	18
1.6. Objetivos.....	18
1.6.1. Objetivo general.....	18
1.6.2. Objetivos específicos.....	19
II. MARCO TEÓRICO.....	20
2.1. Antecedentes.....	20
2.1.1. Investigaciones internacionales.....	20
2.1.2. Investigaciones nacionales.....	21

2.2.	Bases teóricas .....	22
2.2.1.	Concreto y sus componentes .....	22
2.2.2.	Adoquines de concreto.....	23
2.2.3.	Residuos de construcción y demolición (RDC).....	25
2.2.4.	Agregados reciclados.....	27
2.2.5.	Propiedades físico-mecánicas del adoquín .....	29
2.2.6.	Normativa técnica aplicable.....	31
2.3.	Marco Conceptual.....	32
2.3.1.	Adoquín convencional.....	32
2.3.2.	Adoquín con agregado reciclado de RDC .....	32
2.3.3.	Agregado reciclado de concreto.....	33
2.3.4.	Resistencia a la compresión.....	34
2.3.5.	Absorción de agua .....	35
2.3.6.	Alabeo.....	36
2.3.7.	Tolerancia dimensional .....	37
2.3.8.	Normativa NTP 399.611 .....	38
2.3.9.	Sustitución parcial del agregado natural.....	39
2.3.10.	Evaluación comparativa .....	39
III.	MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN.....	41
3.1.	Enfoque .....	41
3.2.	Alcance.....	41
3.3.	Diseño de investigación .....	42
3.4.	Población y muestra .....	42
3.4.1.	Población .....	42
3.4.2.	Muestra.....	42
3.5.	Hipótesis.....	43
3.5.1.	Hipótesis general .....	43
3.5.2.	Hipótesis específicas.....	43
3.6.	Operacionalización de variables .....	43

3.7.	Técnicas e instrumentos .....	45
3.7.1.	Técnicas.....	45
3.7.2.	Instrumentos .....	45
3.8.	Técnicas estadísticas para el procesamiento de la información .....	45
3.9.	Desarrollo del trabajo de tesis.....	46
3.9.1.	Selección de herramientas equipos y materiales.....	46
3.9.2.	Proceso de fabricación de adoquines de concreto .....	49
3.9.3.	Ensayos al concreto fresco durante la fabricación de adoquines. ....	54
3.9.4.	Ensayos del concreto endurecido en adoquines fabricados en laboratorio 56	
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	90
4.1.	Ensayo de verificación dimensional .....	91
4.2.	Ensayo de verificación de alabeo.....	93
4.3.	Ensayo de absorción .....	94
4.4.	Ensayo de resistencia a la compresión uniaxial .....	97
4.5.	Contrastación de la Hipótesis .....	102
	CONCLUSIONES .....	113
	RECOMENDACIONES .....	114
	Futuras líneas de investigación .....	115
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	116
	ANEXOS .....	118

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Requisitos técnicos mínimos para adoquines de concreto según la NTP 399.611:2017 .....	38
<b>Tabla 2</b> Cuadro de Operacionalización de variables .....	44
<b>Tabla 3</b> Dosificación final por m <sup>3</sup> de concreto:.....	49
<b>Tabla 4</b> Tolerancia dimensional en adoquines de concreto.....	56
<b>Tabla 5</b> Dimensiones registradas en adoquines de concreto con 100 % de agregado de río, conforme a NTP 399.613 y NTP 399.604 (dimensiones nominales: 20 × 10 × 8 cm). .....	60
<b>Tabla 6</b> Dimensiones registradas en adoquines de concreto con 75 % de agregado de río y 25 % de agregado reciclado, según NTP 399.613 y NTP 399.604 (dimensiones nominales: 20 × 10 × 8 cm). .....	61
<b>Tabla 7</b> Dimensiones registradas en adoquines de concreto con 50 % de agregado de río y 50 % de agregado reciclado, según NTP 399.613 y NTP 399.604 (dimensiones nominales: 20 × 10 × 8 cm). .....	62
<b>Tabla 8</b> Dimensiones registradas en adoquines de concreto con 25 % de agregado de río y 75 % de agregado reciclado, según NTP 399.613 y NTP 399.604 (dimensiones nominales: 20 × 10 × 8 cm). .....	63
<b>Tabla 9</b> Dimensiones registradas en adoquines de concreto con el 100% agregado reciclado., según NTP 399.613 y NTP 399.604 (dimensiones nominales: 20 × 10 × 8 cm). .....	64
<b>Tabla 10</b> Registro y análisis del alabeo en adoquines de concreto con agregado 100 % de río conforme a la NTP 399.613.....	68
<b>Tabla 11</b> <i>Registro y análisis del alabeo en adoquines de concreto fabricados con 75 % de agregado de río y 25 % de agregado reciclado, conforme a la NTP 399.613.....</i>	68
<b>Tabla 12</b> <i>Registro y análisis del alabeo en adoquines de concreto fabricados con 50 % de agregado de río y 50 % de agregado reciclado, conforme a la NTP 399.613.....</i>	69
<b>Tabla 13</b> <i>Registro y análisis del alabeo en adoquines de concreto fabricados con 25 % de agregado de río y 75 % de agregado reciclado, conforme a la NTP 399.613.....</i>	69
<b>Tabla 14</b> <i>Registro y análisis del alabeo en adoquines de concreto fabricados con el 100 % de agregado reciclado, conforme a la NTP 399.613. ....</i>	70
<b>Tabla 15</b> <i>Límites de absorción según el tipo de adoquín de concreto. ....</i>	71
<b>Tabla 16</b> <i>Registro y resultados del ensayo de absorción en adoquines de concreto con 100 % de agregado natural de río, conforme a las normas NTP 399.604 y NTP 399.613. ....</i>	72

<b>Tabla 17</b> Registro y resultados del ensayo de absorción en adoquines de concreto fabricados con 75 % de agregado de río y 25 % de agregado reciclado, conforme a las normas NTP 399.604 y NTP 399.613.....	73
<b>Tabla 18</b> Registro y resultados del ensayo de absorción en adoquines de concreto fabricados con 50 % de agregado de río y 50 % de agregado reciclado, conforme a las normas NTP 399.604 y NTP 399.613.....	73
<b>Tabla 19</b> Registro y resultados del ensayo de absorción en adoquines de concreto fabricados con 25 % de agregado de río y 75 % de agregado reciclado, conforme a las normas NTP 399.604 y NTP 399.613.....	74
<b>Tabla 20</b> Registro y resultados del ensayo de absorción en adoquines de concreto fabricados con el 100 % de agregado reciclado, conforme a las normas NTP 399.604 y NTP 399.613.....	74
<b>Tabla 21</b> Combinaciones de áridos naturales y reciclados.....	76
<b>Tabla 22</b> Registro de compresión uniaxial a 7 días en adoquines con agregado 100 % natural.....	77
<b>Tabla 23</b> Registro de compresión uniaxial a 7 días en adoquines fabricados con 75 % de agregado de río y 25 % de agregado reciclado.....	77
<b>Tabla 24</b> Registro de compresión uniaxial a 7 días en adoquines fabricados con 50 % de agregado de río y 50 % de agregado reciclado.....	78
<b>Tabla 25</b> Registro de compresión uniaxial a 7 días en adoquines fabricados con 25 % de agregado de río y 75 % de agregado reciclado.....	78
<b>Tabla 26</b> Registro de compresión uniaxial a 7 días en adoquines fabricados con 100 % de agregado reciclado.....	79
<b>Tabla 27</b> Registro de compresión uniaxial a 14 días en adoquines con agregado 100 % natural.....	79
<b>Tabla 28</b> Registro de compresión uniaxial a 14 días en adoquines fabricados con 75 % de agregado de río y 25 % de agregado reciclado.....	80
<b>Tabla 29</b> Registro de compresión uniaxial a 14 días en adoquines fabricados con 50 % de agregado de río y 50 % de agregado reciclado.....	80
<b>Tabla 30</b> Registro de compresión uniaxial a 14 días en adoquines fabricados con 25 % de agregado de río y 75 % de agregado reciclado.....	81
<b>Tabla 31</b> Registro de compresión uniaxial a 14 días en adoquines fabricados con 100 % de agregado reciclado.....	81
<b>Tabla 32</b> Registro de compresión uniaxial a 21 días en adoquines con agregado 100 % natural.....	82

<b>Tabla 33</b> Registro de compresión uniaxial a 21 días en adoquines fabricados con 75 % de agregado de río y 25 % de agregado reciclado.....	82
<b>Tabla 34</b> Registro de compresión uniaxial a 21 días en adoquines fabricados con 50 % de agregado de río y 50 % de agregado reciclado.....	83
<b>Tabla 35</b> Registro de compresión uniaxial a 21 días en adoquines fabricados con 25 % de agregado de río y 75 % de agregado reciclado.....	83
<b>Tabla 36</b> Registro de compresión uniaxial a 21 días en adoquines fabricados con 100 % de agregado reciclado.....	84
<b>Tabla 37</b> Registro de compresión uniaxial a 28 días en adoquines con agregado 100 % natural.....	84
<b>Tabla 38</b> Registro de compresión uniaxial a 28 días en adoquines fabricados con 75 % de agregado de río y 25 % de agregado reciclado.....	85
<b>Tabla 39</b> Registro de compresión uniaxial a 28 días en adoquines fabricados con 50 % de agregado de río y 50 % de agregado reciclado.....	85
<b>Tabla 40</b> Registro de compresión uniaxial a 28 días en adoquines fabricados con 25 % de agregado de río y 75 % de agregado reciclado.....	86
<b>Tabla 41</b> Registro de compresión uniaxial a 28 días en adoquines fabricados con 100 % de agregado reciclado.....	86
<b>Tabla 42</b> Dosificación de concreto con combinación de agregado reciclado y natural.	90
<b>Tabla 43</b> Resultados del control dimensional expresados en milímetros.....	91
<b>Tabla 44</b> Límites de variación dimensional establecidos por norma.....	91
<b>Tabla 45</b> Diferencia entre los valores obtenidos y los límites establecidos por la norma.....	92
<b>Tabla 46</b> Registro de deformaciones por concavidad y convexidad en adoquines de concreto.....	93
<b>Tabla 47</b> Resultados de ensayo de absorción.....	94
<b>Tabla 48</b> Límites máximos de absorción de agua según el tipo de adoquín de concreto (NTP 399.611:2017).....	96
<b>Tabla 49</b> Resultados de resistencia a compresión del adoquín con agregado natural (mezcla patrón).....	97
<b>Tabla 50</b> Valores mínimos de resistencia a compresión según la Norma NTP 399.611.....	98
<b>Tabla 51</b> Valores registrados de resistencia a los 7 días en adoquines de concreto. ..	99
<b>Tabla 52</b> Valores registrados de resistencia a los 14 días en adoquines de concreto.	99
<b>Tabla 53</b> Valores registrados de resistencia a los 21 días en adoquines de concreto.....	100

<b>Tabla 54</b> <i>Valores registrados de resistencia a los 28 días en adoquines de concreto.</i>	100
<b>Tabla 55</b> <i>Valores promedio registrados de resistencia a compresión a los 7, 14, 21 y 28 días en adoquines de concreto.</i>	100
<b>Tabla 56</b> <i>Valores promedio registrados de resistencia a compresión a los 7, 14, 21 y 28 días en adoquines de concreto (expresados en porcentajes).</i>	101
<b>Tabla 57</b> <i>Prueba de normalidad Shapiro-Wilk.</i>	103
<b>Tabla 58</b> <i>Prueba ANOVA para la absorción.</i>	103
<b>Tabla 59</b> <i>Prueba HSD Tukey para la absorción (subconjuntos homogéneos).</i>	104
<b>Tabla 60</b> <i>Resistencia a los 7 días: Prueba de normalidad Shapiro-Wilk.</i>	105
<b>Tabla 61</b> <i>Prueba ANOVA para la resistencia a los 7 días.</i>	106
<b>Tabla 62</b> <i>Prueba HSD Tukey para la resistencia a los 7 días (subconjuntos homogéneos).</i>	106
<b>Tabla 63</b> <i>Resistencia a los 14 días: Prueba de normalidad Shapiro-Wilk.</i>	107
<b>Tabla 64</b> <i>Prueba ANOVA para la resistencia a los 14 días.</i>	107
<b>Tabla 65</b> <i>Prueba HSD Tukey para la resistencia a los 14 días (subconjuntos homogéneos).</i>	108
<b>Tabla 66</b> <i>Prueba de normalidad Shapiro-Wilk.</i>	108
<b>Tabla 67</b> <i>Prueba ANOVA para la resistencia a los 21 días.</i>	109
<b>Tabla 68</b> <i>Prueba HSD Tukey para la resistencia a los 21 días (subconjuntos homogéneos).</i>	109
<b>Tabla 69</b> <i>Prueba de normalidad Shapiro-Wilk.</i>	110
<b>Tabla 70</b> <i>Prueba ANOVA para la resistencia a los 28 días.</i>	110
<b>Tabla 71</b> <i>Prueba HSD Tukey para la resistencia a los 28 días (subconjuntos homogéneos).</i>	111

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Adoquines prefabricados de concreto – patrón de instalación entrelazado...	24
<b>Figura 2</b> Dosificación en peso con 25 % de agregado reciclado y 75 % de río en la mezcla.....	50
<b>Figura 3</b> Moldeo de adoquines con dosificación 50 % de agregado reciclado y 50 % de agregado de río.....	51
<b>Figura 4</b> Desmoldeo de adoquines con dosificación 50 % de agregado reciclado y 50 % de agregado de río.....	52
<b>Figura 5</b> Marcado de adoquines tras 24 horas, antes del curado en agua.....	53
<b>Figura 6</b> Inspección, identificación y almacenamiento de adoquines.....	54
<b>Figura 7</b> Ensayo de slump con asentamiento de 3” en concreto fresco.....	55
<b>Figura 8</b> Muestras de adoquines de concreto identificados para el ensayo de dimensionamiento.....	57
<b>Figura 9</b> Medición de las dimensiones de los adoquines de concreto con Vernier digital para calcular la variación dimensional.....	58
<b>Figura 10</b> Registro de medidas obtenidas con Vernier digital para el análisis de variación dimensional en adoquines.....	59
<b>Figura 11</b> Registro de deformaciones por alabeo en elementos prefabricados.....	66
<b>Figura 12</b> Medición de la distorsión por alabeo en superficie y bordes.....	67
<b>Figura 13</b> Preparación del adoquín de concreto para el ensayo de carga axial.....	76
<b>Figura 14</b> Ensayo de compresión uniaxial en adoquines de concreto con 75 % de agregado de río y 25 % de agregado reciclado, a los 7 días de curado.....	87
<b>Figura 15</b> Ensayo de compresión uniaxial a los 14 días en adoquines de concreto con dosificación de 100 % de agregado de río.....	88
<b>Figura 16</b> Ensayo de compresión uniaxial a los 28 días en adoquines de concreto con dosificación del 100 % de agregado reciclado.....	89
<b>Figura 17</b> Dimensiones de adoquín.....	91
<b>Figura 18</b> <i>Gráfica de concavidad y convexidad registrada en los adoquines de concreto como resultado del experimento.....</i>	93
<b>Figura 19</b> Gráfica del comportamiento de absorción en adoquines de concreto.....	95
<b>Figura 20</b> Ilustración de la absorción de agua en las diferentes dosificaciones.....	95
<b>Figura 21</b> Curva Tiempo versus Resistencia del agregado natural (Patrón).....	97

## INTRODUCCIÓN

El crecimiento acelerado de la industria de la construcción en las últimas décadas ha generado un incremento considerable en los residuos de construcción y demolición (RDC), lo que plantea un reto ambiental significativo para las ciudades en desarrollo, como Ayacucho. En respuesta a esta problemática, la reutilización de materiales reciclados provenientes de dichos residuos se ha convertido en una alternativa sostenible que promueve la economía circular y reduce el impacto ambiental. En este contexto, el presente trabajo de investigación se centró en evaluar el comportamiento mecánico de adoquines de concretos fabricados con agregados reciclados de RDC, en comparación con los adoquines convencionales elaborados con agregados naturales procedentes de río.

El estudio se sustentó en la elaboración de cinco diseños de mezcla con diferentes proporciones de agregado reciclado (0%, 25%, 50%, 75% y 100%) y el uso de cemento Portland tipo I, sometiendo los especímenes a ensayos de resistencia a la compresión en edades de 7, 14, 21 y 28 días, así como a pruebas de absorción, alabeo y dimensionalidad, de acuerdo con normas técnicas peruanas y estándares internacionales.

Los resultados permitieron identificar el porcentaje óptimo de sustitución del agregado natural por reciclado, evidenciando que hasta un 50% de incorporación de RDC es viable sin afectar significativamente la calidad del producto. Esta investigación aporta conocimiento técnico sobre la aplicación de materiales reciclados en elementos de pavimentación urbana, promoviendo prácticas sostenibles en el sector de la construcción y aportando una solución concreta al problema de gestión de residuos en la región.

## I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. Descripción del problema

La ciudad de Ayacucho, al igual que muchas otras en desarrollo, enfrenta un crecimiento sostenido en las actividades de construcción, lo que ha conllevado a un aumento significativo en los residuos de construcción y demolición (RDC), tales como restos de concreto de veredas, pistas y estructuras deterioradas. Estos residuos, al no ser gestionados adecuadamente, generan impactos negativos en el ambiente, ocupan espacios en los botaderos municipales y representan una amenaza para la sostenibilidad urbana. Paralelamente, la demanda de materiales pétreos naturales, como los agregados de río, continúa en aumento, generando sobreexplotación de fuentes naturales y afectando los ecosistemas acuáticos.

En este contexto, surge la necesidad de buscar alternativas sostenibles que permitan reducir el impacto ambiental, disminuir la extracción de recursos naturales y valorizar los residuos de construcción. Sin embargo, existe incertidumbre sobre el desempeño mecánico de materiales reciclados cuando se incorporan en elementos estructurales como los adoquines de concreto, especialmente en cuanto a su resistencia, durabilidad y cumplimiento normativo.

Por ello, se plantea la siguiente interrogante: ¿Es viable técnica y normativamente utilizar agregados reciclados provenientes de RDC en la fabricación de adoquines de concreto para pavimentos urbanos en la ciudad de Ayacucho? Esta pregunta da origen al presente estudio, que busca evaluar comparativamente las propiedades físicas y mecánicas de adoquines fabricados con distintos porcentajes de agregado reciclado, en relación con adoquines convencionales, y así determinar su aplicabilidad real en proyectos de infraestructura vial urbana.

### 1.2. Delimitación del problema

#### 1.2.1. Espacial (geográfica)

La presente investigación se desarrolló en la ciudad de Ayacucho, provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho – Perú. La recolección de residuos de construcción y demolición (RDC) se realizó a partir del reemplazo de pavimento rígido

extraído del Jr. Sol. 4ta. cuadra, zona urbana intervenida por obras de mejoramiento vial. Los ensayos físicos y mecánicos de los adoquines se llevaron a cabo en el Laboratorio Especializado JKEMSCA, equipado para la evaluación de propiedades como resistencia a la compresión, absorción, alabeo y dimensionamiento. Esta delimitación permitió aplicar la investigación en un contexto urbano real, con materiales y condiciones representativas de la región.

### **1.2.2. Temática y unidad de análisis**

La investigación se enfocó en el análisis comparativo de las propiedades físicas y mecánicas de adoquines de concreto fabricados con agregados reciclados provenientes de residuos de construcción y demolición (RDC), en comparación con adoquines convencionales elaborados con agregados naturales. Se abordaron específicamente los parámetros de resistencia a la compresión, absorción, alabeo y dimensionalidad, con el fin de evaluar la viabilidad técnica del uso de agregados reciclados en la fabricación de elementos de pavimentación urbana, bajo el cumplimiento de normas técnicas nacionales e internacionales.

## **1.3. Formulación del problema**

### **1.3.1. Problema general**

¿En qué medida el uso de agregados reciclados de residuos de construcción y demolición (RDC) influye en las propiedades físicas y mecánicas de los adoquines de concreto, en comparación con los adoquines fabricados con agregados naturales en la ciudad de Ayacucho?

### **1.3.2. Problemas específicos**

- a. ¿Cómo varía la resistencia a la compresión de los adoquines según la proporción de agregado reciclado utilizada?
- b. ¿Qué comportamiento presenta la absorción de agua en los adoquines fabricados con diferentes proporciones de agregado reciclado?
- c. ¿Los adoquines reciclados cumplen con las especificaciones de alabeo y tolerancia dimensional establecidas en la NTP 399.611?

## **1.4. Justificación e importancia**

### **1.4.1. Justificación**

El crecimiento sostenido del sector construcción ha generado una acumulación considerable de residuos de construcción y demolición (RDC), los cuales, en muchas ciudades como Ayacucho, no cuentan con un manejo adecuado, generando impactos negativos en el ambiente, en la salud pública y en el uso del espacio urbano. Paralelamente, la creciente demanda de materiales pétreos naturales, como los agregados de río, contribuye a la degradación de ecosistemas acuáticos por la sobreexplotación de canteras y cauces.

Ante esta problemática, surge la necesidad de evaluar alternativas sostenibles que permitan reutilizar estos residuos como materia prima en la elaboración de elementos constructivos. Los adoquines de concreto, utilizados ampliamente en pavimentación urbana, representan una opción ideal para experimentar con agregados reciclados, siempre que sus propiedades mecánicas y físicas cumplan con las normas técnicas establecidas.

Este estudio se justifica en tres niveles:

- Social, porque promueve la valorización de residuos y el cuidado del ambiente mediante prácticas constructivas responsables.
- Técnico-científico, porque evalúa con rigor experimental la influencia del uso de agregados reciclados en la calidad del concreto, aportando evidencia verificable.
- Económico, porque demuestra el potencial ahorro en costos de materiales al reducir la dependencia de agregados naturales.
- Finalmente, esta investigación contribuirá al desarrollo de soluciones innovadoras en el campo de la ingeniería civil, fomentando una cultura de sostenibilidad en la región, alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente en lo referido a producción y consumo responsables.

### **1.4.2. Importancia**

Esta investigación es relevante porque contribuye al desarrollo de soluciones sostenibles en el sector de la construcción, al evaluar la viabilidad técnica del uso de agregados reciclados provenientes de residuos de construcción y demolición (RDC) en la fabricación de adoquines de concreto. Su importancia radica en que propone una

alternativa concreta para reducir el impacto ambiental generado por los residuos sólidos, al mismo tiempo que disminuye la demanda de agregados naturales, cuya explotación compromete los ecosistemas hídricos y la disponibilidad de recursos en el largo plazo.

Asimismo, el estudio tiene valor académico y científico, al generar información experimental que puede servir de base para futuras investigaciones sobre materiales reciclados en elementos estructurales y urbanos. Desde el punto de vista técnico, permite identificar la proporción óptima de agregado reciclado que garantiza el cumplimiento de normas de calidad, aportando criterios para el diseño de mezclas eficientes y resistentes.

En el contexto local, esta tesis tiene un impacto significativo en la ciudad de Ayacucho, donde la gestión de residuos y la necesidad de infraestructura urbana sostenible son prioridades. Finalmente, la aplicación de los resultados puede fortalecer políticas públicas orientadas al reciclaje en la construcción y al desarrollo de ciudades más responsables con el medio ambiente.

## **1.5. Limitaciones de la investigación**

Esta investigación, si bien aporta evidencia técnica relevante sobre el uso de agregados reciclados en la fabricación de adoquines, presenta algunas limitaciones. El estudio se desarrolló en un contexto local específico, con materiales disponibles en una zona urbana concreta, lo que puede influir en la reproducibilidad de los resultados en otros entornos. Además, el enfoque experimental se centró en propiedades a corto plazo, sin abarcar el comportamiento de los adoquines en condiciones reales de uso o exposición prolongada. Estas limitaciones abren oportunidades para futuras investigaciones más amplias y con mayor alcance temporal y geográfico.

## **1.6. Objetivos**

### **1.6.1. Objetivo general**

Analizar comparativamente las propiedades físicas y mecánicas de los adoquines de concreto fabricados con agregados reciclados de RDC y con agregados naturales en la ciudad de Ayacucho.

### **1.6.2. Objetivos específicos**

- a. Evaluar la resistencia a la compresión de adoquines con diferentes proporciones de agregado reciclado a los 7, 14, 21 y 28 días.
- b. Determinar el porcentaje de absorción de agua en los adoquines según la proporción de agregado reciclado.
- c. Verificar el cumplimiento de los parámetros de alabeo y dimensionalidad de los adoquines en base a la norma NTP 399.611.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

#### 2.1.1. Investigaciones internacionales

Bravo-German et al. (2021) En su estudio "Mechanical Properties of Concrete Using Recycled Aggregates Obtained from Old Paving Stones", Bravo-German et al. (2021) evaluaron el efecto de reemplazar el 50% en peso de los agregados finos y gruesos por agregados reciclados provenientes de adoquines antiguos en la fabricación de nuevos adoquines de concreto. Los resultados indicaron que esta sustitución no afecta significativamente el comportamiento mecánico del concreto, sugiriendo la viabilidad de utilizar estos agregados reciclados en nuevas piezas prefabricadas, reduciendo así los impactos ambientales y los costos en proyectos de infraestructura.

Attri et al. (2020), en su investigación "Paver blocks manufactured from construction & demolition waste", exploraron la fabricación de adoquines utilizando residuos de construcción y demolición. El estudio concluyó que es factible reemplazar hasta un 75% de los agregados naturales por reciclados en la producción de adoquines, manteniendo propiedades mecánicas adecuadas y contribuyendo a la reducción de residuos en la construcción.

Guo et al. (2018) investigaron las propiedades mecánicas, durabilidad y evaluación del ciclo de vida de bloques de concreto que incorporan agregados reciclados de concreto. El estudio concluyó que es posible utilizar hasta un 75% de agregados reciclados sin comprometer significativamente la resistencia a la compresión y la durabilidad de los bloques, promoviendo así prácticas de construcción más sostenibles.

Balasubramanian et al. (2020) En su estudio "Manufacture of Concrete Paver Blocks with Recycled Demolition Waste", Balasubramanian et al. (2020) evaluaron la fabricación de adoquines de concreto utilizando residuos de demolición como reemplazo total del agregado fino. Los adoquines producidos alcanzaron el 91% de la resistencia a la compresión en comparación con los convencionales, lo que indica que los residuos de demolición pueden ser utilizados eficazmente en pavimentos de baja carga.

Rahul et al. (2021) investigaron la influencia de residuos de ladrillo y sus finos como reemplazo del agregado fino en adoquines. Los resultados preliminares indicaron que es posible utilizar estos residuos sin comprometer significativamente las propiedades mecánicas de los adoquines, ofreciendo una alternativa sostenible en la construcción.

### **2.1.2. Investigaciones nacionales**

Castañeda Cruz y Vásquez Barreto (2014), en su investigación sobre la aplicación de concreto reciclado en la producción de adoquines para pavimentos de tránsito vehicular ligero en Chiclayo, evaluaron el reemplazo parcial del agregado natural por agregado reciclado proveniente de la trituración de concreto. Los resultados mostraron que se puede sustituir hasta un 70% del agregado sin afectar significativamente la resistencia mecánica, cumpliendo con los parámetros exigidos para tránsito liviano.

Fernández Salazar (2021) desarrolló una investigación centrada en el uso de concreto reciclado para el diseño y fabricación de pavimentos articulados destinados al tránsito peatonal. Se ensayaron distintas proporciones de agregado reciclado en mezclas de concreto, logrando una resistencia a la compresión de hasta 290.6 kg/cm<sup>2</sup>, lo que demostró la viabilidad técnica del uso de este material en adoquines peatonales, además de una reducción en los costos unitario

Agurto Medina (2023) evaluó adoquines de concreto fabricados con diferentes proporciones de agregado reciclado (35%, 50% y 65%) como reemplazo del agregado grueso natural. Los ensayos de resistencia a la compresión indicaron que hasta un 50% de reemplazo cumple con la norma NTP 399.611, mientras que con 65% los valores de resistencia disminuyen por debajo del umbral permitido, afectando la viabilidad técnica.

Chapia Fernández (2021) estudió adoquines vibro compactados utilizando agregado grueso reciclado y evaluó sus propiedades físico-mecánicas. La investigación encontró que el uso de agregado reciclado reduce ligeramente la resistencia a la compresión, aunque puede mantenerse dentro de límites normativos si se ajustan las proporciones de mezcla.

Luque Loayza y Vargas Ccolque (2024) compararon adoquines fabricados con polietileno reciclado frente a los convencionales. Aunque no se usaron residuos de construcción, se abordó el efecto del reemplazo parcial de agregados finos sobre la resistencia mecánica, encontrando mejoras hasta del 5.82% en compresión al añadir un 1% de HDPE, lo que demuestra que el tipo de agregado influye significativamente en las propiedades del adoquín

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Concreto y sus componentes**

El concreto es un material compuesto fundamental en la ingeniería civil, ampliamente utilizado en estructuras, pavimentos y elementos prefabricados debido a su versatilidad, resistencia y durabilidad. Está conformado principalmente por cemento, agua, agregados finos (arena) y agregados gruesos (grava o piedra), cuya combinación forma una mezcla que, al fraguar y endurecer, se convierte en un material de alta resistencia mecánica (Neville, 2012).

El cemento Portland, habitualmente tipo I, actúa como aglutinante hidráulico que, al reaccionar con el agua, forma productos de hidratación que unen los agregados. La relación agua/cemento ( $a/c$ ) es uno de los factores más determinantes en la resistencia del concreto: a menor relación  $a/c$ , mayor resistencia, pero menor trabajabilidad (Mehta & Monteiro, 2014).

Los agregados representan entre el 60% y 80% del volumen del concreto, y su calidad, tamaño, forma, textura superficial y distribución granulométrica influyen directamente en las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido. Los agregados finos (generalmente arenas naturales o trituradas) llenan los vacíos entre los agregados gruesos y mejoran la trabajabilidad. Los agregados gruesos aportan resistencia y estabilidad dimensional (Mindess et al., 2003).

El agua debe ser potable o cumplir con ciertos requisitos químicos para evitar reacciones indeseadas. Su función es iniciar la hidratación del cemento y otorgar fluidez a la mezcla.

Además, pueden incorporarse aditivos químicos para modificar características específicas del concreto, como la velocidad de fraguado, la retención de agua o la resistencia a la congelación.

En resumen, la correcta selección y proporción de los componentes del concreto es clave para obtener una mezcla que cumpla con los requerimientos de resistencia, durabilidad y trabajabilidad en función del uso específico del elemento estructural o prefabricado, como los adoquines de concreto.

### **2.2.2. Adoquines de concreto**

Los adoquines de concreto son unidades prefabricadas utilizadas para la pavimentación de áreas urbanas, tales como calles peatonales, avenidas de tránsito vehicular liviano, ciclovías, estacionamientos, parques y plazas. Su creciente uso en infraestructura urbana se debe a su durabilidad, resistencia mecánica, facilidad de instalación, mantenimiento sencillo y su carácter modular, que permite una rápida reposición en caso de deterioro o intervención de servicios (Mindess et al., 2003).

Estos elementos están elaborados mediante un proceso industrial controlado, a partir de una mezcla de cemento Portland, agregados finos y gruesos (naturales o reciclados) y agua, la cual es dosificada y sometida a compactación y vibración mecánica. A diferencia del concreto vertido en obra, el concreto para adoquines posee una relación agua/cemento baja, que mejora la resistencia mecánica y reduce la absorción de agua, lo que incrementa su durabilidad frente a agentes físicos y químicos como la humedad, heladas o abrasión superficial (Neville, 2012).

## Figura 1

*Adoquines prefabricados de concreto – patrón de instalación entrelazado*



*Nota: Elaboración propia*

### **a) Propiedades técnicas exigidas**

Para garantizar su calidad, los adoquines deben cumplir con normas técnicas nacionales e internacionales. En el caso peruano, la Norma Técnica Peruana NTP 399.611 establece los requisitos mínimos que deben cumplir los adoquines de concreto para uso en pavimentos. Esta norma clasifica los adoquines en función de su resistencia a la compresión:

- Tipo I: para tránsito vehicular ligero (mínimo 29.4 MPa o 380 kg/cm<sup>2</sup>).
- Tipo II: para tránsito peatonal (mínimo 17.6 MPa o 180 kg/cm<sup>2</sup>).

Además, se exige que los adoquines presenten una absorción máxima de agua de 6%, y que sus dimensiones, alabeo, escuadría y espesor cumplan tolerancias que aseguren el correcto ensamblaje e interbloqueo entre piezas.

### **b) Comportamiento estructural y funcional**

Desde el punto de vista del diseño vial, los adoquines no se comportan como una losa monolítica, sino como un sistema flexible conformado por múltiples elementos

Inter bloqueados sobre una base granular y una cama de arena fina. El desempeño del sistema depende tanto de la calidad de los adoquines como de su correcta instalación, confinamiento lateral y mantenimiento de las juntas. El conjunto actúa en forma de malla estructural capaz de distribuir cargas y tolerar asentamientos menores sin presentar fisuración estructural.

Este sistema presenta ventajas frente a pavimentos rígidos tradicionales, como su capacidad de drenaje superficial, la facilidad de desmontaje y reparación localizada, y su menor impacto ambiental en el ciclo de vida si se emplean materiales sostenibles.

### **c) Innovación y sostenibilidad**

En los últimos años, la investigación y la industria han impulsado el uso de materiales alternativos para la elaboración de adoquines. Uno de los enfoques más prometedores es la incorporación de agregados reciclados provenientes de residuos de construcción y demolición (RDC), como concreto triturado, cerámicos o asfalto, que permiten reducir el consumo de recursos naturales y disminuir la huella ambiental de la obra (Silva et al., 2014).

Estudios recientes han demostrado que, al controlar la granulometría y la proporción del agregado reciclado, es posible mantener o incluso mejorar algunas propiedades mecánicas del adoquín, como la resistencia a la compresión o la durabilidad superficial, siempre que el diseño de mezcla se ajuste adecuadamente.

La fabricación de adoquines con componentes reciclados representa un avance significativo hacia la economía circular en la construcción, y su evaluación comparativa frente a adoquines convencionales constituye una línea de investigación actual y necesaria, especialmente en contextos urbanos como el de Ayacucho, donde se generan constantemente RDC por obras de infraestructura.

#### **2.2.3. Residuos de construcción y demolición (RDC)**

Los residuos de construcción y demolición (RDC) son aquellos materiales generados como resultado de la ejecución, remodelación, rehabilitación o demolición de obras civiles. Estos residuos comprenden escombros, concreto, ladrillos, cerámicos, metales, asfalto, madera, plásticos y tierra, los cuales, en muchos casos, son tratados como desechos sólidos urbanos y enviados a botaderos, provocando impactos negativos en el ambiente y en la salud pública (Del Río Merino et al., 2011).

En América Latina, y particularmente en el Perú, el manejo inadecuado de los RDC constituye un problema ambiental creciente. La mayoría de estos residuos no son reciclados ni valorizados, lo que genera la saturación de botaderos, contaminación de suelos y cuerpos de agua, y pérdida de espacios útiles en zonas urbanas. Según la GIZ (2020), los RDC pueden representar entre el 25% y el 40% del total de residuos sólidos generados por una ciudad, y hasta el 90% de ellos pueden ser reutilizados o reciclados si se gestionan correctamente.

#### **a) Composición y clasificación**

Los RDC se clasifican en función de su origen y características físicas. La composición típica incluye:

- Concreto: proviene de demoliciones de pavimentos, columnas, muros, losas y estructuras.
- Cerámica y ladrillos: de muros, tabiques y acabados.
- Asfalto: de carreteras y pistas urbanas.
- Tierra y excavación: de movimientos de terreno.
- Metales, madera, vidrio y plásticos: en menor proporción.

De todos estos, el concreto demolido es uno de los materiales más abundantes y viables para el reciclaje en elementos nuevos, como adoquines, bloques o subbases viales.

#### **b) Valorización de los RDC**

La valorización de los RDC consiste en su transformación para un nuevo uso dentro del ciclo productivo. En el caso del concreto, la trituración y cribado del material demolido permite obtener agregados gruesos y finos reciclados. Estos agregados

pueden emplearse en elementos no estructurales, como adoquines, siempre que se controle su granulometría, nivel de impurezas, absorción y adherencia al cemento.

Numerosos estudios han demostrado que el uso de agregados reciclados en proporciones adecuadas (hasta 50%) permite mantener la resistencia mecánica de los elementos prefabricados, reducir costos de extracción de áridos y disminuir el impacto ambiental del proceso constructivo (Silva et al., 2014; Poon & Chan, 2006).

### **c) Beneficios del aprovechamiento de RDC en adoquines**

- Ambientales: reduce la disposición de escombros en botaderos, la extracción de agregados vírgenes y las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas.
- Económicos: disminuye costos por transporte y compra de materiales nuevos.
- Sociales: genera empleo local en procesos de reciclaje y fabricación de nuevos productos.
- Técnicos: permite fabricar elementos de concreto con propiedades aceptables para tránsito liviano y peatonal, como es el caso de los adoquines.

En el contexto de esta investigación, el uso de RDC –específicamente concreto demolido de pavimentos rígidos urbanos– como sustituto del agregado natural en la fabricación de adoquines constituye una alternativa viable, sustentable y de aplicación directa en obras urbanas de Ayacucho.

#### **2.2.4. Agregados reciclados**

Los agregados reciclados son materiales granulares obtenidos a partir del procesamiento de residuos de construcción y demolición (RDC), tales como concreto, ladrillos, bloques, cerámicos, asfalto, entre otros. Su uso en la elaboración de nuevos productos de concreto se ha incrementado en los últimos años como respuesta a la necesidad de adoptar prácticas más sostenibles en la construcción civil, reducir la extracción de agregados naturales y minimizar el impacto ambiental de los residuos sólidos urbanos (Silva et al., 2014).

### **a) Clasificación y obtención**

Dependiendo de su origen, los agregados reciclados se clasifican en:

- Agregado grueso reciclado: proviene de la trituración de concreto endurecido, escombros de pavimentos, columnas, vigas y otros elementos estructurales.
- Agregado fino reciclado: se obtiene del polvo resultante de la trituración, o de morteros antiguos, revoques o fragmentos cerámicos finamente triturados.

El proceso de obtención implica una primera etapa de recolección y separación en obra, seguida de trituración primaria y secundaria, y finalmente un cribado para obtener granulometrías específicas. En algunos casos, se aplican tratamientos adicionales para eliminar impurezas, recubrimientos y restos de mortero adherido (Poon & Chan, 2006).

### **b) Propiedades físico-mecánicas**

Los agregados reciclados presentan características diferentes respecto a los agregados naturales, entre las que destacan:

- Mayor absorción de agua: debido a su mayor porosidad y la presencia de mortero adherido.
- Menor densidad aparente: especialmente en el agregado fino reciclado.
- Mayor heterogeneidad: dependiendo de la fuente del material y del proceso de demolición.
- Forma y textura más angular: lo cual puede mejorar la adherencia con la pasta de cemento.

Estas propiedades influyen directamente en la trabajabilidad de la mezcla, el diseño de la dosificación, y en algunos casos, en la resistencia y durabilidad del concreto final.

### **c) Aplicaciones en elementos prefabricados**

Diversos estudios han demostrado que los agregados reciclados pueden utilizarse en la fabricación de elementos no estructurales, como adoquines, bloques de concreto, tubos, solados y subbases para pavimentos, sin afectar significativamente las

propiedades mecánicas cuando se utilizan en proporciones adecuadas (hasta 50% o incluso más con diseño optimizado).

En el caso de los adoquines de concreto, la incorporación de agregados reciclados ha mostrado buenos resultados en resistencia a la compresión y absorción, siempre que se realice un control riguroso de la dosificación, la calidad del material reciclado y los procesos de compactación y curado. De hecho, muchos ensayos demuestran que adoquines con un 25–50% de agregado reciclado pueden cumplir con la NTP 399.611 para pavimentos de tránsito ligero o peatonal.

#### **d) Normativa y restricciones**

Aunque el uso de agregados reciclados no está totalmente estandarizado en todos los países, existen guías y lineamientos técnicos que orientan su aplicación, como:

- NTP 400.010 / 400.012 (Perú): para diseño de mezclas de concreto.
- ASTM C33 / C136: requisitos para agregados.
- RILEM y European Standard EN 12620: regulan el uso de agregados reciclados en la UE.

El empleo de agregados reciclados requiere ajustar el diseño de mezcla considerando su mayor absorción y variabilidad. En muchos casos se recomienda realizar ensayos previos de laboratorio para verificar la compatibilidad con el cemento y otros aditivos.

#### **2.2.5. Propiedades físico-mecánicas del adoquín**

Las propiedades físico-mecánicas de los adoquines de concreto son determinantes para garantizar su rendimiento estructural, funcional y estético en obras de pavimentación. Estas propiedades deben cumplir con normas técnicas establecidas, como la Norma Técnica Peruana NTP 399.611:2017, que establece los requisitos mínimos para adoquines utilizados en pavimentos de tránsito peatonal y vehicular ligero.

#### **a) Resistencia a la compresión**

Es la capacidad del adoquín para soportar cargas sin romperse. Según la NTP 399.611:2017, los adoquines para tránsito vehicular (Tipo I) deben presentar una resistencia mínima de 380 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que los de tránsito peatonal (Tipo II) deben tener al menos 17.6 MPa (180 kg/cm<sup>2</sup>). Esta propiedad se ve influenciada por factores como el tipo de agregado, la relación agua/cemento, la compactación y el curado (Mindess et al., 2003).

#### **b) Absorción de agua**

Esta propiedad indica el porcentaje de agua que absorbe el adoquín en condiciones específicas. Está relacionada directamente con la porosidad y la durabilidad del producto frente a ciclos de humedad-sequedad y congelamiento-deshielo. La NTP 399.611:2017 especifica que el límite máximo de absorción es de 6% en peso. Un valor mayor puede acelerar el deterioro físico y químico del adoquín (Neville, 2012).

#### **c) Alabeo**

El alabeo o curvatura del adoquín se mide como la desviación del plano ideal de la superficie. Afecta la estabilidad y apariencia del pavimento. Según la norma peruana, el alabeo no debe superar  $\pm 2$  mm, ya que un alabeo excesivo impide una correcta colocación y puede generar inestabilidad en la estructura del pavimento Inter trabado (NTP 399.611:2017).

#### **d) Dimensionalidad**

Las tolerancias dimensionales aceptadas garantizan un correcto interbloqueo entre piezas. Por ejemplo, un adoquín de 100 × 200 × 60 mm debe presentar variaciones no mayores a  $\pm 2$  mm en largo y ancho, y  $\pm 3$  mm en espesor. Estas tolerancias permiten un encaje adecuado, reduciendo desplazamientos laterales y asentamientos irregulares en la superficie (ASTM C936/C936M-20, 2020).

#### **e) Densidad aparente y peso unitario**

La densidad y el peso unitario permiten estimar la masa por volumen del adoquín. Son parámetros clave al evaluar mezclas con materiales alternativos como agregados reciclados, que tienden a tener menor densidad que los agregados naturales. Esto

puede afectar la resistencia si no se ajusta el diseño de mezcla (Silva, Brito & Dhir, 2014).

### **2.2.6. Normativa técnica aplicable**

La fabricación de adoquines de concreto, así como la evaluación de sus propiedades físico-mecánicas, está regulada por normativas técnicas nacionales e internacionales que establecen los requisitos mínimos de calidad, dimensiones, resistencia y durabilidad que estos elementos deben cumplir. Estas normas aseguran que los adoquines, tanto convencionales como aquellos elaborados con materiales alternativos como agregados reciclados, sean funcionales, seguros y duraderos.

#### **a) Norma Técnica Peruana NTP 399.611:2017**

Esta norma establece los requisitos técnicos para adoquines de concreto utilizados en pavimentos de tránsito peatonal y vehicular ligero. Define dos tipos de adoquines según su resistencia a la compresión:

- Tipo I: mínimo de 380 kg/cm<sup>2</sup> para tránsito vehicular.
- Tipo II: mínimo de 17.6 MPa (180 kg/cm<sup>2</sup>) para tránsito peatonal.

Además, regula tolerancias dimensionales, límites de absorción (<6%), alabeo (<2 mm), pérdida de masa por abrasión, y métodos de ensayo correspondientes. Esta norma es de cumplimiento obligatorio en obras públicas y privadas en el Perú.

#### **b) NTP 400.010:2018 y NTP 400.012:2019**

Estas normas peruanas proporcionan lineamientos para la dosificación y control de calidad del concreto. Son aplicables al momento de diseñar mezclas para adoquines, especialmente cuando se utilizan agregados alternativos. Incluyen especificaciones para el control del asentamiento, resistencia a compresión, curado, y manejo de materiales reciclados.

#### **c) ASTM C936/C936M-20**

Esta norma estadounidense establece especificaciones para adoquines de concreto Inter trabados, incluyendo dimensiones, apariencia, resistencia mínima a compresión

(8,000 psi o 55.2 MPa en el caso de EUA), y absorción máxima del 5%. Es una de las normas más empleadas internacionalmente para comparar resultados técnicos.

**d) ASTM C140/C140M-22**

Esta norma especifica los métodos de ensayo para unidades de concreto, como resistencia a compresión, absorción de agua, densidad, y dimensión. Es ampliamente utilizada como referencia complementaria a otras normas específicas para adoquines.

**e) AASHTO T119**

Estándar adoptado por el American Association of State Highway and Transportation Officials. Se utiliza para evaluar el asentamiento (slump) del concreto fresco, lo cual es crucial al fabricar adoquines que deben tener una consistencia seca o semifluida para lograr una buena compactación.

**f) EN 1338 (Norma Europea)**

La norma europea para adoquines de concreto establece requisitos para pavimentos exteriores, incluyendo resistencia, durabilidad, reacción al fuego, resbaladidad, y absorción. Es utilizada en investigaciones comparativas para evaluar la aplicabilidad de agregados reciclados bajo estándares internacionales más exigentes.

## **2.3. Marco Conceptual**

### **2.3.1. Adoquín convencional**

Es una unidad prefabricada de concreto utilizada comúnmente en pavimentos peatonales o de tránsito vehicular ligero, elaborada exclusivamente con agregados naturales (arena y grava), cemento Portland y agua, siguiendo procesos de compactación y curado controlados. Se caracteriza por cumplir con los requisitos establecidos en normas técnicas como la NTP 399.611, en cuanto a resistencia a la compresión, absorción de agua, alabeo y tolerancias dimensionales. Este tipo de adoquín es considerado el patrón de referencia para evaluar alternativas como los adoquines fabricados con materiales reciclados.

### **2.3.2. Adoquín con agregado reciclado de RDC**

Es una unidad prefabricada de concreto en cuya composición se ha sustituido parcial o totalmente el agregado natural por agregado reciclado proveniente de residuos de construcción y demolición (RDC), particularmente concreto demolido triturado. Este tipo de adoquín se elabora mediante procesos convencionales de mezcla, moldeado, vibrado y curado, pero empleando materiales recuperados, lo cual convierte al producto en una alternativa sostenible dentro de la ingeniería civil y la gestión de residuos sólidos.

El agregado reciclado de RDC utilizado en su fabricación suele obtenerse de pavimentos, veredas, losas u otros elementos de concreto demolidos, los cuales son procesados mediante trituración y cribado para obtener una granulometría adecuada. Este tipo de agregado tiende a presentar mayor porosidad y menor densidad que el agregado natural, lo que puede afectar ciertas propiedades del concreto, como la absorción de agua y la resistencia a la compresión. Sin embargo, diversos estudios han demostrado que, con un adecuado diseño de mezcla y proporciones controladas (generalmente hasta 50% de reemplazo), es posible mantener un rendimiento estructural aceptable del adoquín (Silva et al., 2014; Agurto, 2023).

Este tipo de adoquín tiene como finalidad promover la valorización de residuos, reducir el consumo de recursos no renovables (arena y grava) y disminuir la huella ambiental del proceso constructivo, contribuyendo así a una economía circular. Su uso está condicionado al cumplimiento de parámetros técnicos establecidos por normativas como la NTP 399.611, que exige valores mínimos de resistencia a la compresión, absorción y precisión dimensional, para su empleo en pavimentos de tránsito peatonal o vehicular ligero.

En investigaciones comparativas como la presente, los adoquines fabricados con agregado reciclado de RDC son evaluados frente a los adoquines convencionales para determinar si las propiedades físico-mecánicas del nuevo producto alcanzan niveles funcionales y normativamente aceptables para su aplicación en proyectos urbanos.

### **2.3.3. Agregado reciclado de concreto**

Se denomina agregado reciclado de concreto al material granular obtenido mediante la trituración y procesamiento de elementos estructurales de concreto previamente endurecido y demolido, como losas, pavimentos, columnas o muros. Este

agregado forma parte de los residuos de construcción y demolición (RDC) y es reutilizado como sustituto parcial o total del agregado natural (grava o arena) en nuevas mezclas de concreto, especialmente en elementos no estructurales como adoquines, bloques y solados.

En términos técnicos, el agregado reciclado presenta una serie de características distintas a las del agregado virgen. Su forma es más angular, su superficie suele estar parcialmente cubierta por restos de mortero adherido, y posee una mayor porosidad y absorción de agua, lo que se traduce en una menor densidad aparente. Estas propiedades influyen en la trabajabilidad del concreto fresco, en la relación agua/cemento requerida, y en la resistencia mecánica del producto final (Poon & Chan, 2006; Silva et al., 2014).

A pesar de estas diferencias, su uso se considera viable siempre que se realice un control adecuado de la mezcla. Diversos estudios han demostrado que, con una dosificación y selección granulométrica apropiada, el agregado reciclado puede integrarse en proporciones de hasta 30% a 50% en la mezcla de concreto para elementos prefabricados, sin comprometer significativamente la resistencia a la compresión ni la durabilidad (Agurto, 2023).

Desde un enfoque ambiental, el uso del agregado reciclado de concreto reduce la extracción de recursos naturales no renovables, disminuye la cantidad de escombros destinados a botaderos y contribuye a los principios de sostenibilidad y economía circular en la industria de la construcción.

En el contexto de esta investigación, el agregado reciclado representa la variable independiente que se evalúa a través de su impacto sobre las propiedades físico-mecánicas de los adoquines de concreto.

#### **2.3.4. Resistencia a la compresión**

La resistencia a la compresión es una propiedad mecánica fundamental del concreto y sus elementos prefabricados, que indica la capacidad del material para soportar cargas de compresión axial sin romperse o fallar estructuralmente. Se expresa

generalmente en megapascales (MPa) o kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm<sup>2</sup>) y se determina mediante ensayos normalizados, como el descrito en la NTP 400.012 o la ASTM C140 para unidades de concreto.

En el caso de los adoquines de concreto, esta propiedad es crítica, ya que define si el producto es apto para ser utilizado en pavimentos peatonales o vehiculares. Según la NTP 399.611:2017, los adoquines tipo I (para tránsito vehicular ligero) deben presentar una resistencia mínima a la compresión de 380 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que los tipos II (para tránsito peatonal) requieren al menos 17.6 MPa (180 kg/cm<sup>2</sup>).

- La resistencia a la compresión de un adoquín depende de varios factores:
- La calidad y tipo de los agregados utilizados (naturales o reciclados).
- La relación agua/cemento, que afecta la densidad de la matriz cementante.
- El grado de compactación y curado, que incide en la porosidad interna.
- La presencia de impurezas o mortero adherido en el agregado reciclado.

Cuando se emplean agregados reciclados de RDC, es común observar una ligera reducción de la resistencia mecánica en comparación con adoquines convencionales. Sin embargo, estudios han demostrado que, con un adecuado diseño de mezcla y control de materiales, es posible alcanzar resistencias superiores a 25–30 MPa, cumpliendo con los requisitos normativos (Silva et al., 2014; Agurto, 2023).

### **2.3.5. Absorción de agua**

La absorción de agua es una propiedad física del concreto que se refiere a la capacidad del material para absorber y retener agua en su estructura porosa cuando se encuentra en contacto con un ambiente húmedo o sumergido. En el caso de los adoquines de concreto, esta propiedad es esencial para evaluar su durabilidad, ya que una alta absorción puede facilitar el ingreso de agentes agresivos, provocar fisuración por ciclos de humedad-sequedad o congelamiento, y afectar la resistencia mecánica a largo plazo (Neville, 2012).

La absorción se expresa como un porcentaje del peso seco del adoquín y se determina experimentalmente mediante el procedimiento descrito en normas como la NTP 399.611, la ASTM C140/C140M o la EN 1338. El proceso consiste en secar

completamente la muestra, sumergirla en agua por 24 horas y calcular la diferencia de masa entre las condiciones húmeda y seca.

Según la Norma Técnica Peruana NTP 399.611:2017, los adoquines deben presentar una absorción de agua menor o igual al 6%, lo cual se considera adecuado para resistir condiciones ambientales típicas sin deterioro prematuro. Este límite busca garantizar la integridad estructural del adoquín frente a la intemperie, cambios térmicos y tránsito repetitivo.

La absorción depende de diversos factores:

- Porosidad del material (afectada por la compactación y la relación agua/cemento).
- Tipo de agregado: los agregados reciclados suelen tener mayor absorción que los naturales debido a su estructura más porosa y al mortero adherido.
- Diseño de mezcla: mezclas más densas y con buena granulometría tienden a reducir la absorción.

### **2.3.6. Alabeo**

El alabeo es una propiedad física de los adoquines de concreto que se refiere a la deformación o curvatura no deseada que puede presentarse en una de sus caras, especialmente durante los procesos de secado o curado. Esta desviación del plano ideal afecta la planitud del elemento y, por ende, la uniformidad y estabilidad del sistema de pavimentación en el que se instalan. El alabeo se mide como la diferencia máxima entre el borde del adoquín y una regla recta colocada sobre su superficie (INACAL, 2021).

Desde el punto de vista técnico, el alabeo puede dificultar el interbloqueo entre piezas, provocar inestabilidad en el pavimento, generar fisuras prematuras en el revestimiento, y perjudicar tanto la estética como la funcionalidad del sistema vial. En trabajos de pavimentación urbana, este defecto puede ser crítico si no se controla adecuadamente.

La Norma Técnica Peruana NTP 399.611:2017 establece que el alabeo permitido en adoquines no debe exceder  $\pm 2$  mm, lo que asegura un correcto

acoplamiento y un acabado superficial uniforme. Exceder este valor implica una no conformidad del producto.

El alabeo puede originarse por varias causas:

- Distribución desigual de humedad durante el curado.
- Compactación insuficiente o irregular de la mezcla dentro del molde.
- Diseño inadecuado de mezcla, especialmente si hay excesiva agua o mala granulometría.
- Variaciones térmicas en el proceso de fraguado.

### **2.3.7. Tolerancia dimensional**

La tolerancia dimensional se refiere al margen de variación aceptable en las dimensiones físicas (largo, ancho y espesor) de los adoquines de concreto respecto a sus medidas nominales establecidas en planos o moldes de fabricación. Estas variaciones son inevitables en los procesos industriales, pero deben mantenerse dentro de límites específicos para asegurar que las piezas sean compatibles entre sí, encajen correctamente y mantengan la estabilidad del sistema de pavimentación (ASTM C936/C936M, 2020; INACAL, 2021).

La precisión dimensional de los adoquines es fundamental en sistemas de interbloqueo, donde las piezas deben acoplarse con mínima holgura para distribuir cargas eficientemente y evitar desplazamientos no deseados. Una desviación excesiva en alguna de las dimensiones puede provocar juntas desiguales, inestabilidad estructural y fallas prematuras del pavimento.

La Norma Técnica Peruana NTP 399.611:2017 establece las siguientes tolerancias máximas:

- $\pm 2$  mm en longitud y ancho.
- $\pm 3$  mm en espesor.
- $\pm 2$  mm en alabeo y escuadría.

El cumplimiento de estas tolerancias se verifica mediante ensayos de control dimensional, donde se mide una muestra representativa de adoquines y se comparan sus dimensiones reales con las nominales. En el caso de adoquines fabricados con agregados reciclados, es fundamental evaluar si el proceso de fabricación mantiene la estabilidad geométrica del producto frente a posibles variaciones en la consistencia y granulometría de los materiales reciclados.

### **2.3.8. Normativa NTP 399.611**

La NTP 399.611:2017 es la Norma Técnica Peruana que establece los requisitos técnicos y los métodos de ensayo que deben cumplir los adoquines de concreto utilizados en pavimentos para tránsito peatonal y vehicular ligero en el Perú. Esta norma, emitida por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL), constituye el marco normativo de referencia obligatoria para la fabricación, control de calidad, comercialización y uso de adoquines de concreto en obras públicas y privadas del país.

La norma clasifica los adoquines en dos tipos según su aplicación:

- Tipo I: para tránsito vehicular ligero (resistencia mínima de 29.4 MPa).
- Tipo II: para tránsito peatonal (resistencia mínima de 17.6 MPa).

Entre los principales parámetros técnicos establecidos por la NTP 399.611 se encuentran:

**Tabla 1**

*Requisitos técnicos mínimos para adoquines de concreto según la NTP 399.611:2017*

<b>Propiedad</b>	<b>Valor mínimo o máximo permitido</b>
<b>Resistencia a la compresión</b>	<b><math>\geq 29.4</math> MPa (Tipo I) / <math>\geq 17.6</math> MPa (Tipo II)</b>
Absorción de agua	$\leq 6\%$
Tolerancia dimensional (largo, ancho)	$\pm 2$ mm
Tolerancia en espesor	$\pm 3$ mm
Alabeo	$\pm 2$ mm
Escuadría	$\pm 2$ mm

*Nota.* Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2021).

La norma también especifica los métodos de ensayo aplicables, entre ellos:

- Ensayo de compresión uniaxial (NTP 400.012).
- Determinación de absorción.
- Verificación de dimensiones y alabeo.2014).

### **2.3.9. *Sustitución parcial del agregado natural***

La sustitución parcial del agregado natural es un proceso mediante el cual se reemplaza una fracción específica de los agregados finos y/o gruesos de origen natural (arena y grava) utilizados en la fabricación del concreto, por materiales alternativos, generalmente agregados reciclados provenientes de residuos de construcción y demolición (RDC). Esta práctica busca reducir el consumo de recursos no renovables, disminuir la generación de escombros y fomentar la sostenibilidad en el sector construcción (Silva et al., 2014).

En investigaciones experimentales como la presente, la sustitución parcial suele realizarse en proporciones controladas: 25%, 50%, 75% o incluso 100%, dependiendo del tipo y calidad del agregado reciclado. Esta sustitución puede afectar varias propiedades del concreto, como la resistencia a la compresión, absorción, densidad, y trabajabilidad, por lo que requiere una evaluación detallada a través de ensayos normados.

El agregado reciclado, especialmente si proviene de concreto demolido, tiende a tener mayor porosidad y absorción de agua, lo cual exige un rediseño en la dosificación para mantener las propiedades mecánicas del adoquín dentro de los márgenes normativos. A pesar de estas diferencias, diversos estudios han demostrado que es posible mantener un buen desempeño estructural del concreto cuando se reemplaza hasta un 50% del agregado natural con reciclado (Poon & Chan, 2006; Agurto, 2023)

### **2.3.10. *Evaluación comparativa***

La evaluación comparativa es un procedimiento metodológico que consiste en analizar, contrastar y valorar las diferencias o similitudes entre dos o más elementos, procesos o productos en función de criterios previamente definidos. En el ámbito de la

ingeniería civil y los estudios experimentales de materiales de construcción, esta evaluación permite determinar cuál opción presenta mejor desempeño técnico, económico o ambiental, según las variables analizadas (Hernández-Sampieri et al., 2014).

En esta investigación, la evaluación comparativa se aplica al análisis de adoquines de concreto fabricados con agregado natural (adoquín convencional) frente a adoquines con agregado reciclado de RDC, con el objetivo de verificar si las propiedades físico-mecánicas de este último se mantienen dentro de los parámetros establecidos por la NTP 399.611:2017.

El proceso incluye:

- Diseñar mezclas con diferentes porcentajes de sustitución del agregado natural.
- Realizar ensayos estandarizados (compresión, absorción, alabeo, tolerancia dimensional).
- Registrar y analizar estadísticamente los resultados.
- Comparar el desempeño respecto al adoquín convencional como grupo de control.

La finalidad de la evaluación comparativa no es solo identificar diferencias técnicas, sino establecer la viabilidad técnica y normativa del uso de materiales reciclados en la producción de adoquines, permitiendo tomar decisiones informadas sobre su implementación en obras reales.

### III. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1. Enfoque

La presente investigación se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo, dado que se fundamenta en la recolección y análisis de datos numéricos obtenidos a través de ensayos de laboratorio, con el objetivo de establecer comparaciones objetivas entre adoquines de concreto fabricados con agregado natural y aquellos con agregado reciclado de residuos de construcción y demolición (RDC). Este enfoque permite examinar relaciones causales entre las variables, mediante procedimientos sistemáticos, controlados y replicables (Hernández-Sampieri et al., 2014).

El enfoque cuantitativo es el más adecuado cuando se busca medir variables específicas, como resistencia a la compresión, absorción de agua, alabeo y tolerancia dimensional, empleando herramientas estadísticas para validar o refutar hipótesis previamente formuladas (Bisquerra, 2014). Además, permite aplicar pruebas comparativas entre grupos experimentales y grupo control, fortaleciendo el rigor y la objetividad de los resultados.

#### 3.2. Alcance

El presente estudio tiene un alcance explicativo y experimental, ya que no solo busca describir las propiedades físico-mecánicas de adoquines fabricados con agregado reciclado de residuos de construcción y demolición (RDC), sino que explica cómo varían estas propiedades en función del tipo y proporción de agregado utilizado. El objetivo es identificar relaciones causales entre la variable independiente (tipo de agregado) y las variables dependientes (resistencia a la compresión, absorción de agua, alabeo y tolerancia dimensional), en condiciones controladas de laboratorio.

Según Sampieri et al. (2014), una investigación de alcance explicativo pretende profundizar en el conocimiento de los fenómenos y determinar sus causas mediante el análisis de relaciones entre variables. A su vez, el diseño experimental permite manipular deliberadamente la variable independiente para observar su efecto sobre la variable dependiente (Bisquerra, 2014). Esto se refleja en este estudio al sustituir parcialmente el agregado natural por agregado reciclado en distintas proporciones (0%,

25%, 50%, 75% y 100%) y comparar los resultados obtenidos frente a estándares técnicos, como los establecidos en la NTP 399.611:2017.

### **3.3. Diseño de investigación**

La presente investigación adopta un diseño experimental de tipo cuasiexperimental con enfoque comparativo, ya que se busca evaluar los efectos de la sustitución parcial del agregado natural por agregado reciclado de residuos de construcción y demolición (RDC) sobre las propiedades mecánicas de adoquines de concreto, bajo condiciones controladas de laboratorio.

En este diseño, se manipula deliberadamente la variable independiente (tipo y proporción de agregado: 0%, 25%, 50%, 75%, 100%) para observar su efecto sobre las variables dependientes (resistencia a la compresión, absorción de agua, alabeo, tolerancia dimensional). Los datos se recolectan a partir de ensayos normados (según NTP 399.611:2017) y se comparan entre grupos experimentales y grupo control.

Aunque el diseño se desarrolla en un entorno controlado, no se trabaja con sujetos humanos ni se asignan aleatoriamente, por lo que el estudio no es experimental puro, sino cuasiexperimental (Hernández-Sampieri et al., 2014). Este diseño es adecuado cuando se desea establecer relaciones causales entre variables técnicas mediante la comparación de resultados cuantificables (Bisquerra, 2014).

### **3.4. Población y muestra**

#### **3.4.1. Población**

La población de esta investigación está conformada por todos los adoquines de concreto que podrían fabricarse utilizando agregado natural y agregado reciclado de residuos de construcción y demolición (RDC), bajo condiciones de laboratorio y siguiendo los criterios técnicos establecidos por la NTP 399.611:2017.

#### **3.4.2. Muestra**

La muestra de esta investigación está conformada por un total de 50 adoquines de concreto, elaborados en laboratorio con cinco proporciones distintas de agregado

reciclado de residuos de construcción y demolición (RDC), sustituyendo parcialmente el agregado natural en los siguientes porcentajes: 0%, 25%, 50%, 75% y 100%.

Para cada tipo de mezcla se fabricaron 10 unidades, las cuales fueron sometidas a ensayos físico-mecánicos de resistencia a la compresión, absorción de agua, alabeo y tolerancia dimensional, siguiendo los procedimientos establecidos por la NTP 399.611:2017.

La selección de esta muestra es de tipo intencionada y experimental, ya que fue diseñada específicamente para evaluar el comportamiento del concreto con agregado reciclado bajo condiciones controladas.

### **3.5. Hipótesis**

#### **3.5.1. Hipótesis general**

El uso de agregados reciclados de RDC influye significativamente en las propiedades físicas y mecánicas de los adoquines de concreto, siendo técnicamente viable su incorporación hasta una proporción del 50%.

#### **3.5.2. Hipótesis específicas**

- a. Los adoquines que contienen hasta 50% de agregado reciclado presentan una resistencia a la compresión similar a los adoquines convencionales.
- b. A mayor proporción de agregado reciclado, aumenta el porcentaje de absorción de agua en los adoquines.
- c. Los adoquines con hasta 50% de agregado reciclado cumplen con los parámetros dimensionales y de alabeo establecidos por la NTP 399.611.

### **3.6. Operacionalización de variables**

- A. Variable Independiente:** Tipo de agregado utilizado en la fabricación del adoquín

**B. Variable Dependiente:** Propiedades físicas y mecánicas del adoquín de concreto

**Tabla 2**  
*Cuadro de Operacionalización de variables*

VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
<b>Variable Independiente:</b>  <b>Tipo de agregado utilizado en la fabricación del adoquín</b>	Es el material pétreo usado en la mezcla del adoquín, que puede ser natural (arena y grava de río) o reciclado (proveniente de concreto demolido), y cuya proporción influye en las propiedades del producto final.	Tipo de material	Agregado natural / Agregado reciclado
		Porcentaje de reemplazo	0%, 25%, 50%, 75%, 100%
		Procedencia del agregado	Río / Residuos de demolición (RDC)
		Diseño de mezcla	Dosificación de materiales (cemento, agregado, agua)
<b>Variable Dependiente:</b>  <b>Propiedades físicas y mecánicas del adoquín de concreto</b>	Son las características técnicas que determinan la resistencia y calidad del adoquín, como la resistencia a la compresión, absorción de agua, alabeo y tolerancia dimensional, evaluadas mediante ensayos de laboratorio.	Resistencia mecánica	Resistencia a la compresión (MPa)
		Comportamiento físico	Porcentaje de absorción de agua
		Estabilidad dimensional	Alabeo (mm)
		Cumplimiento normativo	Tolerancia dimensional según NTP 399.611

*Nota.* Elaboración Propia

### **3.7. Técnicas e instrumentos**

#### **3.7.1. Técnicas**

La técnica principal utilizada en esta investigación fue la observación directa estructurada en laboratorio, mediante la aplicación de ensayos físico-mecánicos normalizados a los adoquines de concreto elaborados con distintos porcentajes de agregado reciclado. Esta técnica permitió medir objetivamente las variables dependientes, como la resistencia a la compresión, la absorción de agua, el alabeo y la tolerancia dimensional, siguiendo los protocolos establecidos por la NTP 399.611:2017 y normas complementarias como la NTP 400.012 y la ASTM C140/C936.

#### **3.7.2. Instrumentos**

Los instrumentos utilizados para recolectar los datos en esta investigación fueron equipos de laboratorio especializados para ensayos de materiales de concreto, entre ellos:

- Una máquina de compresión para determinar la resistencia a la compresión de los adoquines, conforme a la NTP 400.012.
- Una balanza de precisión y un recipiente de inmersión para medir la absorción de agua mediante el método por saturación.
- Una regla metálica milimetrada y calibrador (vernier) para registrar el alabeo y las dimensiones de los adoquines, de acuerdo con la NTP 399.611:2017.

Estos instrumentos permitieron obtener datos precisos, confiables y comparables para analizar el efecto del uso de agregado reciclado en las propiedades del adoquín.

### **3.8. Técnicas estadísticas para el procesamiento de la información**

Para el análisis de los datos obtenidos en los ensayos de laboratorio, se aplicaron técnicas estadísticas descriptivas e inferenciales. En primer lugar, se utilizó estadística descriptiva para calcular medidas de tendencia central (media) y dispersión

(desviación estándar) de cada variable evaluada: resistencia a la compresión, absorción de agua, alabeo y tolerancia dimensional, según el tipo de agregado utilizado.

Posteriormente, se aplicó estadística inferencial, específicamente la prueba t de Student para muestras independientes, con el fin de comparar los resultados entre los diferentes grupos experimentales y el grupo control (adoquines con agregado natural). Esto permitió determinar si las diferencias observadas en las propiedades físico-mecánicas son estadísticamente significativas. Se consideró un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$ .

El procesamiento de datos se realizó utilizando herramientas informáticas como Microsoft Excel y el software estadístico SPSS.

### **3.9. Desarrollo del trabajo de tesis**

#### **3.9.1. Selección de herramientas equipos y materiales**

##### **3.9.1.1 Diseño de mezcla**

Para la presente investigación, se adoptó el método del American Concrete Institute (ACI) adaptado por Enrique Rivva López, ampliamente reconocido y aplicado en el contexto peruano para el diseño de mezclas de concreto. Este método permitió determinar las proporciones óptimas de materiales a fin de obtener una mezcla con las condiciones adecuadas de trabajabilidad, resistencia y durabilidad, considerando el uso de agregado reciclado proveniente de residuos de construcción y demolición (RDC).

Se diseñaron cinco mezclas con distintas proporciones de agregado reciclado en reemplazo del agregado natural grueso, manteniendo constante la cantidad de cemento, agua y agregado fino. Las proporciones fueron: 0%, 25%, 50%, 75% y 100% de agregado reciclado. El diseño base consideró una resistencia característica de  $f'c = 380 \text{ kg/cm}^2$  ( $\approx 37.3 \text{ MPa}$ ), adecuada para elementos prefabricados como los adoquines de concreto utilizados en pavimentos peatonales y de tránsito vehicular ligero.

Durante el proceso se aplicaron los pasos del método ACI:

- Selección de resistencia objetivo,
- Estimación de contenido de agua y relación agua/cemento,
- Determinación de la cantidad de cemento,
- Cálculo de volumen absoluto de los materiales,
- Ajuste de contenido de agregados en función de la absorción y humedad.

Cada mezcla fue preparada en laboratorio y moldeada bajo las mismas condiciones de compactación, curado y ensayo, con el objetivo de realizar una comparación uniforme de las propiedades físico-mecánicas de los adoquines.

### **3.9.1.2 Procedimiento del diseño de mezcla**

El diseño de la mezcla de concreto se realizó aplicando el método ACI 211.1, adaptado por Enrique Rivva López (2015), que permite determinar la dosificación de materiales para alcanzar una resistencia específica bajo condiciones locales. El procedimiento se desarrolló en las siguientes etapas:

#### **a) Determinación de la resistencia de diseño**

Se estableció una resistencia a compresión de  $f'c = 380 \text{ kg/cm}^2$ , correspondiente a la clase estructural de adoquines para pavimentos de tránsito ligero. Según el criterio del ACI, se calculó la resistencia promedio requerida como  $f'cr = 478 \text{ kg/cm}^2$ , añadiendo  $98 \text{ kg/cm}^2$  al valor de  $f'c$ .

#### **b) Selección del asentamiento (slump) y tamaño máximo nominal**

Se consideró un slump de 3"–4", adecuado para elementos prefabricados moldeados y compactados. El tamaño máximo nominal del agregado grueso fue de 3/8", acorde con las dimensiones de los moldes utilizados.

#### **c) Selección del contenido de agua y aire**

Según las tablas del ACI, para un tamaño máximo de 3/8" y slump de 3"–4", el contenido de agua de mezclado fue de  $225 \text{ litros/m}^3$  y el contenido de aire asumido fue de 3% (sin aire incorporado).

**d) Determinación de la relación agua/cemento (a/c)**

Se evaluaron dos criterios:

- Por resistencia:  $a/c = 0.56$
- Por durabilidad (exposición moderada):  $a/c = 0.50$

Se adoptó la menor:  $a/c = 0.50$

**e) Cálculo del contenido de cemento**

A partir de la relación a/c y el agua de diseño, se obtuvo:

$$\text{Cemento} = 225 / 0.37 = 608.108 \text{ kg/m}^3 \text{ (ajustado a } 608.11 \text{ kg/m}^3\text{)}$$

**f) Cálculo de volúmenes absolutos**

- Cemento:  $608.11 / (3.15 \times 1000) = 0.193 \text{ m}^3$
- Agua:  $225 / 1000 = 0.225 \text{ m}^3$
- Aire:  $0.030 \text{ m}^3$

$$\text{Volumen total de agregados: } 1 - 0.448 = 0.552 \text{ m}^3$$

**g) Estimación del volumen y peso seco de los agregados**

Considerando una relación inicial 50%-50%:

- Agregado fino:  $0.639 \text{ m}^3 \times 0.552 \times 2.44 \times 1000 = 861.32 \text{ kg/m}^3$
- Agregado grueso:  $0.361 \text{ m}^3 \times 0.552 \times 2.45 \times 1000 = 487.55 \text{ kg/m}^3$

Sin embargo, tras el ajuste por módulo de fineza y trabajabilidad, se adoptaron las siguientes proporciones finales:

- Agregado fino seco:  $861.32 \text{ kg/m}^3$
- Agregado grueso seco:  $487.55 \text{ kg/m}^3$

**h) Corrección por humedad de los agregados**

Se aplicaron las correcciones usando los contenidos de humedad:

- Agregado fino:  $861.32 \times 1.0476 = 902.32 \text{ kg/m}^3$
- Agregado grueso:  $487.55 \times 1.0278 = 501.10 \text{ kg/m}^3$

**i) Corrección del agua de mezclado**

Se ajustó el agua según el exceso de humedad respecto a la absorción:

- Agua efectiva  $\approx 224.55 \text{ litros/m}^3$
- Relación a/c efectiva  $\approx 0.496$ , dentro del límite de durabilidad.

**Tabla 3**

*Dosificación final por m<sup>3</sup> de concreto:*

<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>
<b>Cemento</b>	725.48 kg
<b>Agregado fino</b>	902.32 kg
<b>Agregado grueso</b>	501.10 kg
<b>Agua</b>	220.80 litros

*Nota.* Elaboración propia

**Proporción en peso (por bolsa de 42.5 kg):**

1 : 1.24 : 0.69 : 12.93 litros/bolsa

**Proporción en volumen:**

1 : 1.36 : 0.82 : 12.93 litros/bolsa

**3.9.2. Proceso de fabricación de adoquines de concreto**

La fabricación de los adoquines de concreto se llevó a cabo en el laboratorio especializado JKEMSCA, siguiendo un procedimiento técnico estandarizado y conforme a los lineamientos establecidos en la Norma Técnica Peruana NTP 399.611:2017. El objetivo fue garantizar uniformidad en la producción de las muestras para su posterior evaluación físico-mecánica. El proceso comprendió las siguientes etapas:

### 3.9.2.1 Preparación de materiales

Se realizó la selección y verificación de los materiales que conforman la mezcla: cemento Portland Tipo I, agregado fino natural, agregado grueso natural y agregado reciclado de concreto (en proporciones variables). Se verificaron la humedad y el estado de los agregados, realizándose los ajustes correspondientes en la dosificación.

### 3.9.2.2 Dosificación

Se aplicó el diseño de mezcla determinado previamente, usando el método ACI adaptado por Enrique Rivva López. Se prepararon cinco mezclas diferentes con sustituciones del agregado grueso natural por agregado reciclado en proporciones de 0%, 25%, 50%, 75% y 100%. Las proporciones fueron pesadas de manera precisa por metro cúbico de concreto.

#### Figura 2

*Dosificación en peso con 25 % de agregado reciclado y 75 % de río en la mezcla.*



*Nota.* Elaboración propia

### 3.9.2.3 Mezclado

Los materiales secos fueron incorporados en una mezcladora de eje horizontal, donde se realizó el mezclado homogéneo durante aproximadamente 2 minutos. Posteriormente, se añadió el agua en la cantidad exacta corregida por humedad y absorción, continuando el mezclado por 2 minutos adicionales para asegurar la uniformidad de la mezcla.

#### 3.9.2.4 Moldeo

La mezcla fue colocada en moldes metálicos con las dimensiones estándar del adoquín. Se empleó vibrado mecánico y compactación manual, asegurando que no quedaran vacíos o defectos internos. El moldeo se realizó en una sola capa.

#### Figura 3

*Moldeo de adoquines con dosificación 50 % de agregado reciclado y 50 % de agregado de río.*



*Nota.* Elaboración propia

#### Figura 4

Desmoldeo de adoquines con dosificación 50 % de agregado reciclado y 50 % de agregado de río.



Nota. Elaboración propia

**Figura 5**

*Marcado de adoquines tras 24 horas, antes del curado en agua.*



*Nota.* Elaboración propia

### **3.9.2.5 Curado**

Los adoquines moldeados fueron desmoldados después de 24 horas de fraguado inicial. Posteriormente, fueron trasladados a un pozo de curado con agua, donde permanecieron totalmente sumergidos durante 28 días a temperatura ambiente constante. Este proceso garantizó el desarrollo adecuado de la resistencia del concreto.

### **3.9.2.6 Identificación y almacenamiento**

Cada adoquín fue identificado con su respectivo código de mezcla (M0, M25, M50, M75, M100) y fecha de fabricación. Se almacenaron en condiciones estables hasta el momento de su evaluación en los ensayos de laboratorio.

**Figura 6**

*Inspección, identificación y almacenamiento de adoquines.*



*Nota.* Elaboración propia

### **3.9.3. Ensayos al concreto fresco durante la fabricación de adoquines.**

#### **3.9.3.1 Ensayo de asentamiento del concreto (slump)**

El ensayo se realizó siguiendo las normas ASTM C143 y AASHTO T119, adaptadas a las condiciones locales. Se empleó un molde metálico troncocónico conforme a la norma, con espesor de 1.5 mm, 300 mm de altura, 200 mm de diámetro en la base y 100 mm en la parte superior. El molde se humedeció previamente y se colocó sobre una plancha metálica horizontal. El concreto se introdujo en tres capas iguales; cada una fue compactada con 25 golpes de una varilla metálica lisa de 60 cm de longitud y 5/8" de diámetro. Tras el llenado, se niveló la parte superior y se retiró el molde en forma vertical. Para medir el asentamiento, se colocó el molde invertido al lado de la muestra y se midió la diferencia de altura. En este caso, la consistencia adecuada

correspondía a un asentamiento entre 3" y 4", lo cual garantizaba la trabajabilidad necesaria para el moldeo de adoquines.

**Figura 7**

*Ensayo de slump con asentamiento de 3" en concreto fresco*



*Nota. Elaboración propia*

### 3.9.4. Ensayos del concreto endurecido en adoquines fabricados en laboratorio

#### 3.9.4.1 Ensayo de dimensionamiento

Este ensayo se realizó sobre una muestra de 12 adoquines secos y enteros, marcados individualmente para su identificación. El objetivo fue verificar el cumplimiento de las tolerancias dimensionales máximas establecidas por la NTP 399.611:2017 – Unidades de albañilería de concreto.

**Tabla 4**

*Tolerancia dimensional en adoquines de concreto*

Dimensión	Tolerancia ± (mm)
Longitud	1.6
Ancho	1.6
Espesor	3.2

*Nota.* Norma Técnica Peruana (NTP 399.611), 2017.

#### Equipos utilizados:

- Regla de acero de 300 mm graduada en milímetros
- Calibrador Vernier digital de acero

#### a) Procedimiento del ensayo

Se midieron las dimensiones (longitud, ancho y espesor) de cada una de las 10 unidades. Con estos datos se calcularon el promedio, la desviación estándar ( $\sigma$ ) y la variación porcentual (%V) respecto a la dimensión nominal, utilizando la fórmula:

$$\%V = \frac{(D_N - D_P) \times 100}{D_N}$$

Donde:

%V: variación dimensional

$D_N$  : dimensión nominal especificada

$D_P$  : promedio de medidas

$\sigma$ : desviación estándar (medida de dispersión respecto a la media)

Los resultados obtenidos fueron comparados con las tolerancias establecidas para determinar la conformidad dimensional de los adoquines.

### Figura 8

*Muestras de adoquines de concreto identificados para el ensayo de dimensionamiento.*



*Nota.* Elaboración propia

## b) Medición de dimensiones y cálculo de tolerancias por muestra

Para cada muestra de adoquín se realizaron mediciones de longitud, ancho y espesor utilizando un vernier digital, con el fin de verificar el cumplimiento de las tolerancias dimensionales establecidas por la NTP 399.611:2017. Los valores obtenidos fueron comparados con las dimensiones teóricas del molde, calculándose la desviación y verificando si se encontraban dentro del rango permitido. Esta etapa fue fundamental para asegurar la uniformidad geométrica de las unidades prefabricadas.

### Figura 9

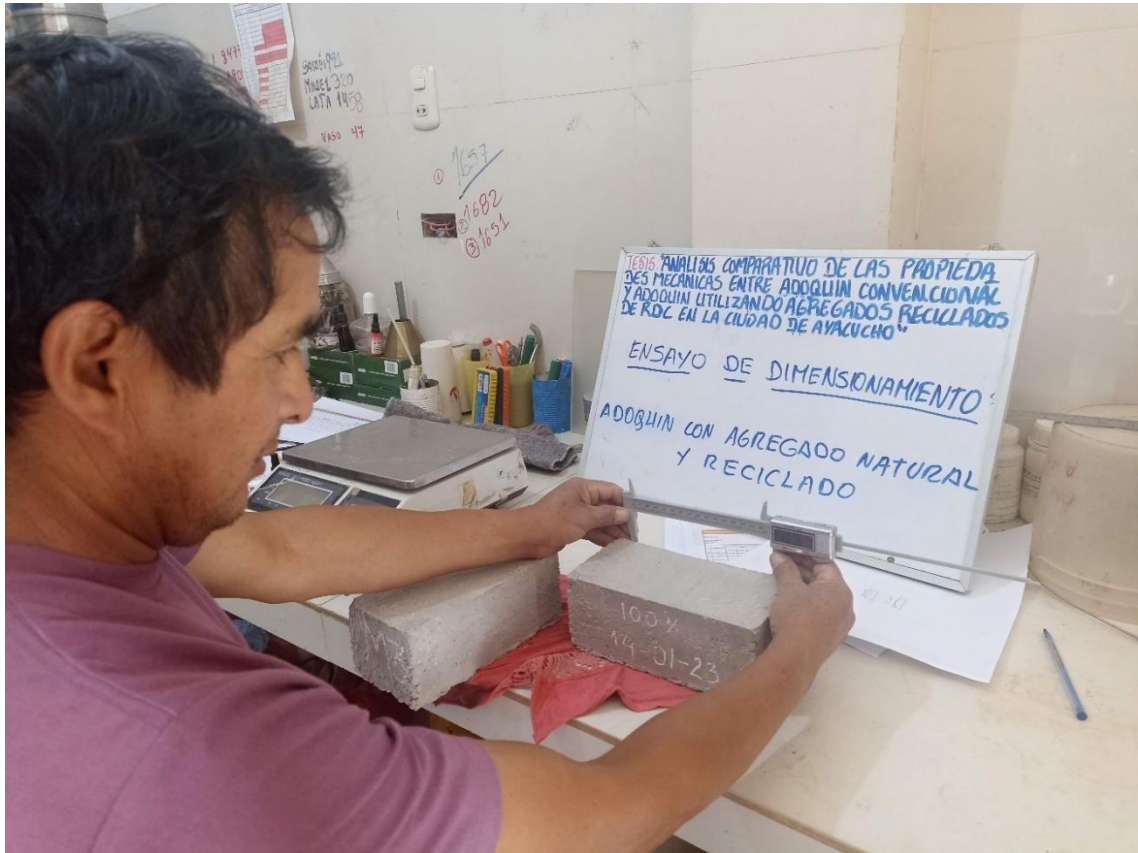
*Medición de las dimensiones de los adoquines de concreto con Vernier digital para calcular la variación dimensional.*



*Nota.* Elaboración propia

**Figura 10**

*Registro de medidas obtenidas con Vernier digital para el análisis de variación dimensional en adoquines.*



*Nota. Elaboración propia*

**Dimensiones registradas en adoquines de concreto, conforme a NTP 399.613 y NTP 399.604 (dimensiones nominales: 20 × 10 × 8 cm).**

**Tabla 5**

*Dimensiones registradas en adoquines de concreto con 100 % de agregado de río, conforme a NTP 399.613 y NTP 399.604 (dimensiones nominales: 20 × 10 × 8 cm).*

MUESTRA	L (cm)				L promedio	Δ	Δ V(%)
	1	2	3	4			
M-01	20.00	19.90	19.90	20.00	19.95	0.06	0.55
M-02	20.00	20.10	20.10	20.00	20.05	0.06	0.05
M-03	20.10	20.00	20.00	20.10	20.05	0.06	0.05
M-04	19.90	19.85	19.80	19.90	19.86	0.05	0.95
M-05	19.90	19.90	19.80	19.85	19.86	0.05	0.95
M-06	19.94	19.80	19.87	20.08	19.92	0.12	1.00
M-07	19.86	19.85	19.85	19.90	19.87	0.02	0.75
M-08	19.80	19.72	19.85	19.90	19.82	0.08	1.30
M-09	19.93	19.90	19.85	19.85	19.88	0.04	0.80
M-10	19.70	19.70	19.80	19.80	19.75	0.06	1.55
	PROMEDIO				19.90	0.06	0.795

MUESTRA	H(cm)				L promedio	Δ	Δ V(%)
	1	2	3	4			
M-01	8.40	8.34	8.50	8.28	8.38	0.09	-3.63
M-02	8.24	8.28	8.21	8.25	8.25	0.03	-2.75
M-03	8.19	8.22	8.21	8.28	8.23	0.04	-2.38
M-04	8.20	8.38	8.20	8.30	8.27	0.09	-2.25
M-05	8.25	8.25	8.25	8.25	8.25	0.00	-3.13
M-06	8.35	8.34	8.27	8.40	8.34	0.05	-3.62
M-07	8.26	8.30	8.33	8.30	8.30	0.03	-3.38
M-08	8.20	8.20	8.30	8.30	8.25	0.06	-2.37
M-09	8.25	8.26	8.20	8.26	8.24	0.03	-2.63
M-10	8.25	8.25	8.20	8.25	8.24	0.03	-2.63
	PROMEDIO				8.28	0.05	-2.877

MUESTRA	A(cm)				L promedio	Δ	Δ V(%)
	1	2	3	4			
M-01	10.11	10.10	10.13	10.10	10.11	0.01	-1.00
M-02	10.21	10.13	10.10	10.10	10.14	0.05	-0.90
M-03	9.96	9.96	10.05	10.11	10.02	0.07	0.50
M-04	10.10	10.01	10.05	10.20	10.09	0.08	-0.10
M-05	10.15	10.05	10.12	10.13	10.11	0.04	-0.70
M-06	10.10	10.05	10.07	10.02	10.06	0.03	-0.30
M-07	10.10	10.00	10.01	10.15	10.07	0.07	0.00
M-08	10.15	10.10	10.02	10.15	10.11	0.06	-0.50
M-09	10.10	10.15	10.10	10.15	10.13	0.03	-1.00
M-10	10.10	10.10	10.08	10.05	10.08	0.02	-0.60
	PROMEDIO				10.09	0.05	-0.460

Nota. Elaboración propia

**Tabla 6**

*Dimensiones registradas en adoquines de concreto con 75 % de agregado de río y 25 % de agregado reciclado, según NTP 399.613 y NTP 399.604 (dimensiones nominales: 20 × 10 × 8 cm).*

MUESTRA	L (cm)				L promedio	&	& V(%)
	1	2	3	4			
M-01	20.03	20.01	20.02	20.01	20.02	0.01	-0.05
M-02	20.01	20.01	20.10	20.00	20.03	0.05	0.10
M-03	20.00	20.00	20.10	20.00	20.03	0.05	0.10
M-04	20.20	20.02	20.10	20.00	20.08	0.09	0.05
M-05	20.00	20.02	20.05	19.90	19.99	0.07	0.40
M-06	20.00	20.02	20.04	20.01	20.02	0.02	0.00
M-07	20.03	20.00	20.02	19.99	20.01	0.02	0.05
M-08	20.00	20.03	20.00	20.00	20.01	0.02	0.05
M-09	20.01	20.03	20.00	20.01	20.01	0.01	0.00
M-10	20.02	20.01	20.00	20.03	20.02	0.01	-0.05
PROMEDIO					20.02	0.04	0.065

MUESTRA	H (cm)				H promedio	&	& V(%)
	1	2	3	4			
M-01	8.18	8.08	8.19	8.35	8.20	0.11	-2.50
M-02	8.30	8.21	8.42	8.43	8.34	0.10	-4.25
M-03	8.08	8.11	7.93	7.95	8.02	0.09	-0.25
M-04	8.35	8.18	8.30	7.98	8.20	0.16	-2.50
M-05	7.96	8.16	8.23	8.20	8.14	0.12	-1.75
M-06	8.31	8.21	8.36	8.23	8.28	0.07	-3.50
M-07	8.30	8.31	7.95	8.20	8.19	0.17	-2.37
M-08	8.30	8.22	7.93	8.20	8.16	0.16	-2.00
M-09	8.34	8.30	8.30	8.30	8.31	0.02	-3.88
M-10	8.33	8.40	7.90	8.40	8.26	0.24	-3.25
PROMEDIO					8.21	0.12	-2.625

MUESTRA	A (cm)				A promedio	&	& V(%)
	1	2	3	4			
M-01	10.03	10.01	10.11	10.12	10.07	0.01	-0.70
M-02	10.04	10.15	10.10	10.20	10.12	0.05	-1.20
M-03	10.11	10.15	10.11	10.14	10.13	0.07	-1.30
M-04	10.10	10.15	10.20	10.05	10.13	0.08	-1.30
M-05	10.20	10.07	10.10	10.10	10.12	0.04	-1.20
M-06	10.20	10.05	10.10	10.00	10.09	0.03	-0.90
M-07	10.00	10.20	10.20	10.14	10.14	0.07	-1.40
M-08	10.00	10.00	10.10	10.05	10.04	0.06	-0.40
M-09	10.20	10.20	10.11	10.05	10.14	0.03	-1.40
M-10	10.10	10.20	10.15	10.00	10.11	0.02	-1.10
PROMEDIO					10.11	0.05	-1.090

*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 7**

*Dimensiones registradas en adoquines de concreto con 50 % de agregado de río y 50 % de agregado reciclado, según NTP 399.613 y NTP 399.604 (dimensiones nominales: 20 × 10 × 8 cm).*

MUESTRA	L (cm)				L promedio	&	& V(%)
	1	2	3	4			
M-01	20.10	20.20	20.20	20.20	20.18	0.05	-0.90
M-02	20.05	20.10	20.10	20.10	20.09	0.03	-0.45
M-03	20.15	20.15	20.00	20.05	20.09	0.07	-0.45
M-04	20.13	20.10	20.10	20.05	20.10	0.03	-0.50
M-05	20.25	20.25	20.10	20.20	20.20	0.07	-1.00
M-06	20.25	20.20	20.30	20.00	20.19	0.13	-0.95
M-07	20.03	20.10	20.00	20.00	20.03	0.05	-0.15
M-08	20.24	20.20	20.10	20.34	20.22	0.10	-1.10
M-09	20.04	20.10	20.15	20.16	20.11	0.06	-0.55
M-10	20.20	20.30	20.19	20.15	20.21	0.06	-1.05
PROMEDIO					20.14	0.07	-0.710

MUESTRA	H (cm)				L promedio	&	& V(%)
	1	2	3	4			
M-01	8.27	8.32	8.30	8.21	8.28	0.05	-3.50
M-02	8.05	8.24	8.11	7.81	8.05	0.18	-0.63
M-03	8.27	7.96	8.11	8.37	8.18	0.18	-2.25
M-04	8.20	8.00	8.20	8.15	8.14	0.09	-1.75
M-05	8.00	8.23	8.10	8.20	8.13	0.10	-1.63
M-06	8.03	8.10	8.14	8.23	8.13	0.08	-1.63
M-07	8.02	8.23	8.15	8.20	8.15	0.09	-1.88
M-08	8.02	8.00	8.12	8.00	8.04	0.06	-0.50
M-09	8.00	8.20	8.14	8.00	8.09	0.10	-1.13
M-10	8.20	8.10	8.10	8.20	8.15	0.06	-1.88
PROMEDIO					8.13	0.10	-1.678

MUESTRA	A (cm)				L promedio	&	& V(%)
	1	2	3	4			
M-01	10.19	10.54	10.10	10.05	10.22	0.01	-2.20
M-02	10.10	10.14	10.14	10.13	10.13	0.05	-3.70
M-03	10.29	10.26	10.29	10.20	10.26	0.07	-3.10
M-04	10.16	10.08	10.15	10.12	10.13	0.08	-3.20
M-05	10.10	10.05	10.10	10.16	10.10	0.04	-3.00
M-06	10.15	10.14	10.14	10.20	10.16	0.03	-2.80
M-07	10.25	10.15	10.14	10.20	10.19	0.07	-2.90
M-08	10.18	10.12	10.11	10.14	10.14	0.06	-2.90
M-09	10.02	10.10	10.13	10.13	10.10	0.03	-3.20
M-10	10.17	10.00	10.12	10.05	10.09	0.02	-1.60
PROMEDIO					10.15	0.05	-2.860

*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 8**

*Dimensiones registradas en adoquines de concreto con 25 % de agregado de río y 75 % de agregado reciclado, según NTP 399.613 y NTP 399.604 (dimensiones nominales: 20 × 10 × 8 cm).*

MUESTRA	L (cm)				L promedio	&	& V(%)
	1	2	3	4			
M-01	20.00	20.00	20.00	20.10	20.03	0.05	-0.15
M-02	20.00	20.10	20.10	20.00	20.05	0.06	-0.25
M-03	19.90	19.90	20.00	20.00	19.95	0.06	-2.25
M-04	20.10	20.10	20.10	20.00	20.08	0.05	-0.40
M-05	20.20	20.20	19.80	20.00	20.05	0.19	-2.75
M-06	20.40	20.50	20.40	20.10	20.35	0.17	-2.40
M-07	20.25	20.14	20.00	20.00	20.10	0.12	-3.00
M-08	20.07	20.10	20.15	20.10	20.11	0.03	-0.55
M-09	20.35	20.32	20.30	20.35	20.33	0.02	-1.65
M-10	20.40	20.45	20.38	20.10	20.33	0.16	-1.65
PROMEDIO					20.14	0.09	-1.505

MUESTRA	H (cm)				L promedio	&	& V(%)
	1	2	3	4			
M-01	8.48	8.40	8.48	8.43	8.45	0.04	-5.62
M-02	8.42	8.29	8.42	8.39	8.38	0.06	-4.75
M-03	8.21	8.30	8.22	8.29	8.26	0.05	-3.25
M-04	8.35	8.47	8.21	8.19	8.31	0.13	-3.88
M-05	8.09	8.20	8.10	8.15	8.14	0.05	-1.75
M-06	8.40	8.45	8.41	8.36	8.41	0.04	-5.13
M-07	8.30	8.25	8.30	8.32	8.29	0.03	-3.62
M-08	8.32	8.38	8.32	8.33	8.34	0.03	-4.25
M-09	8.33	8.30	8.40	8.38	8.35	0.05	-4.38
M-10	8.15	8.20	8.20	8.20	8.19	0.02	-2.37
PROMEDIO					8.31	0.05	-3.900

MUESTRA	A (cm)				L promedio	&	& V(%)
	1	2	3	4			
M-01	10.14	10.15	10.16	10.09	10.14	0.01	-1.40
M-02	10.03	10.01	9.99	10.03	10.02	0.05	-0.20
M-03	10.14	10.20	10.18	10.19	10.18	0.07	-1.80
M-04	10.17	10.12	10.12	10.11	10.13	0.08	-1.30
M-05	10.10	10.02	10.09	10.12	10.08	0.04	-0.80
M-06	10.03	10.13	10.20	10.17	10.13	0.03	-1.30
M-07	10.10	10.06	10.05	10.02	10.06	0.07	-0.60
M-08	10.14	10.15	10.20	10.08	10.14	0.06	-1.40
M-09	10.10	10.20	10.00	10.10	10.10	0.03	-1.00
M-10	10.20	10.20	10.15	10.20	10.19	0.02	-1.90
PROMEDIO					10.12	0.05	-1.170

*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 9**

*Dimensiones registradas en adoquines de concreto con el 100% agregado reciclado., según NTP 399.613 y NTP 399.604 (dimensiones nominales: 20 × 10 × 8 cm).*

MUESTRA	L (cm)				L promedio	&	& V(%)
	1	2	3	4			
M-01	20.10	20.00	20.10	20.20	20.10	0.08	-0.50
M-02	20.00	20.10	20.10	20.20	20.10	0.08	-0.50
M-03	19.90	20.00	20.30	20.10	20.08	0.17	-0.40
M-04	20.00	20.10	20.20	20.15	20.11	0.09	-0.55
M-05	20.10	20.12	20.10	20.95	20.32	0.42	-1.60
M-06	20.20	20.10	20.10	20.05	20.11	0.06	-0.55
M-07	20.20	20.00	20.00	20.00	20.05	0.10	-0.25
M-08	20.10	20.00	20.15	20.10	20.09	0.06	-0.45
M-09	20.20	20.10	20.15	20.05	20.13	0.06	-0.65
M-10	20.00	20.00	19.95	20.00	19.99	0.03	0.05
PROMEDIO					20.11	0.12	-0.540

MUESTRA	H (cm)				H promedio	&	& V(%)
	1	2	3	4			
M-01	8.34	8.27	8.18	8.37	8.29	0.08	-3.62
M-02	8.30	8.20	8.20	8.35	8.26	0.08	-3.25
M-03	8.28	8.20	8.14	8.30	8.23	0.07	-2.88
M-04	8.32	8.25	8.15	8.20	8.23	0.07	-2.88
M-05	8.33	8.26	8.23	8.43	8.31	0.09	-3.88
M-06	8.30	8.23	8.20	8.44	8.29	0.11	-3.62
M-07	8.25	8.30	8.25	8.20	8.25	0.04	-3.13
M-08	8.20	8.22	8.22	8.35	8.25	0.07	-3.13
M-09	8.30	8.28	8.21	8.40	8.30	0.08	-3.75
M-10	8.10	8.25	8.00	8.20	8.14	0.11	-1.75
PROMEDIO					8.26	0.08	-3.189

MUESTRA	A (cm)				A promedio	&	& V(%)
	1	2	3	4			
M-01	10.02	10.03	10.02	9.96	10.01	0.01	-0.10
M-02	10.05	10.03	10.00	10.00	10.02	0.05	-0.20
M-03	10.05	10.00	10.01	9.98	10.01	0.07	-0.10
M-04	10.05	10.04	10.02	10.01	10.03	0.08	-0.30
M-05	10.12	10.01	10.11	9.99	10.06	0.04	-0.60
M-06	10.02	10.00	10.00	10.15	10.04	0.03	-0.40
M-07	10.02	10.02	10.02	10.02	10.02	0.07	-0.20
M-08	10.23	10.03	10.12	10.03	10.10	0.06	-1.00
M-09	10.02	10.04	10.04	10.01	10.03	0.03	-0.30
M-10	10.07	10.03	10.00	10.01	10.03	0.02	-0.30
PROMEDIO					10.04	0.05	-0.350

*Nota.* Elaboración propia

### **3.9.4.2 Ensayo de alabeo**

El alabeo es una deformación no deseada que se presenta en elementos prefabricados de concreto como consecuencia de diferencias de humedad, retracción o curado desigual. En adoquines, este fenómeno afecta la planicidad, estabilidad y calidad de instalación del pavimento, siendo necesario su control y evaluación conforme a normas técnicas.

Para su determinación, se emplea el procedimiento establecido por la Norma Técnica Peruana NTP 399.613:2017, que especifica criterios distintos según la ubicación y forma de la distorsión (superficie o borde; cóncava o convexa).

#### **Instrumentos empleados**

- Regla metálica de acero, con graduación en milímetros.
- Superficie plana, verificada conforme a la norma.
- Escobilla de cerdas suaves, para limpiar el polvo superficial de los especímenes sin alterar su forma.

#### **Preparación del ensayo**

Los adoquines fueron limpiados superficialmente y ubicados según el tipo de deformación a medir. Se realizaron mediciones milimétricas según los siguientes casos:

- Superficies cóncavas: Se colocó una regla recta longitudinal o diagonalmente sobre la superficie del adoquín. Se midió la mayor distancia entre la superficie del espécimen y la regla, registrándola como la distorsión cóncava de la superficie.
- Bordes cóncavos: Se apoyó la varilla recta entre los extremos del borde a evaluar. Se midió el punto de mayor separación entre el borde del adoquín y la varilla, registrándolo como la distorsión cóncava del borde.
- Superficies convexas: El espécimen se colocó con la superficie convexa en contacto con una superficie plana. Se midieron las distancias desde cada una de las cuatro esquinas hacia la superficie plana. El promedio de estas cuatro medidas se registró como la distorsión convexa de la superficie.

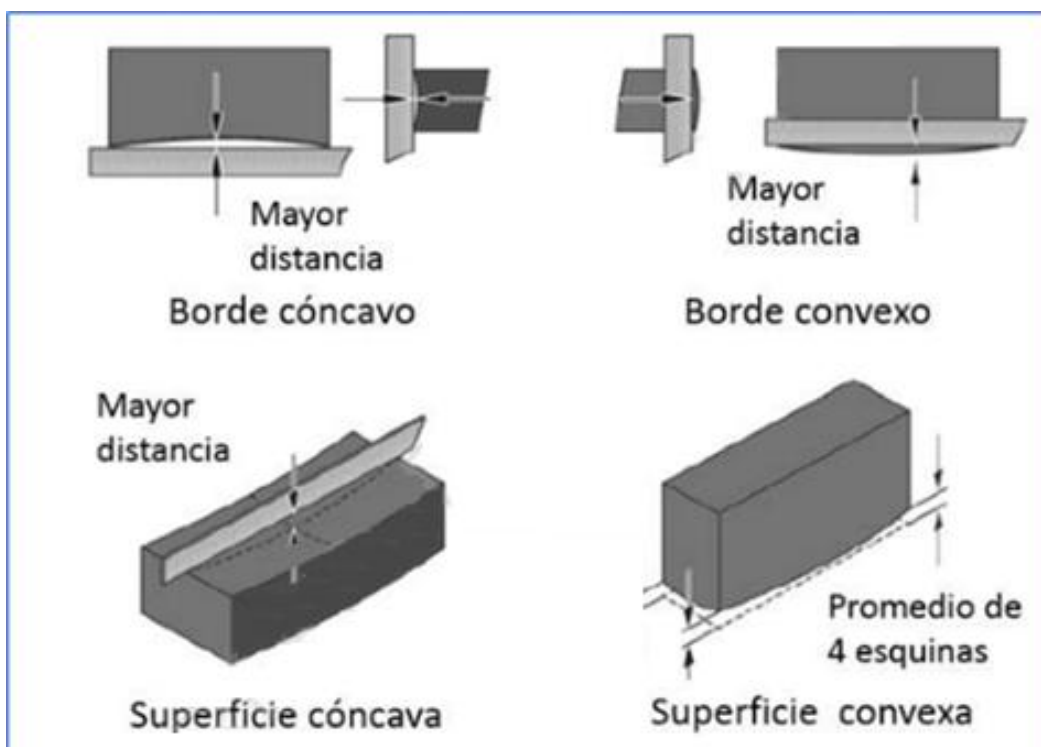
- Bordes convexos: Se apoyó la varilla entre los extremos del borde convexo. Se midió la mayor distancia entre el borde y la varilla, registrándola como la distorsión convexa del borde.

### Importancia técnica

El alabeo es un indicador de la estabilidad dimensional del concreto. Una distorsión excesiva puede generar problemas de nivelación, pérdida de contacto entre piezas y eventualmente, fallas por cargas desiguales. La medición rigurosa del alabeo permite verificar si el adoquín cumple con las tolerancias dimensionales establecidas por la normativa vigente, asegurando su desempeño adecuado en condiciones reales de carga y uso.

**Figura 11**

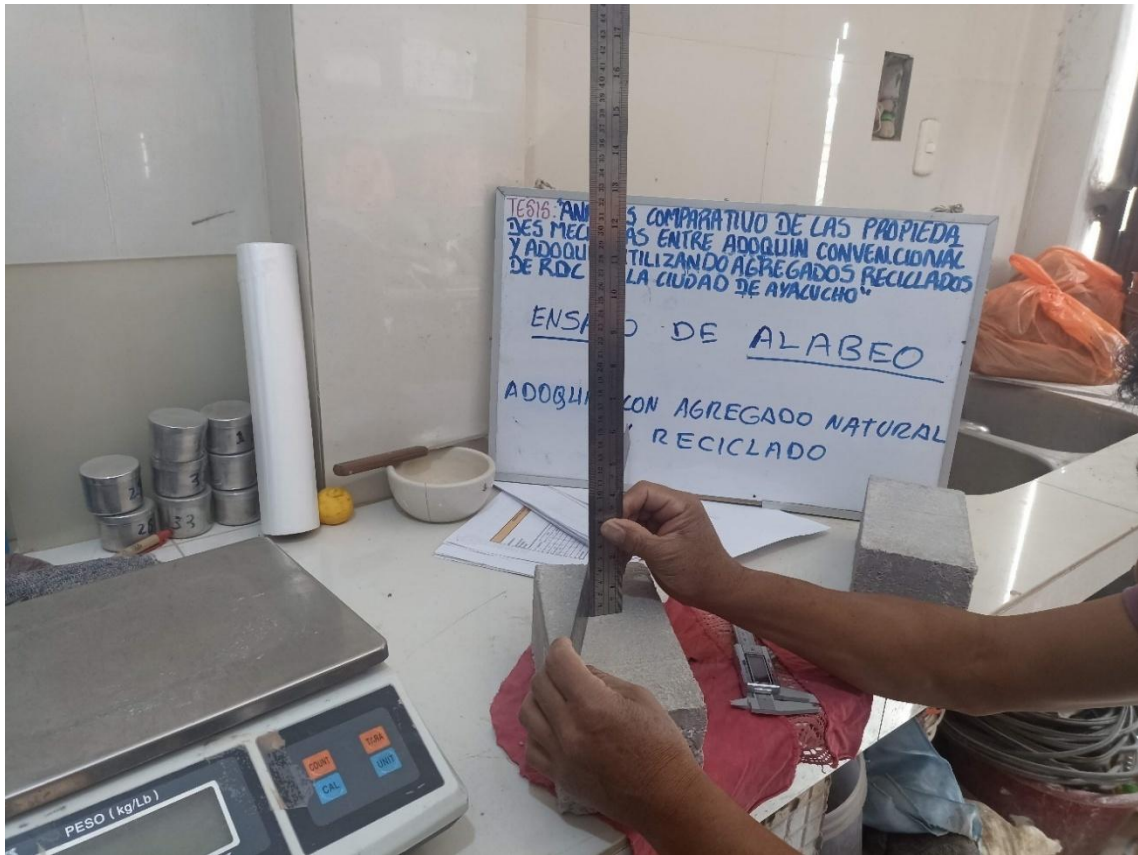
*Registro de deformaciones por alabeo en elementos prefabricados.*



*Nota.* Fuente: Norma Técnica Peruana NTP 399.613, 2017

**Figura 12**

*Medición de la distorsión por alabeo en superficie y bordes.*



*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 10**

*Registro y análisis del alabeo en adoquines de concreto con agregado 100 % de río conforme a la NTP 399.613.*

N°	MUESTRA	CARA A		CARA B	
		CONCAVO	CONVEXO	CONCAVO	CONVEXO
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
01	M-1	3.00	0.00	0.00	1.00
02	M-2	2.50	0.00	0.00	1.00
03	M-3	2.50	0.00	0.00	1.00
04	M-4	0.00	1.00	0.00	1.50
05	M-5	2.00	0.00	2.00	0.00
PROMEDIO		2.00	0.20	0.40	0.90
<b>CONCAVIDAD PROMEDIO</b>			<b>1.20</b>	<b>CONVEXIDAD PROMEDIO</b>	<b>0.55</b>

*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 11**

*Registro y análisis del alabeo en adoquines de concreto fabricados con 75 % de agregado de río y 25 % de agregado reciclado, conforme a la NTP 399.613.*

N°	MUESTRA	CARA A		CARA B	
		CONCAVO	CONVEXO	CONCAVO	CONVEXO
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
01	M-1	0.00	0.00	0.00	0.00
02	M-2	1.00	0.00	0.00	1.00
03	M-3	0.00	2.00	0.00	0.00
04	M-4	0.00	2.00	1.00	0.00
05	M-5	0.00	1.00	0.00	1.00
PROMEDIO		0.20	1.00	0.20	0.40
<b>CONCAVIDAD PROMEDIO</b>			<b>0.20</b>	<b>CONVEXIDAD PROMEDIO</b>	<b>0.70</b>

*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 12**

*Registro y análisis del alabeo en adoquines de concreto fabricados con 50 % de agregado de río y 50 % de agregado reciclado, conforme a la NTP 399.613.*

N°	MUESTRA	CARA A		CARA B	
		CONCAVO (mm)	CONVEXO (mm)	CONCAVO (mm)	CONVEXO (mm)
01	M-1	0.00	1.00	1.00	0.00
02	M-2	0.00	1.00	0.00	1.00
03	M-3	0.00	1.00	0.00	0.00
04	M-4	0.00	1.00	0.00	1.00
05	M-5	0.00	1.50	1.00	0.00
PROMEDIO		0.00	1.10	0.40	0.40
		<b>CONCAVIDAD PROMEDIO</b>		<b>CONVEXIDAD PROMEDIO</b>	
		0.20		0.75	

*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 13**

*Registro y análisis del alabeo en adoquines de concreto fabricados con 25 % de agregado de río y 75 % de agregado reciclado, conforme a la NTP 399.613.*

N°	MUESTRA	CARA A		CARA B	
		CONCAVO (mm)	CONVEXO (mm)	CONCAVO (mm)	CONVEXO (mm)
01	M-1	0.00	0.00	0.00	0.00
02	M-2	1.00	0.00	0.00	1.00
03	M-3	1.00	0.00	0.00	1.00
04	M-4	0.00	1.00	0.00	1.00
05	M-5	1.00	0.00	0.00	1.00
<b>PROMEDIO</b>		0.60	0.20	0.00	0.80
		<b>CONCAVIDAD PROMEDIO</b>		<b>CONVEXIDAD PROMEDIO</b>	
		0.30		0.50	

*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 14**

*Registro y análisis del alabeo en adoquines de concreto fabricados con el 100 % de agregado reciclado, conforme a la NTP 399.613.*

N°	MUESTRA	CARA A		CARA B	
		CONCAVO	CONVEXO	CONCAVO	CONVEXO
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
<b>01</b>	M-1	2.00	0.00	0.00	2.00
<b>02</b>	M-2	2.00	0.00	0.00	2.00
<b>03</b>	M-3	1.00	0.00	1.00	0.00
<b>04</b>	M-4	0.00	2.00	1.00	0.00
<b>05</b>	M-5	0.00	2.00	0.00	1.00
<b>PROMEDIO</b>		1.00	0.80	0.40	1.00
<b>CONCAVIDAD PROMEDIO</b>		<b>0.70</b>		<b>CONVEXID AD PROMEDIO</b>	
				<b>0.90</b>	

*Nota.* Elaboración propia

### **3.9.4.3 Ensayo de absorción**

El ensayo de absorción de agua evalúa la porosidad del concreto y su relación con la durabilidad del adoquín. Se determina comparando la masa seca y la masa saturada del espécimen, reflejando la capacidad del material para absorber y retener humedad.

Este ensayo es especialmente importante en adoquines fabricados con agregado reciclado, ya que estos tienden a presentar mayor porosidad debido al mortero adherido.

El procedimiento sigue lo establecido en la NTP 399.611, que fija los límites máximos de absorción permitidos:

**Tabla 15**

*Límites de absorción según el tipo de adoquín de concreto.*

Tipo de adoquín	Absorción, max. (%)	
	Promedio de 3 unidades	Unidad individual
	Ancho	Espesor
I y II	6	7.5
III	5	7

*Nota.* Basado en la normativa NTP 399.611.

La absorción superior a estos valores puede indicar una menor resistencia frente al desgaste, ciclos de humedad y agentes agresivos, por lo que su control es fundamental en la fabricación de adoquines duraderos. se

### **Normativa técnica**

El procedimiento se basa en lo establecido por la Norma Técnica Peruana NTP 399.613, que regula los ensayos físicos aplicables a adoquines de concreto.

### **Equipos utilizados**

- Balanza con precisión mínima de 0.1 g.
- Estufa o cámara de secado.
- Recipiente con agua a temperatura ambiente.
- Toalla absorbente o paño seco.

### **Procedimiento**

- Se seleccionan adoquines representativos del lote y se secan en estufa a  $105 \pm 5$  °C hasta alcanzar masa constante (peso seco).
- Se enfrían a temperatura ambiente y se sumergen en agua durante  $24 \pm 1$  h.
- Se retiran, se eliminan los excesos superficiales con un paño húmedo y se registra su peso saturado.

- La absorción se calcula con la fórmula:

$$\text{Absorción (\%)} = \frac{M_{\text{saturado}} - M_{\text{seco}}}{M_{\text{seco}}} \times 100$$

donde  $M_{\text{saturado}}$  es la masa del adoquín saturado y  $M_{\text{seco}}$  es la masa en estado seco.

### Importancia

La absorción es un indicador clave de la durabilidad y calidad del concreto. En mezclas con agregado reciclado, es común observar una absorción mayor debido a la porosidad del mortero adherido. Comparar los resultados entre adoquines convencionales y aquellos con agregados reciclados permite verificar la viabilidad técnica de estos últimos para su uso en pavimentos.

### Determinación del ensayo de absorción

Tabla 23. Datos y resultados del ensayo de absorción en adoquines de concreto fabricados con 100 % de agregado de río.

**Tabla 16**

*Registro y resultados del ensayo de absorción en adoquines de concreto con 100 % de agregado natural de río, conforme a las normas NTP 399.604 y NTP 399.613.*

N°	MUESTRA	PESO (gr)			ABSORCION (%)
		Seco 1 (Antes de meter al horno)	seco 2 (Secada al Horno)	24 HORAS INMERSION	
01	M-1	3752.00	3642.00	3777.00	3.71
02	M-2	3834.00	3723.00	3864.00	3.79
03	M-3	3779.00	3673.00	3808.00	3.68
04	M-4	3788.00	3685.00	3823.00	3.74
05	M-5	3807.00	3711.00	3847.00	3.66
<b>PROMEDIO</b>					<b>3.72</b>

*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 17**

*Registro y resultados del ensayo de absorción en adoquines de concreto fabricados con 75 % de agregado de río y 25 % de agregado reciclado, conforme a las normas NTP 399.604 y NTP 399.613.*

N°	MUESTRA	PESO (gr)			ABSORCION (%)
		Seco 1 (Antes de meter al horno)	seco 2 (Secada al Horno)	24 HORAS INMERSION	
01	M-1	3508.00	3398.00	3535.00	4.03
02	M-2	3578.00	3462.00	3603.00	4.07
03	M-3	3477.00	3366.00	3499.00	3.95
04	M-4	3512.00	3404.00	3543.00	4.08
05	M-5	3543.00	3427.00	3567.00	4.09
<b>PROMEDIO</b>					<b>4.04</b>

*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 18**

*Registro y resultados del ensayo de absorción en adoquines de concreto fabricados con 50 % de agregado de río y 50 % de agregado reciclado, conforme a las normas NTP 399.604 y NTP 399.613.*

N°	MUESTRA	PESO (gr)			ABSORCION (%)
		Seco 1 (Antes de meter al horno)	seco 2 (Secada al Horno)	24 HORAS INMERSION	
01	M-1	3554.00	3523.00	3647.00	3.52
02	M-2	3522.00	3490.00	3602.00	3.21
03	M-3	3538.00	3484.00	3668.00	5.28
04	M-4	3545.00	3495.65	3658.00	4.64
05	M-5	3537.00	3502.00	3675.00	4.94
<b>PROMEDIO</b>					<b>4.32</b>

*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 19**

*Registro y resultados del ensayo de absorción en adoquines de concreto fabricados con 25 % de agregado de río y 75 % de agregado reciclado, conforme a las normas NTP 399.604 y NTP 399.613.*

N°	MUESTRA	PESO (gr)			ABSORCION (%)
		Seco 1 (Antes de meter al horno)	seco 2 (Secada al Horno)	24 HORAS INMERSION	
01	M-1	3463.00	3354.00	3547.00	5.75
02	M-2	3434.00	3324.00	3512.00	5.66
03	M-3	3603.00	3474.00	3678.00	5.87
04	M-4	3482.00	3363.00	3563.00	5.95
05	M-5	3523.00	3410.00	3597.00	5.48
<b>PROMEDIO</b>					<b>5.74</b>

*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 20**

*Registro y resultados del ensayo de absorción en adoquines de concreto fabricados con el 100 % de agregado reciclado, conforme a las normas NTP 399.604 y NTP 399.613.*

N°	MUESTRA	PESO (gr)			ABSORCION (%)
		Seco 1 (Antes de meter al horno)	seco 2 (Secada al Horno)	24 HORAS INMERSION	
01	M-1	3220.00	3097.00	3337.00	7.75
02	M-2	3244.00	3143.00	3395.00	8.02
03	M-3	3223.00	3111.00	3365.00	8.16
04	M-4	3277.00	3155.00	3401.00	7.80
05	M-5	3266.00	3132.00	3381.00	7.95
<b>PROMEDIO</b>					<b>7.94</b>

*Nota.* Elaboración propia

#### **3.9.4.4 Ensayo de resistencia a compresión**

Para la ejecución del ensayo de resistencia a la compresión en adoquines de concreto, se utilizaron los siguientes recursos materiales y técnicos, conforme a lo establecido por las normas NTP 399.604 y NTP 399.611:2017:

##### **a) Adoquines de concreto**

Se emplearon adoquines fabricados a partir de cinco diseños de mezcla distintos, los cuales incluían combinaciones de agregado natural de río y agregado reciclado en distintas proporciones (100 % natural, 75 %–25 %, etc.). Las unidades seleccionadas para el ensayo fueron muestras representativas, sin fisuras, secas y con caras planas, asegurando condiciones homogéneas.

#### **b) Curado**

Los adoquines fueron sometidos a curado por inmersión en agua, desde su fabricación hasta un día antes de la prueba. Este procedimiento garantizó una hidratación adecuada del cemento y condiciones uniformes para todos los especímenes.

#### **c) Máquina de ensayo**

Se utilizó una máquina de compresión hidráulica, equipada con:

- Placa inferior fija y plana.
- Placa superior móvil con rótula, que permite el ajuste automático a la superficie del adoquín, asegurando una carga axial uniforme durante el ensayo.
- Capacidad de lectura y control del esfuerzo aplicado hasta el momento de ruptura.

#### **d) Placas metálicas de carga**

Se emplearon dos placas metálicas rectangulares, una en la base y otra en la parte superior del adoquín, para distribuir de manera uniforme la carga y evitar concentraciones de esfuerzo que afecten los resultados.

#### **e) Balanza electrónica**

Se utilizó una balanza de precisión para registrar el peso de cada muestra antes del ensayo, lo que permitió complementar los análisis físicos previos.

**Figura 13**

*Preparación del adoquín de concreto para el ensayo de carga axial.*



*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 21**

*Combinaciones de áridos naturales y reciclados.*

<b>Diseño de mezcla con agregados normales y reciclado</b>			
<b>Dosificación</b>	<b>Agregado Reciclado</b>	<b>Agregado Normal</b>	<b>Cantidad adoquín</b>
1		100%	15
2	25%	75%	15
3	50%	50%	15
4	75%	25%	15
5	100%	0	15

*Nota.* Elaboración propia

f) Registro de resultados del ensayo de resistencia a compresión en adoquines de concreto con distintos diseños de mezcla, conforme a las normas NTP 399.604 y NTP 399.611:2017.

- Evaluación de la resistencia a compresión uniaxial a los 7 días de curado.

**Tabla 22**

*Registro de compresión uniaxial a 7 días en adoquines con agregado 100 % natural.*

Nº	Código Probeta	F´C=380 Kg/cm2	Fecha de Moldeo	Fecha de Rotura	Edad (días)	Largo cm	Ancho cm	Area (cm2)	Lectura (KN)	Carga de Rotura kg-f	Resistencia (Kg/cm2)	%
1	M-1, 380	380.00	14/01/2023	21/01/2023	7	20.00	10.30	206.00	758.01	77,294.23	375.21	99%
2	M-2, 380	380.00	14/01/2023	21/01/2023	7	19.90	10.20	202.98	781.17	79,656.05	392.43	103%
3	M-3, 380	380.00	14/01/2023	21/01/2023	7	19.85	10.14	201.28	839.26	85,579.06	425.17	112%
4	M-4, 380	380.00	14/01/2023	21/01/2023	7	20.00	10.08	201.60	793.84	80,947.67	401.53	106%
5	M-5, 380	380.00	14/01/2023	21/01/2023	7	19.95	10.13	202.09	779.54	79,489.99	393.34	104%
<b>RESISTENCIA PROMEDIO</b>											<b>397.54</b>	

*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 23**

*Registro de compresión uniaxial a 7 días en adoquines fabricados con 75 % de agregado de río y 25 % de agregado reciclado.*

Nº	Código Probeta	F´C=380 Kg/cm2	Fecha de Moldeo	Fecha de Rotura	Edad (días)	Largo cm	Ancho cm	Area (cm2)	Lectura (KN)	Carga de Rotura kg-f	Resistencia (Kg/cm2)	%
1	M-1, 380	380.00	16/01/2023	23/01/2023	7	19.95	10.06	200.70	652.70	66555.34	331.62	87%
2	M-2, 380	380.00	16/01/2023	23/01/2023	7	19.95	10.04	200.30	633.88	64636.35	322.70	85%
3	M-3, 380	380.00	16/01/2023	23/01/2023	7	20.00	10.05	201.00	642.02	65466.69	325.70	86%
4	M-4, 380	380.00	16/01/2023	23/01/2023	7	20.05	10.08	202.10	645.82	65854.16	325.85	86%
5	M-5, 380	380.00	16/01/2023	23/01/2023	7	20.15	10.06	202.71	651.07	66389.28	327.51	86%
<b>RESISTENCIA PROMEDIO</b>											<b>326.68</b>	

*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 24**

*Registro de compresión uniaxial a 7 días en adoquines fabricados con 50 % de agregado de río y 50 % de agregado reciclado.*

Nº	Código Probeta	F´C=380 Kg/cm2	Fecha de Moldeo	Fecha de Rotura	Edad (días)	Largo cm	Ancho cm	Area (cm2)	Lectura (KN)	Carga de Rotura kg-f	Resistencia (Kg/cm2)	%
1	M-1, 380	380.00	19/01/2023	26/01/2023	7	19.95	10.13	202.09	605.65	61757.89	305.59	80%
2	M-2, 380	380.00	19/01/2023	26/01/2023	7	20.10	10.21	205.22	640.21	65282.17	318.11	84%
3	M-3, 380	380.00	19/01/2023	26/01/2023	7	20.05	10.16	203.71	648.32	66108.73	324.53	85%
4	M-4, 380	380.00	19/01/2023	26/01/2023	7	20.15	10.13	204.12	655.59	66850.56	327.51	86%
5	M-5, 380	380.00	19/01/2023	26/01/2023	7	20.12	10.18	204.82	647.09	65983.33	322.15	85%
<b>RESISTENCIA PROMEDIO</b>											<b>319.58</b>	

*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 25**

*Registro de compresión uniaxial a 7 días en adoquines fabricados con 25 % de agregado de río y 75 % de agregado reciclado.*

Nº	Código Probeta	F´C=380 Kg/cm2	Fecha de Moldeo	Fecha de Rotura	Edad (días)	Largo cm	Ancho cm	Area (cm2)	Lectura (KN)	Carga de Rotura kg-f	Resistencia (Kg/cm2)	%
1	M-1, 380	380.00	20/01/2023	27/01/2023	7	19.95	10.13	202.09	466.86	47605.42	235.56	62%
2	M-2, 380	380.00	20/01/2023	27/01/2023	7	20.00	10.11	202.20	427.23	43564.50	215.45	57%
3	M-3, 380	380.00	20/01/2023	27/01/2023	7	19.95	10.18	203.09	413.30	42143.72	207.51	55%
4	M-4, 380	380.00	20/01/2023	27/01/2023	7	20.05	10.15	203.51	432.48	44099.60	216.70	57%
5	M-5, 380	380.00	20/01/2023	27/01/2023	7	20.09	10.20	204.92	447.13	45594.19	222.50	59%
<b>RESISTENCIA PROMEDIO</b>											<b>219.54</b>	

*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 26**

*Registro de compresión uniaxial a 7 días en adoquines fabricados con 100 % de agregado reciclado.*

N°	Código Probeta	F´C=380 Kg/cm2	Fecha de Moldeo	Fecha de Rotura	Edad (días)	Largo cm	Ancho cm	Area (cm2)	Lectura (KN)	Carga de Rotura kg-f	Resistencia (Kg/cm2)	%
1	M-1, 380	380.00	24/01/2023	31/01/2023	7	20.55	10.11	207.76	366.43	37364.73	179.85	47%
2	M-2, 380	380.00	24/01/2023	31/01/2023	7	20.55	10.10	207.56	399.05	40691.56	196.05	52%
3	M-3, 380	380.00	24/01/2023	31/01/2023	7	20.15	10.15	204.52	368.40	37565.84	183.68	48%
4	M-4, 380	380.00	24/01/2023	31/01/2023	7	20.26	10.18	206.25	368.78	37604.60	182.33	48%
5	M-5, 380	380.00	24/01/2023	31/01/2023	7	20.28	10.03	203.41	394.11	40187.84	197.57	52%
<b>RESISTENCIA PROMEDIO</b>											<b>187.89</b>	

*Nota.* Elaboración propia

- **Evaluación de la resistencia a compresión uniaxial a los 14 días.**

**Tabla 27**

*Registro de compresión uniaxial a 14 días en adoquines con agregado 100 % natural.*

N°	Código Probeta	F´C=380 Kg/cm2	Fecha de Moldeo	Fecha de Rotura	Edad (días)	Largo cm	Ancho cm	Area (cm2)	Lectura (KN)	Carga de Rotura kg-f	Resistencia (Kg/cm2)	%
1	M-1, 380	380.00	14/01/2023	28/01/2023	14	20.05	10.13	203.11	824.24	84,047.57	413.80	109%
2	M-2, 380	380.00	14/01/2023	28/01/2023	14	19.90	10.10	200.99	786.06	80,154.25	398.80	105%
3	M-3, 380	380.00	14/01/2023	28/01/2023	14	20.45	10.20	208.59	809.94	82,589.87	395.94	104%
4	M-4, 380	380.00	14/01/2023	28/01/2023	14	20.30	10.20	207.06	874.54	89,177.13	430.68	113%
5	M-5, 380	380.00	14/01/2023	28/01/2023	14	20.35	10.10	205.54	875.09	89,232.49	434.14	114%
<b>RESISTENCIA PROMEDIO</b>											<b>414.67</b>	

*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 28**

*Registro de compresión uniaxial a 14 días en adoquines fabricados con 75 % de agregado de río y 25 % de agregado reciclado.*

Nº	Código Probeta	F´C=380 Kg/cm2	Fecha de Moldeo	Fecha de Rotura	Edad (días)	Largo cm	Ancho cm	Area (cm2)	Lectura (KN)	Carga de Rotura kg-f	Resistencia (Kg/cm2)	%
1	M-1, 380	380.00	16/01/2023	30/01/2023	14	20.05	9.90	198.50	730.50	74489.57	375.26	99%
2	M-2, 380	380.00	16/01/2023	30/01/2023	14	20.10	9.90	198.99	706.98	72090.85	362.28	95%
3	M-3, 380	380.00	16/01/2023	30/01/2023	14	19.90	10.05	200.00	723.09	73733.05	368.67	97%
4	M-4, 380	380.00	16/01/2023	30/01/2023	14	20.00	10.03	200.60	720.01	73419.37	366.00	96%
5	M-5, 380	380.00	16/01/2023	30/01/2023	14	20.00	10.13	202.60	737.38	75190.74	371.13	98%
<b>RESISTENCIA PROMEDIO</b>											<b>368.67</b>	

*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 29**

*Registro de compresión uniaxial a 14 días en adoquines fabricados con 50 % de agregado de río y 50 % de agregado reciclado.*

Nº	Código Probeta	F´C=380 Kg/cm2	Fecha de Moldeo	Fecha de Rotura	Edad (días)	Largo cm	Ancho cm	Area (cm2)	Lectura (KN)	Carga de Rotura kg-f	Resistencia (Kg/cm2)	%
1	M-1, 380	380.00	19/01/2023	02/02/2023	14	20.30	10.00	203.00	694.13	70780.77	348.67	92%
2	M-2, 380	380.00	19/01/2023	02/02/2023	14	20.05	9.75	195.49	662.10	67514.82	345.37	91%
3	M-3, 380	380.00	19/01/2023	02/02/2023	14	20.50	9.90	202.95	695.76	70946.85	349.58	92%
4	M-4, 380	380.00	19/01/2023	02/02/2023	14	20.05	9.75	195.49	662.10	67514.82	345.37	91%
5	M-5, 380	380.00	19/01/2023	02/02/2023	14	20.50	9.90	202.95	695.76	70946.85	349.58	92%
<b>RESISTENCIA PROMEDIO</b>											<b>347.71</b>	

*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 30**

*Registro de compresión uniaxial a 14 días en adoquines fabricados con 25 % de agregado de río y 75 % de agregado reciclado.*

Nº	Código Probeta	F´C=380 Kg/cm2	Fecha de Moldeo	Fecha de Rotura	Edad (días)	Largo cm	Ancho cm	Area (cm2)	Lectura (KN)	Carga de Rotura kg-f	Resistencia (Kg/cm2)	%
1	M-1, 380	380.00	20/01/2023	03/02/2023	14	20.05	10.15	203.51	629.35	64175.07	315.34	83%
2	M-2, 380	380.00	20/01/2023	03/02/2023	14	20.05	10.15	203.51	603.48	61536.48	302.38	80%
3	M-3, 380	380.00	20/01/2023	03/02/2023	14	20.45	10.17	207.98	646.72	65946.43	317.09	83%
4	M-4, 380	380.00	20/01/2023	03/02/2023	14	20.40	10.27	209.51	650.34	66315.46	316.53	83%
5	M-5, 380	380.00	20/01/2023	03/02/2023	14	20.35	10.23	208.18	665.54	67865.41	325.99	86%
<b>RESISTENCIA PROMEDIO</b>											<b>315.47</b>	

*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 31**

*Registro de compresión uniaxial a 14 días en adoquines fabricados con 100 % de agregado reciclado.*

Nº	Código Probeta	F´C=380 Kg/cm2	Fecha de Moldeo	Fecha de Rotura	Edad (días)	Largo cm	Ancho cm	Area (cm2)	Lectura (KN)	Carga de Rotura kg-f	Resistencia (Kg/cm2)	%
1	M-1, 380	380.00	24/01/2023	07/02/2023	14	20.00	9.95	199.00	497.80	50760.67	255.08	47%
2	M-2, 380	380.00	24/01/2023	07/02/2023	14	20.15	9.80	197.47	498.16	50797.57	257.24	52%
3	M-3, 380	380.00	24/01/2023	07/02/2023	14	20.09	10.08	202.51	502.69	51258.87	253.12	48%
4	M-4, 380	380.00	24/01/2023	07/02/2023	14	20.05	10.10	202.51	517.16	52735.01	260.41	48%
5	M-5, 380	380.00	24/01/2023	07/02/2023	14	20.13	10.03	201.90	504.13	51406.47	254.61	52%
<b>RESISTENCIA PROMEDIO</b>											<b>256.09</b>	

*Nota.* Elaboración propia

- Evaluación de la resistencia a compresión uniaxial a los 21 días.

**Tabla 32**

*Registro de compresión uniaxial a 21 días en adoquines con agregado 100 % natural.*

Nº	Código Probeta	F´C=380 Kg/cm2	Fecha de Moldeo	Fecha de Rotura	Edad (días)	Largo cm	Ancho cm	Area (cm2)	Lectura (KN)	Carga de Rotura kg-f	Resistencia (Kg/cm2)	%
1	M-1, 380	380.00	14/01/2023	04/02/2023	21	20.00	10.08	201.60	893.90	91,151.47	452.14	119%
2	M-2, 380	380.00	14/01/2023	04/02/2023	21	20.60	10.06	207.24	836.00	85,246.92	411.34	108%
3	M-3, 380	380.00	14/01/2023	04/02/2023	21	20.50	10.12	207.46	881.42	89,878.31	433.23	114%
4	M-4, 380	380.00	14/01/2023	04/02/2023	21	20.43	10.10	206.34	879.43	89,675.33	434.60	114%
5	M-5, 380	380.00	14/01/2023	04/02/2023	21	20.33	10.03	203.91	882.14	89,952.12	441.14	116%
<b>RESISTENCIA PROMEDIO</b>											<b>434.49</b>	

*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 33**

*Registro de compresión uniaxial a 21 días en adoquines fabricados con 75 % de agregado de río y 25 % de agregado reciclado.*

Nº	Código Probeta	F´C=380 Kg/cm2	Fecha de Moldeo	Fecha de Rotura	Edad (días)	Largo cm	Ancho cm	Area (cm2)	Lectura (KN)	Carga de Rotura kg-f	Resistencia (Kg/cm2)	%
1	M-1, 380	380.00	16/01/2023	06/02/2023	21	20.05	9.90	198.50	729.97	74435.40	375.00	99%
2	M-2, 380	380.00	16/01/2023	06/02/2023	21	20.10	9.90	198.99	779.37	79472.80	399.38	105%
3	M-3, 380	380.00	16/01/2023	06/02/2023	21	19.90	10.05	200.00	768.52	78365.68	391.84	103%
4	M-4, 380	380.00	16/01/2023	06/02/2023	21	19.95	9.95	198.50	716.22	73033.05	367.92	97%
5	M-5, 380	380.00	16/01/2023	06/02/2023	21	19.95	10.00	199.50	723.04	73728.69	369.57	97%
<b>RESISTENCIA PROMEDIO</b>											<b>380.74</b>	

*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 34**

*Registro de compresión uniaxial a 21 días en adoquines fabricados con 50 % de agregado de río y 50 % de agregado reciclado.*

Nº	Código Probeta	F´C=380 Kg/cm2	Fecha de Moldeo	Fecha de Rotura	Edad (días)	Largo cm	Ancho cm	Area (cm2)	Lectura (KN)	Carga de Rotura kg-f	Resistencia (Kg/cm2)	%
1	M-1, 380	380.00	19/01/2023	09/02/2023	21	20.55	10.11	207.76	747.89	76262.15	367.07	97%
2	M-2, 380	380.00	19/01/2023	09/02/2023	21	20.65	10.28	212.28	725.81	74011.00	348.64	92%
3	M-3, 380	380.00	19/01/2023	09/02/2023	21	20.75	10.39	215.59	785.71	80118.62	371.62	98%
4	M-4, 380	380.00	19/01/2023	09/02/2023	21	20.10	10.20	205.02	733.77	74822.89	364.95	96%
5	M-5, 380	380.00	19/01/2023	09/02/2023	21	20.27	10.20	206.75	730.15	74453.85	360.11	95%
<b>RESISTENCIA PROMEDIO</b>											<b>362.48</b>	

*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 35**

*Registro de compresión uniaxial a 21 días en adoquines fabricados con 25 % de agregado de río y 75 % de agregado reciclado.*

Nº	Código Probeta	F´C=380 Kg/cm2	Fecha de Moldeo	Fecha de Rotura	Edad (días)	Largo cm	Ancho cm	Area (cm2)	Lectura (KN)	Carga de Rotura kg-f	Resistencia (Kg/cm2)	%
1	M-1, 380	380.00	20/01/2023	10/02/2023	21	20.15	9.85	198.48	667.17	68031.47	342.77	90%
2	M-2, 380	380.00	20/01/2023	10/02/2023	21	20.45	10.00	204.50	637.50	65005.39	317.87	84%
3	M-3, 380	380.00	20/01/2023	10/02/2023	21	20.20	9.90	199.98	623.92	63621.52	318.14	84%
4	M-4, 380	380.00	20/01/2023	10/02/2023	21	20.18	10.00	201.80	635.50	64802.41	321.12	85%
5	M-5, 380	380.00	20/01/2023	10/02/2023	21	20.13	10.10	203.31	660.48	67348.76	331.26	87%
<b>RESISTENCIA PROMEDIO</b>											<b>326.23</b>	

*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 36**

*Registro de compresión uniaxial a 21 días en adoquines fabricados con 100 % de agregado reciclado.*

Nº	Código Probeta	F´C=380 Kg/cm2	Fecha de Moldeo	Fecha de Rotura	Edad (días)	Largo cm	Ancho cm	Area (cm2)	Lectura (KN)	Carga de Rotura kg-f	Resistencia (Kg/cm2)	%
1	M-1, 380	380.00	24/01/2023	14/02/2023	21	20.35	9.95	202.48	552.81	56370.00	278.39	73%
2	M-2, 380	380.00	24/01/2023	14/02/2023	21	20.35	9.90	201.47	562.76	57384.83	284.84	75%
3	M-3, 380	380.00	24/01/2023	14/02/2023	21	20.45	9.95	203.48	566.38	57753.87	283.83	75%
4	M-4, 380	380.00	24/01/2023	14/02/2023	21	20.30	10.20	207.06	535.44	54598.62	263.69	69%
5	M-5, 380	380.00	24/01/2023	14/02/2023	21	20.25	9.95	201.49	550.10	56093.21	278.40	73%
<b>RESISTENCIA PROMEDIO</b>											<b>277.83</b>	

*Nota.* Elaboración propia

- **Evaluación de la resistencia a compresión uniaxial a los 28 días de curado.**

**Tabla 37**

*Registro de compresión uniaxial a 28 días en adoquines con agregado 100 % natural.*

Nº	Código Probeta	F´C=380 Kg/cm2	Fecha de Moldeo	Fecha de Rotura	Edad (días)	Largo cm	Ancho cm	Area (cm2)	Lectura (KN)	Carga de Rotura kg-f	Resistencia (Kg/cm2)	%
1	M-1, 380	380.00	14/01/2023	11/02/2023	28	20.05	10.00	200.50	985.30	100471.18	501.10	132%
2	M-2, 380	380.00	14/01/2023	11/02/2023	28	20.45	10.00	204.50	931.74	95009.39	464.59	122%
3	M-3, 380	380.00	14/01/2023	11/02/2023	28	20.15	10.00	201.50	940.61	95913.54	476.00	125%
4	M-4, 380	380.00	14/01/2023	11/02/2023	28	20.15	10.03	202.10	952.73	97149.82	480.69	126%
5	M-5, 380	380.00	14/01/2023	11/02/2023	28	20.05	10.00	200.50	944.22	96282.58	480.21	126%
<b>RESISTENCIA PROMEDIO</b>											<b>480.52</b>	

*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 38**

*Registro de compresión uniaxial a 28 días en adoquines fabricados con 75 % de agregado de río y 25 % de agregado reciclado.*

N°	Código Probeta	F´C=380 Kg/cm2	Fecha de Moldeo	Fecha de Rotura	Edad (días)	Largo cm	Ancho cm	Area (cm2)	Lectura (KN)	Carga de Rotura kg-f	Resistencia (Kg/cm2)	%
1	M-1, 380	380.00	16/01/2023	13/02/2023	28	20.40	9.60	195.84	831.66	84804.08	433.03	114%
2	M-2, 380	380.00	16/01/2023	13/02/2023	28	20.45	9.85	201.43	839.26	85579.06	424.85	112%
3	M-3, 380	380.00	16/01/2023	13/02/2023	28	20.35	9.85	200.45	743.35	75799.65	378.15	100%
4	M-4, 380	380.00	16/01/2023	13/02/2023	28	20.20	9.80	197.96	783.61	79905.15	403.64	106%
5	M-5, 380	380.00	16/01/2023	13/02/2023	28	20.33	9.33	189.68	781.41	79680.05	420.08	111%
<b>ESISTENCIA PROMEDIO</b>											<b>411.95</b>	

*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 39**

*Registro de compresión uniaxial a 28 días en adoquines fabricados con 50 % de agregado de río y 50 % de agregado reciclado.*

N°	Código Probeta	F´C=380 Kg/cm2	Fecha de Moldeo	Fecha de Rotura	Edad (días)	Largo cm	Ancho cm	Area (cm2)	Lectura (KN)	Carga de Rotura kg-f	Resistencia (Kg/cm2)	%
1	M-1, 380	380.00	19/01/2023	16/02/2023	28	20.40	9.95	202.98	670.25	68345.15	336.71	89%
2	M-2, 380	380.00	19/01/2023	16/02/2023	28	19.95	10.20	203.49	783.16	79859.03	392.45	103%
3	M-3, 380	380.00	19/01/2023	16/02/2023	28	20.40	10.00	204.00	809.58	82552.97	404.67	106%
4	M-4, 380	380.00	19/01/2023	16/02/2023	28	20.30	10.05	204.02	772.03	78724.24	385.87	102%
5	M-5, 380	380.00	19/01/2023	16/02/2023	28	20.28	10.23	207.46	752.13	76694.55	369.68	97%
<b>ESISTENCIA PROMEDIO</b>											<b>377.88</b>	

*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 40**

*Registro de compresión uniaxial a 28 días en adoquines fabricados con 25 % de agregado de río y 75 % de agregado reciclado.*

Nº	Código Probeta	F´C=380 Kg/cm2	Fecha de Moldeo	Fecha de Rotura	Edad (días)	Largo cm	Ancho cm	Area (cm2)	Lectura (KN)	Carga de Rotura kg-f	Resistencia (Kg/cm2)	%
1	M-1, 380	380.00	20/01/2023	17/02/2023	28	20.25	9.95	201.49	696.13	70984.87	352.30	93%
2	M-2, 380	380.00	20/01/2023	17/02/2023	28	19.95	9.90	197.51	712.96	72700.91	368.10	97%
3	M-3, 380	380.00	20/01/2023	17/02/2023	28	20.45	10.05	205.52	710.79	72479.49	352.66	93%
4	M-4, 380	380.00	20/01/2023	17/02/2023	28	20.10	9.95	200.00	669.53	68272.43	341.37	90%
5	M-5, 380	380.00	20/01/2023	17/02/2023	28	20.10	10.05	202.01	704.28	71815.21	355.51	94%
<b>ESISTENCIA PROMEDIO</b>											<b>353.99</b>	

*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 41**

*Registro de compresión uniaxial a 28 días en adoquines fabricados con 100 % de agregado reciclado.*

Nº	Código Probeta	F´C=380 Kg/cm2	Fecha de Moldeo	Fecha de Rotura	Edad (días)	Largo cm	Ancho cm	Area (cm2)	Lectura (KN)	Carga de Rotura kg-f	Resistencia (Kg/cm2)	%
1	M-1, 380	380.00	24/01/2023	21/02/2023	28	20.35	9.95	202.48	569.10	58031.56	286.60	75%
2	M-2, 380	380.00	24/01/2023	21/02/2023	28	19.95	9.85	196.51	532.91	54341.16	276.53	73%
3	M-3, 380	380.00	24/01/2023	21/02/2023	28	20.75	9.85	204.39	625.38	63770.14	312.01	82%
4	M-4, 380	380.00	24/01/2023	21/02/2023	28	20.20	10.00	202.00	589.01	60061.28	297.33	78%
5	M-5, 380	380.00	24/01/2023	21/02/2023	28	20.05	10.00	200.50	588.29	59987.48	299.19	79%
<b>ESISTENCIA PROMEDIO</b>											<b>294.33</b>	

*Nota.* Elaboración propia

**Figura 14**

*Ensayo de compresión uniaxial en adoquines de concreto con 75 % de agregado de río y 25 % de agregado reciclado, a los 7 días de curado.*



*Nota.* Elaboración Propia

**Figura 15**

*Ensayo de compresión uniaxial a los 14 días en adoquines de concreto con dosificación de 100 % de agregado de río.*



*Nota. Elaboración Propia*

**Figura 16**

*Ensayo de compresión uniaxial a los 28 días en adoquines de concreto con dosificación del 100 % de agregado reciclado.*



*Nota. Elaboración Propia*

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como parte del desarrollo experimental, se fabricaron adoquines de concreto de dimensiones nominales 20 × 10 × 8 cm, siguiendo los criterios establecidos por las normas NTP 399.604 y NTP 399.611:2017. Para ello, se diseñaron cinco dosificaciones con diferentes proporciones de agregado natural de río y agregado reciclado de concreto.

El agregado reciclado fue obtenido a partir de la trituración de escombros de concreto recuperados de la tercera cuadra del Jr. Sol cuarta cuadra, en la ciudad de Ayacucho. Este material fue procesado y clasificado para su uso como árido grueso en la fabricación de adoquines.

En la tabla N° 42 se resumen las proporciones utilizadas:

**Tabla 42**

*Dosificación de concreto con combinación de agregado reciclado y natural.*

<b>Dosificación</b>	<b>Agregado Reciclado</b>	<b>Agregado Normal</b>	<b>Cant. Adoquín</b>
1		100%	15
2	25%	75%	15
3	50%	50%	15
4	75%	25%	15
5	100%	0	15

*Nota.* Elaboración propia

La dosificación 1, con 100 % de agregado natural, se utilizó como referencia o mezcla patrón, a partir de la cual se compararon los resultados obtenidos en los demás diseños.

Las proporciones se determinaron en función del peso seco de los agregados. A continuación, se presentan los resultados de los ensayos realizados a los adoquines, incluyendo:

- dimensionalidad,
- alabeo,
- absorción de agua, y

- resistencia a compresión uniaxial.

#### 4.1. Ensayo de verificación dimensional

**Tabla 43**

*Resultados del control dimensional expresados en milímetros.*

<b>RESUMEN DE ENSAYO DE DIMENSIONAMIENTO</b>					
<b>100%Nat</b>	<b>75%Nat25%rec</b>	<b>50%Nat50%rec</b>	<b>25%Nat75%rec</b>	<b>0%Nat100%rec</b>	
19.90	20.02	20.14	20.14	20.11	
10.09	10.11	10.15	10.12	10.04	
8.28	8.21	8.13	8.31	8.26	

*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 44**

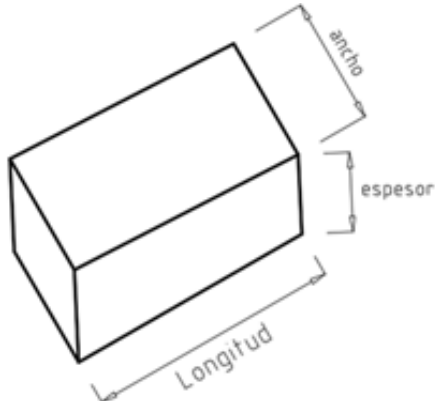
*Límites de variación dimensional establecidos por norma.*

<b>Tolerancia dimensional, max. (mm)</b>		
<b>Longitud</b>	<b>Ancho</b>	<b>Espesor</b>
±1.6	±1.6	±3.2

*Nota.* Norma técnica peruana (NTP 399.611). 2017.

**Figura 17**

*Dimensiones de adoquín.*



*Nota.* Elaboración Propia

**Tabla 45**

*Diferencia entre los valores obtenidos y los límites establecidos por la norma.*

VARIACION DE LA DIMENSIÓN (mm)				
100%Nat	75%Nat25%rec	50%Nat50%rec	25%Nat75%rec	0%Nat100%rec
1.00	-0.20	-1.40	-1.40	-1.10
-0.90	-1.10	-1.50	-1.20	-0.40
-2.80	-2.10	-1.30	-3.10	-2.60

*Nota.* Elaboración propia

Se evidencia en los resultados que todas las dosificaciones evaluadas cumplen con los límites de tolerancia establecidos por la NTP 399.613, lo que confirma su uniformidad dimensional y su adecuada aplicación en pavimentos Inter trabados.

#### **Discusión:**

Los resultados muestran que todas las dosificaciones, incluyendo las que incorporan hasta un 100 % de agregado reciclado, cumplen con los límites de tolerancia dimensional establecidos por la NTP 399.611 y NTP 399.613. Las variaciones registradas se mantuvieron dentro de los márgenes permitidos, garantizando la uniformidad y el adecuado encaje de los adoquines.

Estos hallazgos coinciden con estudios como los de Bravo-German et al. (2021) y Agurto Medina (2023), que concluyen que el uso de RDC no afecta significativamente la precisión dimensional, siempre que se controle adecuadamente el proceso de fabricación.

#### 4.2. Ensayo de verificación de alabeo

**Tabla 46**

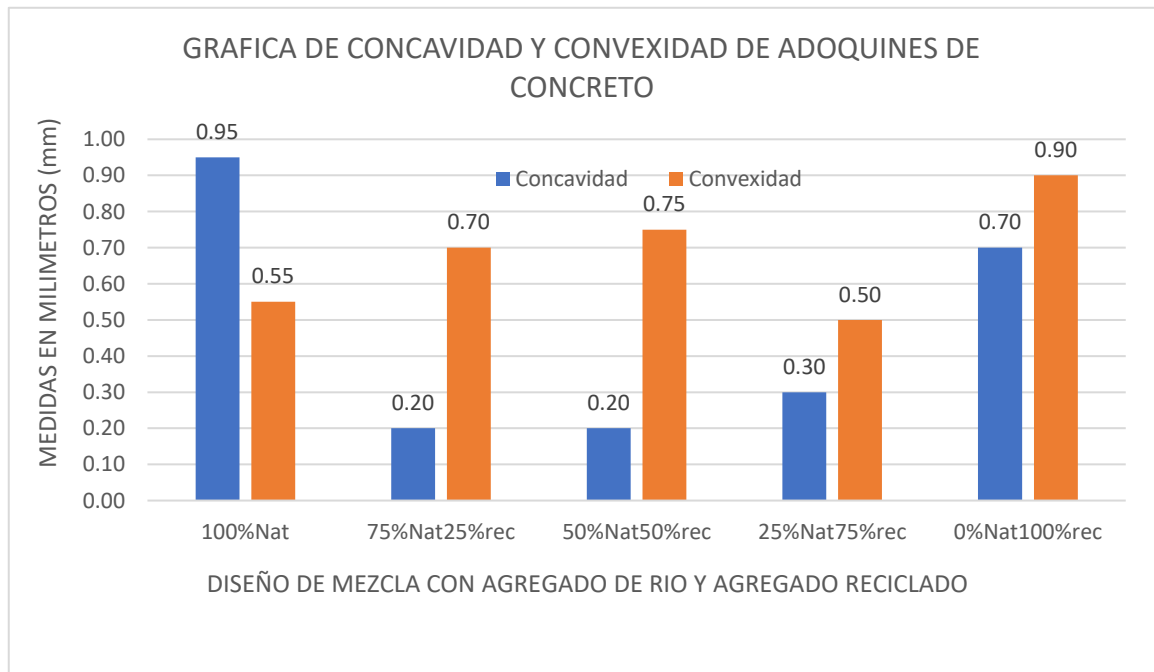
*Registro de deformaciones por concavidad y convexidad en adoquines de concreto.*

<b>RESUMEN DE ENSAYO DE CONCAVIDAD Y CONVEXIDAD</b>					
	<b>100%Nat</b>	<b>75%Nat</b>	<b>50%Nat</b>	<b>25%Nat</b>	<b>0%Nat</b>
		<b>25%rec</b>	<b>50%rec</b>	<b>75%rec</b>	<b>100%rec</b>
<b>Concavidad</b>	0.95	0.20	0.20	0.30	0.70
<b>Convexidad</b>	0.55	0.70	0.75	0.50	0.90

*Nota.* Elaboración propia

**Figura 18**

*Gráfica de concavidad y convexidad registrada en los adoquines de concreto como resultado del experimento.*



*Nota.* Elaboración Propia

La Norma Técnica Peruana NTP 399.613, establece que deben reportarse todas las medidas de distorsión de cada espécimen ensayado, con una precisión de hasta 1 mm.

Se evidencia, por lo tanto, que los valores registrados de concavidad y convexidad cumplen con los límites establecidos por la NTP 399.613.

### **Discusión:**

Los resultados muestran que todas las dosificaciones analizadas, incluyendo la que contiene 100 % de agregado reciclado, registraron valores de concavidad y convexidad dentro de los límites establecidos por la NTP 399.613, que permite una distorsión máxima de 1 mm.

Las deformaciones observadas fueron más notorias en la mezcla patrón (100 % agregado natural), con una concavidad de 0.95 mm, pero sin superar el valor límite. A medida que se incrementa el porcentaje de agregado reciclado, se observa una ligera reducción de la concavidad y una variación moderada en la convexidad, aunque sin comprometer la conformidad normativa.

Estos resultados indican que el uso de agregado reciclado no afecta negativamente la estabilidad dimensional superficial de los adoquines. Al contrario, podría incluso contribuir a una ligera mejora en el comportamiento frente al alabeo, siempre que se mantengan condiciones adecuadas de fabricación y curado.

### **4.3. Ensayo de absorción**

**Tabla 47**

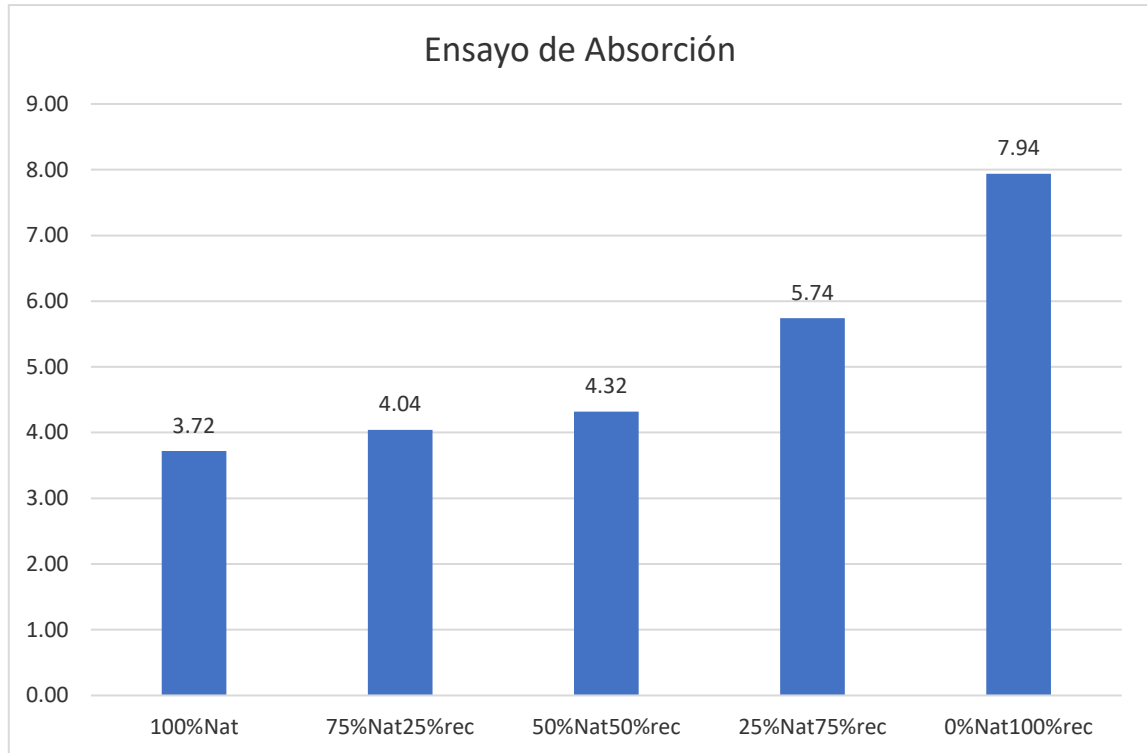
*Resultados de ensayo de absorción.*

<b>RESUMEN DE ENSAYO DE ABSORCIÓN</b>					
	<b>100%Nat</b>	<b>75%Nat</b>	<b>50%Nat</b>	<b>25%Nat</b>	<b>0%Nat</b>
		<b>25%rec</b>	<b>50%rec</b>	<b>75%rec</b>	<b>100%rec</b>
Ensayo de Absorción	3.72	4.04	4.32	5.74	7.94

*Nota.* Elaboración propia

**Figura 19**

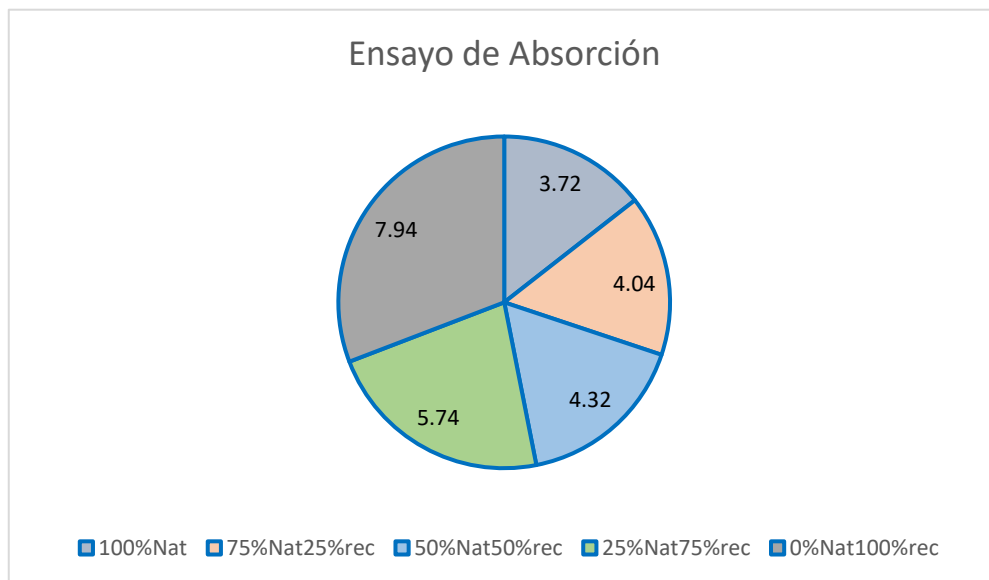
*Gráfica del comportamiento de absorción en adoquines de concreto.*



*Nota.* Elaboración Propia

**Figura 20**

*Ilustración de la absorción de agua en las diferentes dosificaciones.*



*Nota.* Elaboración Propia

La norma NTP 399.611 establece que los adoquines de concreto deben cumplir con los límites máximos de absorción de agua, según lo especificado en la Tabla 48.

**Tabla 48**

*Límites máximos de absorción de agua según el tipo de adoquín de concreto (NTP 399.611:2017).*

Tipo de adoquín	Absorción, max. (%)	
	Promedio de 3 unidades	Unidad individual
I y II	6	7.5
III	5	7

*Nota.* Norma técnica peruana (NTP 399.611). 2017.

Los resultados de los ensayos de absorción evidencian que, a medida que se incrementa el porcentaje de agregado reciclado en la mezcla, también aumenta la capacidad de absorción de los adoquines. El análisis estadístico mediante ANOVA confirmó diferencias significativas entre los diseños de mezcla ( $F = 85.106$ ;  $p = 0.000$ ). En particular:

Los adoquines fabricados con 100 % y 75 % de agregado reciclado no cumplen con los límites de absorción establecidos por la norma NTP 399.611.

Las mezclas con 50 % o menos de agregado reciclado sí cumplen con los parámetros normativos, evidenciando la viabilidad técnica del uso parcial de RDC.

En consecuencia, se recomienda limitar el uso de agregado reciclado hasta un máximo del 50 %, complementado con 50 % de agregado natural, a fin de garantizar el cumplimiento de los requisitos de absorción establecidos por la normativa vigente.

**Discusión:**

Los valores registrados de concavidad y convexidad en todas las dosificaciones, incluso en la mezcla con 100 % de agregado reciclado, se encuentran por debajo del límite de 1 mm establecido por la NTP 399.613. Esto indica que el alabeo no se ve significativamente afectado por la incorporación de RDC, lo que respalda su viabilidad para la fabricación de adoquines desde el punto de vista dimensional superficial.

#### 4.4. Ensayo de resistencia a la compresión uniaxial

**Tabla 49**

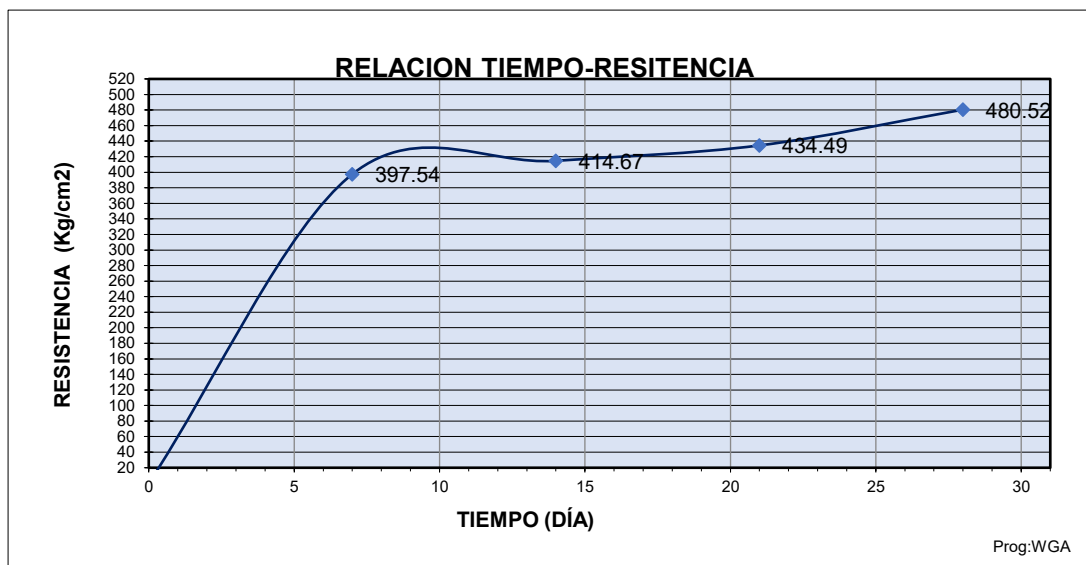
*Resultados de resistencia a compresión del adoquín con agregado natural (mezcla patrón).*

Tiempo (días).	RESISTENCIA ( $kg/cm^2$ )
	100% agregado natural.
0	0
7	397.54
14	414.67
21	434.49
28	480.52

Nota. Elaboración propia

**Figura 21**

*Curva Tiempo versus Resistencia del agregado natural (Patrón).*



Nota. Elaboración Propia

El gráfico muestra en azul los resultados de la rotura de adoquines fabricados con 100 % de agregado natural de río, utilizado como patrón para la comparación. En verde, se presentan los resultados de adoquines fabricados con una mezcla de 75 % de agregado natural de río y 25 % de agregado reciclado (demolición de concreto viejo). Este diseño

de mezcla cumple con los límites establecidos por la Norma Técnica Peruana NTP 399.611.

La Norma NTP 399.611 (Tabla 50) especifica los valores mínimos de resistencia a compresión que deben cumplir los adoquines de concreto.

**Tabla 50**

*Valores mínimos de resistencia a compresión según la Norma NTP 399.611.*

Tipo de adoquín	Espesor nominal (mm)	Resistencia a la compresión, min. (Mpa/cm <sup>2</sup> )	
		Promedio de 3 unidades	Unidad individual
I (Peatonal)	40	31(320)	28(290)
	60	31(320)	28(290)
II (Vehicular ligero)	60	41(420)	37(380)
	80	37(380)	33(340)
	100	35(360)	32(325)
III (Vehicular pesado, patios industriales o de contenedores)	≥80	55(561)	50(510)

*Nota.* Norma técnica peruana (NTP 399.611). 2017.

Según los resultados experimentales y el uso de concreto reciclado es aceptable hasta un 50 % de agregado reciclado, sin comprometer la calidad del producto final, en términos de resistencia a compresión y absorción de agua.

**Tabla 51**

*Valores registrados de resistencia a los 7 días en adoquines de concreto.*

<b>100%Nat</b>	<b>75%Nat 25%rec</b>	<b>50% Nat50%rec</b>	<b>25%Nat 75%rec</b>	<b>0%Nat 100%rec</b>
375.21	331.62	305.59	235.56	179.85
392.43	322.70	318.11	215.45	196.05
425.17	325.70	324.53	207.51	183.68
401.53	325.85	327.51	216.70	182.33
393.34	327.51	322.15	222.50	197.57
<b>397.54</b>	<b>326.68</b>	<b>319.58</b>	<b>219.54</b>	<b>187.89</b>

*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 52**

*Valores registrados de resistencia a los 14 días en adoquines de concreto.*

<b>100%Nat</b>	<b>75%Nat 25%rec</b>	<b>50% Nat50%rec</b>	<b>25%Nat 75%rec</b>	<b>0%Nat 100%rec</b>
413.80	375.26	348.67	315.34	255.08
398.80	362.28	345.37	302.38	257.24
395.94	368.67	349.58	317.09	253.12
430.68	366.00	345.37	316.53	260.41
434.14	371.13	349.58	325.99	254.61
<b>414.67</b>	<b>368.67</b>	<b>347.71</b>	<b>315.47</b>	<b>256.09</b>

*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 53***Valores registrados de resistencia a los 21 días en adoquines de concreto.*

<b>100%Nat</b>	<b>75%Nat 25%rec</b>	<b>50% Nat50%rec</b>	<b>25%Nat 75%rec</b>	<b>0%Nat 100%rec</b>
452.14	375.00	367.07	342.77	278.39
411.34	399.38	348.64	317.87	284.84
433.23	391.84	371.62	318.14	283.83
434.60	367.92	364.95	321.12	263.69
441.14	369.57	360.11	331.26	278.40
<b>434.49</b>	<b>380.74</b>	<b>362.48</b>	<b>326.23</b>	<b>277.83</b>

*Nota.* Elaboración propia**Tabla 54***Valores registrados de resistencia a los 28 días en adoquines de concreto.*

<b>100%Nat</b>	<b>75%Nat 25%rec</b>	<b>50% Nat50%rec</b>	<b>25%Nat 75%rec</b>	<b>0%Nat 100%rec</b>
501.10	433.03	336.71	352.30	286.60
464.59	424.85	392.45	368.10	276.53
476.00	378.15	404.67	352.66	312.01
480.69	403.64	385.87	341.37	297.33
480.21	420.08	369.68	355.51	299.19
<b>480.52</b>	<b>411.95</b>	<b>377.88</b>	<b>353.99</b>	<b>294.33</b>

*Nota.* Elaboración propia**Tabla 55***Valores promedio registrados de resistencia a compresión a los 7, 14, 21 y 28 días en adoquines de concreto.*

	<b>100%Nat</b>	<b>75%Nat 25%rec</b>	<b>50%Nat 50%rec</b>	<b>25%Nat 75%rec</b>	<b>0%Nat 100%rec</b>
<b>0</b>	0	0	0	0	0
<b>7</b>	397.54	326.68	319.58	219.54	187.89
<b>14</b>	414.67	368.67	347.71	315.47	256.09
<b>21</b>	434.49	380.74	362.48	326.23	277.83
<b>28</b>	480.52	411.95	377.88	353.99	294.33

*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 56**

Valores promedio registrados de resistencia a compresión a los 7, 14, 21 y 28 días en adoquines de concreto (expresados en porcentajes)

	<b>100%Nat</b>	<b>75%Nat 25%rec</b>	<b>50%Nat 50%rec</b>	<b>25%Nat 75%rec</b>	<b>0%Nat 100%rec</b>
<b>0</b>	0%	0%	0%	0%	0%
<b>7</b>	105%	86%	84%	58%	49%
<b>14</b>	109%	97%	92%	83%	67%
<b>21</b>	114%	100%	95%	86%	73%
<b>28</b>	126%	108%	99%	93%	77%

Nota. Elaboración propia

### Discusión:

Los resultados evidencian un comportamiento esperado del concreto: la resistencia a compresión aumenta con el tiempo de curado en todas las dosificaciones evaluadas. A los 28 días, la mezcla patrón (100 % agregado natural) alcanzó 480.52 kg/cm<sup>2</sup>, valor significativamente superior al mínimo requerido por la NTP 399.611 para cualquier tipo de uso, incluso para tránsito vehicular pesado.

Al analizar las mezclas con agregado reciclado (Tabla 55), se observa que:

Las mezclas con hasta 50 % de agregado reciclado alcanzaron resistencias superiores a 360 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días, cumpliendo con los requisitos normativos para adoquines tipo I (peatonal) y tipo II (vehicular ligero).

La mezcla con 75 % de agregado reciclado presentó una resistencia de 353.99 kg/cm<sup>2</sup>, que también cumple con los valores mínimos exigidos para tránsito liviano.

La mezcla con 100 % de agregado reciclado alcanzó solo 294.33 kg/cm<sup>2</sup>, lo cual limita su aplicación estructural exclusivamente a pavimentos peatonales, y queda por debajo del umbral requerido para usos más exigentes.

Estos resultados sugieren que el uso de agregado reciclado en proporciones de hasta 50 % es viable sin comprometer la resistencia del producto. A partir de ese punto, la resistencia disminuye progresivamente, lo cual concuerda con estudios previos como los de Agurto Medina (2023) y Castañeda Cruz y Vásquez Barreto (2014), que también identificaron 50 % como el límite óptimo para mantener el cumplimiento normativo.

#### **4.5. Contrastación de la Hipótesis**

##### **Absorción.**

En este apartado, se buscó contrastar las hipótesis relacionadas con la absorción de agua de los adoquines fabricados con diferentes porcentajes de agregados reciclados de RDC (Residuos de Construcción y Demolición) y agregado natural.

##### **Planteamiento de las hipótesis para la absorción:**

- $H_0$ : No existe diferencia en la absorción de agua de los adoquines fabricados con los agregados naturales y agregados de RDC
- $H_a$ : Sí existe diferencia en la absorción de agua de los adoquines fabricados con los agregados reciclados y agregados de RDC

Para ello, primero se realiza una prueba de normalidad con el fin de verificar si los datos obtenidos de los ensayos de absorción tienen una distribución normal. Dado que la muestra es pequeña (menor a 50), se utilizó el test de Shapiro-Wilk con un nivel de confianza del 95%.

La regla de decisión es la siguiente:

- Si  $p < 0.05$ , se concluye que los datos no tienen una distribución normal.
- Si  $p \geq 0.05$ , los datos tienen una distribución normal.

**Tabla 57***Prueba de normalidad Shapiro-Wilk*

<b>Tratamiento</b>	<b>Estadístico</b>	<b>gl</b>	<b>p</b>
100%Nat	0,967	5	0,859
75%Nat25%Rec	0,842	5	0,171
50%Nat50%Rec	0,900	5	0,411
25%Nat75%Rec	0,976	5	0,911
0%Nat100%Rec	0,959	5	0,803

*Nota.* Información procesada en SPSS v26

Para todos los tratamientos (desde 100% de agregado natural hasta 100% de agregado reciclado), los valores de p son mayores a 0.05, lo que indica que los datos tienen una distribución normal. Esto permite proceder con el análisis de varianza (ANOVA).

Para contrastar estas hipótesis, se realizó una prueba ANOVA. La ANOVA es adecuada porque nos permite comparar las medias de más de dos grupos (en este caso, los diferentes porcentajes de agregado natural y reciclado) para determinar si existen diferencias significativas.

**Tabla 58***Prueba ANOVA para la absorción*

	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
Entre grupos	60,420	4	15,105	85,106	0,000
Dentro de grupos	3,550	20	0,177		
<b>Total</b>	<b>63,970</b>	<b>24</b>			

*Nota.* Información procesada en SPSS v26

El valor de  $p = 0.000$  (significancia) indica que el resultado es estadísticamente significativo al nivel de confianza del 95%.

El estadístico  $F = 85.106$  sugiere que la variabilidad entre los grupos (diferentes proporciones de agregado reciclado) es mucho mayor que la variabilidad dentro de los grupos. Esto significa que sí existen diferencias significativas en la absorción de agua de los adoquines según el porcentaje de agregado reciclado.

Los resultados de la prueba ANOVA permiten rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ) y aceptar la hipótesis alternativa ( $H_a$ ). Es decir, sí existen diferencias significativas en la absorción de agua de los adoquines fabricados con diferentes porcentajes de agregados reciclados. A medida que se incrementa el uso de agregados reciclados en los adoquines, la absorción de agua varía significativamente.

Luego para reforzar el análisis se realizó la prueba HSD de Tukey que se utiliza para realizar comparaciones múltiples entre los diferentes tratamientos y determinar exactamente cuáles de ellos tienen diferencias significativas en la absorción; en el cual, los subconjuntos homogéneos agrupan tratamientos que no presentan diferencias significativas entre sí en términos de absorción.

**Tabla 59**

*Prueba HSD Tukey para la absorción (subconjuntos homogéneos)*

Agregado Reciclado	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
0%AgreReciclado	5	4		
25%AgreReciclado	5	4		
50%AgreReciclado	5	4		
75%AgreReciclado	5		5,742	
100%AgreReciclado	5			7,936
Sig.		0,1992	1,000	1,000

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

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5,000.

La tabla 67 mediante la prueba de Tukey confirmó que los tratamientos con 0%, 25% y 50% de agregado reciclado no presentan diferencias significativas en la absorción, mientras que los tratamientos con 75% y 100% de agregado reciclado sí muestran una absorción significativamente mayor. Esto indica que el uso de altos porcentajes de agregados reciclados en los adoquines aumenta la absorción de agua, lo que podría

tener implicaciones en su durabilidad y resistencia, especialmente en climas húmedos o fríos donde el ciclo de congelación y descongelación es un factor importante a considerar.

Este análisis sugirió que el uso de hasta 50% de agregado reciclado podría ser viable desde el punto de vista de la absorción, pero porcentajes más altos (como 75% y 100%) podrían comprometer la durabilidad del material debido a la mayor absorción de agua.

## Resistencia

En esta sección se contrastaron las hipótesis relacionadas con la resistencia a la compresión de los adoquines en diferentes días de tratamiento (7, 14, 21 y 28 días).

### Planteamiento de las hipótesis para la resistencia:

- H0: No existe diferencia en la resistencia a la compresión simple de los adoquines fabricados con los agregados naturales y agregados de RDC.
- Ha: Sí existe diferencia en la resistencia a la compresión simple de los adoquines fabricados con los agregados reciclados y agregados de RDC.

Como en el caso anterior, se realiza la prueba de normalidad Shapiro-Wilk para verificar la distribución de los datos antes de proceder con el análisis estadístico.

### Resistencia a los 7 días

Tabla 60

Resistencia a los 7 días: Prueba de normalidad Shapiro-Wilk

Tratamiento	Estadístico	gl	p
100%Nat0%Rec	0,948	5	0,724
75%Nat25%Rec	0,952	5	0,748
50%Nat50%Rec	0,890	5	0,358
25%Nat75%Rec	0,952	5	0,749
0%Nat100%Rec	0,832	5	0,145

*Nota.* Información procesada en SPSS v26

En la tabla 68, todos los valores de p son mayores a 0.05, lo que indica que los datos para los diferentes tratamientos presentan una distribución normal. Esto permite aplicar

una prueba ANOVA para evaluar si existen diferencias significativas en la resistencia a los 7 días entre los diferentes grupos.

**Tabla 61**

*Prueba ANOVA para la resistencia a los 7 días*

	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
Entre grupos	145864,753	4	36466,188	308,427	0,000
Dentro de grupos	2364,657	20	118,233		
<b>Total</b>	<b>148229,410</b>	<b>24</b>			

*Nota.* Información procesada en SPSS v26

En la tabla 69, el valor de  $p = 0.000$  indica que existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos al nivel de confianza del 95%. El alto valor del estadístico  $F = 308.427$  sugiere que la variabilidad entre los grupos es muy grande, indicando que la proporción de agregado reciclado influye significativamente en la resistencia a los 7 días

**Tabla 62**

*Prueba HSD Tukeya para la resistencia a los 7 días (subconjuntos homogéneos)*

<b>AgreReciclado</b>	<b>N</b>	<b>Subconjunto para alfa = 0.05</b>			
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
100%AgreReciclado	5	188,8960			
75%AgreReciclado	5		219,544		
50%AgreReciclado	5			319,578	
25%AgreReciclado	5			326,676	
0%AgreReciclado	5				397,536
<b>Sig.</b>		1,0000	1,000	0,838	1,000

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

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5,000.

Interpretación: A los 7 días, los adoquines con 100% de agregado natural tienen la mayor resistencia a la compresión, mientras que los adoquines con 100% de agregado reciclado presentan la resistencia más baja. Esto demuestra que los adoquines con

mayor contenido de agregado reciclado tienen un desempeño significativamente menor en esta etapa inicial.

### Resistencia a los 14 días

**Tabla 63**

*Resistencia a los 14 días: Prueba de normalidad Shapiro-Wilk*

Tratamiento	Estadístico	gl	p
100%Nat0%Rec	0,884	5	0,326
75%Nat25%Rec	0,999	5	0,999
50%Nat50%Rec	0,771	5	0,046
25%Nat75%Rec	0,909	5	0,460
0%Nat100%Rec	0,938	5	0,652

*Nota.* Información procesada en SPSS v26

En la tabla 71, a excepción del tratamiento con 50% de agregado natural y 50% reciclado, donde el valor de  $p = 0.046$  es menor a 0.05, los demás tratamientos presentan una distribución normal. A pesar de esto, se puede proceder con ANOVA para analizar las diferencias en la resistencia a los 14 días.

**Tabla 64**

*Prueba ANOVA para la resistencia a los 14 días*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	70491,864	4	17622,966	210,683	0,000
Dentro de grupos	1672,934	20	83,647		
<b>Total</b>	<b>72164,798</b>	<b>24</b>			

*Nota.* Información procesada en SPSS v26

La interpretación del ANOVA de la tabla 72 es, el valor de  $p = 0.000$  nuevamente muestra que hay diferencias estadísticamente significativas en la resistencia a los 14 días entre los grupos. El valor de  $F = 210.683$  refleja una gran variabilidad entre los diferentes tratamientos.

**Tabla 65***Prueba HSD Tukeya para la resistencia a los 14 días (subconjuntos homogéneos)*

AgreReciclado	N	Subconjunto para alfa = 0.05				
		1	2	3	4	5
100%AgreReciclado	5	256,0920				
75%AgreReciclado	5		315,466			
50%AgreReciclado	5			347,714		
25%AgreReciclado	5				368,668	
0%AgreReciclado	5					414,672
Sig.		1,0000	1,000	1,000	1,000	1,000

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

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5,000.

**Interpretación:** A los 14 días, el adoquín con 0% de agregado reciclado sigue mostrando la mayor resistencia, mientras que el adoquín con 100% de agregado reciclado tiene la menor resistencia. Esto sigue evidenciando que la resistencia mejora a medida que disminuye el porcentaje de agregado reciclado.

### Resistencia a los 21 días

**Tabla 66***Prueba de normalidad Shapiro-Wilk*

Tratamiento	Estadístico	gl	p
100%Nat0%Rec	0,943	5	0,689
75%Nat25%Rec	0,872	5	0,273
50%Nat50%Rec	0,934	5	0,621
25%Nat75%Rec	0,844	5	0,178
0%Nat100%Rec	0,827	5	0,132

*Nota.* Información procesada en SPSS v26

En la tabla 74, todos los valores de p son mayores a 0.05, lo que indica que los datos de resistencia a los 21 días siguen una distribución normal, lo que justifica el uso de la prueba ANOVA para evaluar las diferencias entre los grupos.

**Tabla 67***Prueba ANOVA para la resistencia a los 21 días*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	69054,329	4	17263,582	126,016	0,000
Dentro de grupos	2739,907	20	136,995		
<b>Total</b>	<b>71794,237</b>	<b>24</b>			

*Nota.* Información procesada en SPSS v26

En la tabla 75, el valor de  $p = 0.000$  confirma que hay diferencias significativas en la resistencia a los 21 días entre los tratamientos. El estadístico  $F = 126.016$  también indica una alta variabilidad entre los grupos.

**Tabla 68***Prueba HSD Tukeya para la resistencia a los 21 días (subconjuntos homogéneos)*

AgreReciclado	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
100%AgreReciclado	5,000	277,8300			
75%AgreReciclado	5,000		326,232		
50%AgreReciclado	5,000			362,478	
25%AgreReciclado	5,000			380,742	
0%AgreReciclado	5,000				434,490
Sig.		1,0000	1,000	0,138	1,000

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

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5,000.

Interpretación: A los 21 días, los adoquines con 0% de agregado reciclado alcanzan la mayor resistencia (434.490), mientras que los adoquines con 100% de agregado reciclado siguen teniendo la menor resistencia (277.830).

## Resistencia a los 28 días:

**Tabla 69**

*Prueba de normalidad Shapiro-Wilk*

Tratamiento	Estadístico	gl	p
100%Nat0%Rec	0,924	5	0,558
75%Nat25%Rec	0,916	5	0,506
50%Nat50%Rec	0,931	5	0,606
25%Nat75%Rec	0,941	5	0,673
0%Nat100%Rec	0,982	5	0,944

*Nota.* Información procesada en SPSS v26

En la tabla 77, todos los valores de p son mayores a 0.05, indicando que los datos de resistencia a los 28 días siguen una distribución normal, lo que valida la utilización de ANOVA para identificar diferencias entre los grupos.

**Tabla 70**

*Prueba ANOVA para la resistencia a los 28 días*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	95375,718	4	23843,929	74,172	0,000
Dentro de grupos	6429,351	20	321,468		
<b>Total</b>	<b>101805,069</b>	<b>24</b>			

*Nota.* Información procesada en SPSS v26

En la tabla 79, el valor de p = 0.000 confirma diferencias estadísticamente significativas en la resistencia a los 28 días. El valor de F = 74.172 sugiere una alta variabilidad entre los diferentes tratamientos.

**Tabla 71***Prueba HSD Tukeya para la resistencia a los 28 días (subconjuntos homogéneos)*

AgreReciclado	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
100%AgreReciclado	5,000	294,3320			
75%AgreReciclado	5,000		353,988		
50%AgreReciclado	5,000		377,876		
25%AgreReciclado	5,000			411,950	
0%AgreReciclado	5,000				480,518
Sig.		1,0000	0,256	1,000	1,000

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

- a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5,000.

**Interpretación:** A los 28 días, el adoquín con 0% de agregado reciclado tiene la mayor resistencia (480.518), mientras que el adoquín con 100% de agregado reciclado presenta la menor resistencia (294.332). La tendencia observada en días anteriores se mantiene, lo que indica que los adoquines con una mayor proporción de agregado natural muestran mejores resultados de resistencia a largo plazo.

**En resumen:** Los resultados de las pruebas ANOVA para la resistencia a la compresión a lo largo de los diferentes períodos de tiempo (7, 14, 21 y 28 días) muestran valores de  $p = 0.000$ , lo que indica que existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos con diferentes proporciones de agregados reciclados y naturales. Esto permite rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ) y aceptar la hipótesis alternativa ( $H_a$ ).

Por lo tanto, sí existen diferencias significativas en la resistencia a la compresión de los adoquines fabricados con diferentes proporciones de agregados reciclados (RCD) y agregados naturales. En todos los periodos de tiempo evaluados, los adoquines fabricados con mayores porcentajes de agregado natural presentan una resistencia superior, mientras que aquellos con mayor proporción de agregado reciclado muestran una resistencia inferior.

Por lo tanto, desde el punto de vista de la resistencia a la compresión, es preferible utilizar un porcentaje bajo de agregado reciclado igual o inferior del 50% de agregado reciclado si se busca maximizar la resistencia de los adoquines. La resistencia a los 28 días es crucial, ya que es un indicativo del desempeño a largo plazo del material, y los resultados muestran que los adoquines hasta con 50% o bajos porcentajes de agregado reciclado ofrecen la mejor resistencia en esta etapa clave.

## CONCLUSIONES

El uso de agregados reciclados de residuos de construcción y demolición (RDC) en la fabricación de adoquines de concreto es técnicamente viable hasta un 50 % de reemplazo del agregado natural, ya que esta proporción permite mantener la resistencia a compresión dentro de los límites establecidos por la NTP 399.611, tanto para uso peatonal como vehicular ligero.

Los adoquines fabricados con 100 % de agregado reciclado mostraron una disminución significativa de la resistencia a compresión (294.33 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días), por lo que su uso solo sería adecuado para tránsito peatonal, sin exigencias estructurales.

En cuanto a la absorción de agua, los resultados mostraron un incremento proporcional al contenido de agregado reciclado. Las mezclas con 75 % y 100 % de RDC superaron los límites permitidos por la NTP 399.611, mientras que las mezclas con hasta 50 % de agregado reciclado se mantuvieron dentro de los valores normativos.

Respecto a la verificación dimensional y alabeo, todas las mezclas, incluidas aquellas con agregado reciclado al 100 %, cumplieron con los requisitos de tolerancia establecidos por la NTP 399.613, lo que garantiza su uniformidad y encaje adecuado en pavimentos Inter trabados.

En conclusión, el uso de concreto reciclado en proporciones de hasta 50 % representa una alternativa sostenible y funcional, permitiendo reducir el impacto ambiental y el uso de recursos naturales, sin comprometer la calidad técnica de los adoquines para aplicaciones comunes en obras urbanas.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda utilizar hasta un 50 % de agregado reciclado en la fabricación de adoquines de concreto destinados a pavimentos peatonales y de tránsito vehicular ligero, ya que esta proporción garantiza el cumplimiento de las normas NTP 399.611 y NTP 399.613 en cuanto a resistencia mecánica y estabilidad dimensional.

Evitar el uso de 100 % de agregado reciclado en aplicaciones estructuralmente exigentes, debido a que los valores de resistencia y absorción superan los límites normativos, afectando la durabilidad y funcionalidad del adoquín.

En proyectos que incorporen RDC, se recomienda realizar un control riguroso de la calidad del agregado reciclado, asegurando una adecuada trituración, limpieza y clasificación del material para mejorar su desempeño físico-mecánico.

Fomentar el uso de material reciclado como una alternativa sostenible, especialmente en obras de bajo impacto estructural, como veredas, parques o mobiliario urbano, donde los requerimientos mecánicos son menores y se prioriza el enfoque ambiental.

## FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

A partir de los resultados obtenidos y las limitaciones propias del estudio, se identifican diversas líneas de investigación complementarias que permitirían ampliar el conocimiento técnico y científico sobre el uso de agregados reciclados de residuos de construcción y demolición (RDC) en la fabricación de elementos prefabricados como adoquines:

### Evaluación de la durabilidad a largo plazo

Es necesario desarrollar estudios que analicen el desempeño de los adoquines reciclados bajo condiciones de exposición prolongada, incluyendo ciclos de humedad-sequedad, congelamiento-descongelamiento, ataque por sulfatos, cloruros o agentes ácidos, con el fin de establecer su vida útil y comportamiento frente a ambientes agresivos.

### Análisis de desempeño en campo y a escala real

La validación experimental podría complementarse con la implementación de adoquines reciclados en tramos piloto, tanto en zonas peatonales como vehiculares, para observar su resistencia al desgaste por carga repetida, tracción superficial y variaciones térmicas reales.

### Optimización del diseño de mezclas mediante técnicas avanzadas

Se plantea la aplicación de herramientas como diseño de experimentos (DOE), análisis multivariable y algoritmos de inteligencia artificial para optimizar la proporción de agregados reciclados, aditivos y relación agua/cemento, buscando maximizar propiedades mecánicas y minimizar impactos ambientales.

### Evaluación ambiental y de sostenibilidad

Es pertinente realizar un análisis de ciclo de vida (LCA) de los adoquines con agregados reciclados, comparándolos con los convencionales, considerando variables como consumo energético, emisiones de CO<sub>2</sub>, huella hídrica y residuos generados, para sustentar técnicamente su viabilidad ambiental.

### Incorporación de residuos complementarios

Futuros estudios pueden explorar la inclusión de otros tipos de residuos no convencionales (como fibras plásticas recicladas, caucho molido o cenizas volantes) para mejorar propiedades específicas del material como resistencia al impacto, ductilidad o desempeño térmico.

### Modelación numérica del comportamiento estructural

Se sugiere el desarrollo de modelos computacionales mediante elementos finitos o simulaciones multi-físicas que permitan predecir el comportamiento estructural de los adoquines reciclados bajo distintas sollicitaciones mecánicas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agurto Medina, C. A. (2023). Evaluación de la resistencia a compresión de adoquines de concreto fabricados con agregado grueso reciclado [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio UNI.

ASTM International. (2020). ASTM C936/C936M-20: Standard Specification for Solid Concrete Interlocking Paving Units. [https://www.astm.org/c0936\\_c0936m-20.html](https://www.astm.org/c0936_c0936m-20.html)

ASTM International. (2022). ASTM C140/C140M-22: Standard Test Methods for Sampling and Testing Concrete Masonry Units and Related Units. [https://www.astm.org/c0140\\_c0140m-22.html](https://www.astm.org/c0140_c0140m-22.html)

Attri, R., Singh, R., & Gaur, R. (2020). Paver blocks manufactured from construction & demolition waste. *Materials Today: Proceedings*, 33, 1759–1764. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.064>

Balasubramanian, M., Gokul, D., & Deepika, K. (2020). Manufacture of Concrete Paver Blocks with Recycled Demolition Waste. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*, 8(6), 4300–4304. <https://doi.org/10.35940/ijrte.F9363.038620>

Bisquerra, R. (2014). *Metodología de la investigación educativa*. Editorial La Muralla.

Bravo-German, D. R., Gómez-Soberón, J. M. V., & Corral-Higuera, R. (2021). Mechanical Properties of Concrete Using Recycled Aggregates Obtained from Old Paving Stones. *Sustainability*, 13(2), 603. <https://doi.org/10.3390/su13020603>

Castañeda Cruz, A., & Vásquez Barreto, D. (2014). Aplicación del concreto reciclado en la producción de adoquines para pavimentos de tránsito vehicular ligero en Chiclayo [Tesis de licenciatura, Universidad Señor de Sipán]. Repositorio USS. <https://hdl.handle.net/20.500.12802/317>

Chapia Fernández, L. J. (2021). Propiedades físico-mecánicas de adoquines vibrocompactados utilizando agregado grueso reciclado [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. Repositorio UNSAAC. <https://hdl.handle.net/20.500.12918/6512>

Del Río Merino, M., González Pericot, M. T., & García Navarro, J. (2011). Sustainable construction: construction and demolition waste reconsidered. *Waste Management & Research*, 29(12), 1184–1193. <https://doi.org/10.1177/0734242X11415384>

Fernández Salazar, J. (2021). Concreto reciclado aplicado a la fabricación de pavimentos articulados para tránsito peatonal [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio UNI. <https://hdl.handle.net/20.500.14076/22874>

GIZ. (2020). *Gestión de residuos de construcción y demolición en América Latina: Manual técnico*. <https://www.giz.de>

Guo, H., Shi, C., Guan, X., & Zhu, J. (2018). Mechanical and durability properties of recycled concrete aggregate paver blocks. *Construction and Building Materials*, 178, 262–272. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.151>

Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista-Lucio, M. P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ª ed.). McGraw-Hill.

INACAL (Instituto Nacional de Calidad). (2021). NTP 399.611:2017. Unidades de albañilería – Adoquines de concreto – Requisitos. Lima: Ministerio de la Producción.

Luque Loayza, K. A., & Vargas Ccolque, J. D. (2024). Evaluación del uso de polietileno reciclado en adoquines de concreto y su influencia en la resistencia a compresión [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga].

Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2014). *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials* (4ª ed.). McGraw-Hill Education.

Mindess, S., Young, J. F., & Darwin, D. (2003). *Concrete* (2nd ed.). Prentice Hall.

Neville, A. M. (2012). *Propiedades del concreto* (5ª ed.). Pearson Educación.

Poon, C. S., & Chan, D. (2006). Paving blocks made with recycled concrete aggregate and crushed clay brick. *Construction and Building Materials*, 20(8), 569–577. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.01.036>

Rahul, M., Arun, M., & Naveen, B. P. (2021). Utilization of brick waste fines as partial replacement of fine aggregate in paver blocks. *Materials Today: Proceedings*, 45, 3688–3693. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.163>

Silva, R. V., de Brito, J., & Dhir, R. K. (2014). Properties and composition of recycled aggregates from construction and demolition waste suitable for concrete production. *Construction and Building Materials*, 65, 201–217. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.04.117>

## ANEXOS

### Anexo N°1: Matriz de consistencia

<b>Análisis comparativo de las propiedades mecánicas entre adoquín convencional y adoquín utilizando agregados reciclados de RDC en la ciudad de Ayacucho.</b>							
<b>PROBLEMA</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>HIPÓTESIS</b>	<b>VARIABLES</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>POBLACIÓN Y MUESTRA</b>
<b>Problema General</b>	<b>Objetivo General</b>	<b>Hipótesis General</b>					
¿En qué medida el uso de agregados reciclados de residuos de construcción y demolición (RDC) influye en las propiedades físicas y mecánicas de los adoquines de concreto, en comparación con los adoquines fabricados con agregados naturales en la ciudad de Ayacucho?	Analizar comparativamente las propiedades físicas y mecánicas de los adoquines de concreto fabricados con agregados reciclados de RDC y con agregados naturales en la ciudad de Ayacucho.	El uso de agregados reciclados de RDC influye significativamente en las propiedades físicas y mecánicas de los adoquines de concreto, siendo técnicamente viable su incorporación hasta una proporción del 50%.	VI: Tipo de agregado utilizado en la fabricación del adoquín	Tipo de material Porcentaje de reemplazo Procedencia del agregado Diseño de mezcla	Agregado natural / Agregado reciclado 0%, 25%, 50%, 75%, 100% Río / Residuos de demolición (RDC) Dosificación de materiales (cemento, agregado, agua)	Estudio cuantitativo y cuasi-experimental. Se evaluaron adoquines con 0% a 100% de agregado reciclado (RDC) mediante ensayos normados (NTP 399.611 y 399.613) de compresión, absorción, alabeo y dimensiones.	Población: adoquines de concreto con agregado natural y reciclado. Muestra: 75 adoquines (5 mezclas, 15 unidades cada una).
<b>Problemas específicos</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>Hipótesis específicas</b>					
a. ¿Cómo varía la resistencia a la compresión de los adoquines según la proporción de agregado reciclado utilizada? b. ¿Qué comportamiento presenta la absorción de agua en los adoquines fabricados con diferentes proporciones de agregado reciclado? c. ¿Los adoquines reciclados cumplen con las especificaciones de alabeo y tolerancia dimensional establecidas en la NTP 399.611?	a. Evaluar la resistencia a la compresión de adoquines con diferentes proporciones de agregado reciclado a los 7, 14, 21 y 28 días. b. Determinar el porcentaje de absorción de agua en los adoquines según la proporción de agregado reciclado. c. Verificar el cumplimiento de los parámetros de alabeo y dimensionalidad de los adoquines en base a la norma NTP 399.611.	a. Los adoquines que contienen hasta 50% de agregado reciclado presentan una resistencia a la compresión similar a los adoquines convencionales. b. A mayor proporción de agregado reciclado, aumenta el porcentaje de absorción de agua en los adoquines. . Los adoquines con hasta 50% de agregado reciclado cumplen con los parámetros dimensionales y de alabeo establecidos por la NTP 399.611.	VD: Propiedades físicas y mecánicas del adoquín de concreto	Resistencia mecánica Comportamiento físico Estabilidad dimensional Cumplimiento normativo	Resistencia a la compresión (MPa) Porcentaje de absorción de agua Alabeo (mm) Tolerancia dimensional según NTP 399.611		

*Nota.* Elaboración propia

## **Anexo N°2:**

### **Ensayos de laboratorio y diseño de mezclas**

Se fabricaron adoquines empleando mezclas convencionales y mezclas con incorporación de agregados reciclados de residuos de construcción y demolición (RDC), cuyas características, proporciones y resultados experimentales se detallan en el informe técnico respectivo.



**UNSCH**

FACULTAD DE  
**INGENIERÍA**  
DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 012-2025-FIMGC**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

En la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, en la ciudad de Ayacucho, en cumplimiento a la **Resolución Decanal No 086-2025-FIMGC-D**, a los **catorce días del mes de mayo de 2025**, siendo las **10:00 a.m.**, reunidos en el **Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil**, bajo la presidencia del **MSc. Ing. José Ernesto ESTRADA CÁRDENAS**, y los miembros: **MSc. Ing. Moisés Nico BARBARAN ORIUNDO**, **Mg. Ing. Edwin Carlos GARCÍA SÁEZ** y **Mg. Ing. Edward LEÓN PALACIOS**, actuando como secretario docente el **MSc. Ing. Saul Walter RETAMOZO FERNÁNDEZ**, para proceder a la sustentación de tesis para optar el **Título Profesional de Ingeniero Civil**, del bachiller en Ciencias de la Ingeniería Civil:

**Ricardo ALTAMIRANO ATAO**

Quien presentó la tesis denominada:

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS ENTRE  
ADOQUÍN CONVENCIONAL Y ADOQUÍN UTILIZANDO AGREGADOS  
RECICLADOS DE RDC EN LA CIUDAD DE AYACUCHO**

Los señores miembros del jurado luego de expuesta la tesis y absueltas las preguntas, deliberaron y declararon:

**Aprobado con dieciséis (16)**

Siendo las **11:30 a.m.** del día **14 de mayo del 2025**, culmina el acto de sustentación de tesis, y en conformidad lo actuado los miembros del jurado firmamos al pie del presente.

MSc. Ing. José Ernesto ESTRADA  
CÁRDENAS  
Presidente

MSc. Ing. Moisés Nico BARBARAN  
ORIUNDO  
Miembro

Mg. Ing. Edwin Carlos GARCÍA SÁEZ  
Miembro

Mg. Ing. Edward LEÓN PALACIOS  
Miembro - Asesor

MSc. Ing. Saul Walter RETAMOZO  
FERNÁNDEZ  
Secretario docente de la FIMGC

FACULTAD DE INGENIERÍA  
DE MINAS Y CIVIL  
Av. Independencia S/N  
Ciudad Universitaria  
Central Tel. 066 312510  
Anexo 151



## CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

### CONSTANCIA N° 009-2025-FIMGC/ASIH

El que suscribe; responsable verificador de originalidad de trabajos de tesis de pregrado con el software Turnitin, de la Escuelas Profesional de **Ingeniería Civil** de la **Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil**; en cumplimiento a la **Resolución de Consejo Universitario N° 039-2021-UNSCH-CU**, Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga y **Resolución Decanal N° 697-2024-FIMGC-UNSCH-D**, dejo constancia de originalidad de trabajo de investigación, que el/la Sr./Srta.

**Apellidos y Nombres** : Ricardo ALTAMIRANO ATAO  
**Escuela Profesional** : INGENIERÍA CIVIL  
**Título de la Tesis** : Análisis comparativo de las propiedades mecánicas entre adoquín convencional y adoquín utilizando agregados reciclados de RDC en la ciudad de Ayacucho.  
**Evaluación de la Originalidad** : 13 % Índice de Similitud  
**Identificador de la entrega** : 2711410141

Por tanto, según los Artículos 12, 13 y 17 del Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación, es **PROCEDENTE** otorgar la **Constancia de Originalidad** para los fines que crea conveniente.

En señal de conformidad y verificación se firma la presente constancia

Ayacucho, 7 de Julio de 2025



UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA  
Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil

Mg. Ing. Alex Sander IRCAÑAUPA HUAMANI  
Verificador de Originalidad de Trabajos de Tesis de Pregrado  
Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Civil

# Análisis comparativo de las propiedades mecánicas entre adoquín convencional y adoquín utilizando agregados reciclados de RDC en la ciudad de Ayacucho.

*por* Ricardo ALTAMIRANO ATAO

---

**Fecha de entrega:** 07-jul-2025 08:04a. m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 2711410141

**Nombre del archivo:** Te\_Ricardo\_Altamirano\_Atao.pdf (27.17M)

**Total de palabras:** 28776

**Total de caracteres:** 147935

# Análisis comparativo de las propiedades mecánicas entre adoquín convencional y adoquín utilizando agregados reciclados de RDC en la ciudad de Ayacucho.

## INFORME DE ORIGINALIDAD

13%

INDICE DE SIMILITUD

14%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	4%
2	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	1%
3	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%
4	<a href="https://repositorio.unjbg.edu.pe">repositorio.unjbg.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="https://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
6	<a href="https://repositorio.upn.edu.pe">repositorio.upn.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
7	<a href="https://repositorio.unsch.edu.pe">repositorio.unsch.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
8	<a href="https://repositorio.unal.edu.co">repositorio.unal.edu.co</a> Fuente de Internet	<1%

---

9	<a href="https://repositorio.unamba.edu.pe">repositorio.unamba.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
10	Submitted to Universidad Nacional de Trujillo Trabajo del estudiante	<1 %
11	Submitted to Universidad Tecnológica de los Andes Trabajo del estudiante	<1 %
12	<a href="https://repositorio.cuc.edu.co">repositorio.cuc.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
13	<a href="https://repositorio.unp.edu.pe">repositorio.unp.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
14	<a href="https://www.coursehero.com">www.coursehero.com</a> Fuente de Internet	<1 %
15	Submitted to Submitted on 1691687177060 Trabajo del estudiante	<1 %
16	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	<1 %
17	<a href="https://repositorio.unc.edu.pe">repositorio.unc.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
18	Aroste Villa, Jorge Luis. "Impregnación de agregados reciclados con cemento IP y el mejoramiento de sus características físicas - mecánicas, en la resistencia del concreto.",	<1 %

---

# Universidad Nacional del Altiplano de Puno (Peru)

Publicación

19	<a href="http://catalogo-gy.ucab.edu.ve">catalogo-gy.ucab.edu.ve</a> Fuente de Internet	<1 %
20	<a href="http://pirhua.udep.edu.pe">pirhua.udep.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
21	Submitted to Dumfries and Galloway College Trabajo del estudiante	<1 %
22	<a href="http://repositorio.unfv.edu.pe">repositorio.unfv.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
23	Submitted to Universidad Andina del Cusco Trabajo del estudiante	<1 %
24	<a href="http://dspace.unitru.edu.pe">dspace.unitru.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
25	Submitted to ufidelitas Trabajo del estudiante	<1 %
26	Submitted to Universidad Privada del Norte Trabajo del estudiante	<1 %
27	<a href="http://repositorio.uma.edu.pe">repositorio.uma.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo