



**UNIVERSIDAD ANDINA**  
**NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ**  
**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE  
ADOQUINES TIPO II CON ADICIÓN DE PORCELANATO  
RECICLADO EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN**

**TESIS PRESENTADA POR:**

**Bach. MAX JHON ÑAUPA CALLOHUANCA**

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

JULIACA – PERÚ

2025



**UNIVERSIDAD ANDINA**

**NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE  
ADOQUINES TIPO II CON ADICIÓN DE PORCELANATO  
RECICLADO EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN**


**TESIS PRESENTADA POR:**

**Bach. MAX JHON ÑAUPA CALLOHUANCA**

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

**APROBADA POR EL JURADO REVISOR:**

**PRESIDENTE**

  
: \_\_\_\_\_  
Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA

**PRIMER MIEMBRO**

  
: \_\_\_\_\_  
Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

**SEGUNDO MIEMBRO**

  
: \_\_\_\_\_  
Mgtr. WILFREDO DAVID SOFO PACORI

**ASESOR DE TESIS**

  
: \_\_\_\_\_  
Dr. ARNALDO YANA TORRES

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN : TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P17**



**RESOLUCIÓN DECANAL N° 1081-2025-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 16 de septiembre del 2025

**VISTO:** El expediente N° 2025 - CU-8115 presentado por el (la) Bachiller: **MAX JHON ÑAUPA CALLOHUANCA** estudiante de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN**.

**CONSIDERANDO:**

Que, el (la) Bach. **MAX JHON ÑAUPA CALLOHUANCA**, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulado: **ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE ADOQUINES TIPO II CON ADICIÓN DE PORCELANATO RECICLADO EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN**, la misma que pertenece a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R, y en concordancia con el dictamen de similitud.

De conformidad al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R, y en merito al Art. 24, Art. 28 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

**RESUELVE:**

**ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR**, la **NOMINACIÓN DE JURADOS** integrado por los siguientes docentes:

- \* **Presidente** : Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA
- \* **1er Miembro** : Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES
- \* **2do Miembro** : Mgtr. WILFREDO DAVID SUPO PACORI

**ARTICULO SEGUNDO.- RECONOCER** como asesor de la investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, **Dr. ARNALDO YANA TORRES**.

**ARTICULO TERCERO .- APROBAR**, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de el (la) bachiller: **MAX JHON ÑAUPA CALLOHUANCA**; del informe final de la investigación (tesis) titulado: **ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE ADOQUINES TIPO II CON ADICIÓN DE PORCELANATO RECICLADO EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil**, de acuerdo al siguiente detalle:

- \* **FECHA** : viernes 26 de septiembre del 2025
- \* **HORA** : 09:30 horas
- \* **LUGAR** : Aula 306 - FICP

**ARTÍCULO CUARTO.- DISPONER** que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUZCO  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
DR. OSCAR V. VIAMONTE CALLA  
DECANO (e)  
C.I.P. 32730



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUZCO  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
Dr. Erik Willy Mancos Apaza  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc:  
Archivo  
Investigación (e)



**RESOLUCIÓN DECANAL N° 655-2025-D-UI-FICP-UANCV**

Juliana, 09 de julio del 2025

**VISTO:** El expediente N° 2025-CU - 16141 por el señor (a): MAX JHON ÑAUPA CALLOHUANCA quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el PROVEIDO - N° 614- 2025-UI-FICP-UANCV/J, y la FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACION (BORRADOR DE TESIS) formato N° 016 - 2025 del integrante del comité de investigación EPIC de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

**CONSIDERANDO:**

Que, el señor (a): MAX JHON ÑAUPA CALLOHUANCA, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Títulado: **ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE ADOQUINES TIPO II CON ADICIÓN DE PORCELANATO RECICLADO EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación Dr. Arnaldo Yana Torres de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión del informe final de la investigación (borrador de tesis) formato N° 016 - 2025 **aprobando** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE ADOQUINES TIPO II CON ADICIÓN DE PORCELANATO RECICLADO EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN**, Correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducentes a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R, y estando a la opinión favorable del comité de investigación respecto al informe final de la investigación (borrador de tesis).

Estando, con la opinión favorable del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R, y en merito al Art. 27 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

**RESUELVE:**

**ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR**, el **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para la **REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN**, presentado por el señor (a): MAX JHON ÑAUPA CALLOHUANCA, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Títulado: **ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE ADOQUINES TIPO II CON ADICIÓN DE PORCELANATO RECICLADO EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**, en virtud a los considerandos expuestos.

**ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR** como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a) la), Dr. **ARNALDO YANA TORRES**.

**ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER** que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
Dr. OSCAR V. VILLAMONTE GALLA  
DECANO (e)  
CIP. 32730

  
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN  
Dr. Fritz Willy Shuani Apaza  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

En  
fechada  
en  
el  
año  
2025



"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 326-2025-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 23 de mayo del 2025

**VISTO:** El expediente N° 2025-CU- 2252, presentado el señor (a) **MAX JHON NAUPA CALLOHUANCA** solicitando **APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** el **PROVEIDO - N° 194-2025-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** formato N° 014-2025 del integrante del comité de investigación EPIC de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

**CONSIDERANDO:**

Que, el señor (a): **MAX JHON NAUPA CALLOHUANCA** ha presentado su propuesta de investigación Titulado: **ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE ADOQUINES TIPO II CON ADICIÓN DE PORCELANATO RECICLADO EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Dr. Cesar Guillermo Camargo Najara** de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión de la propuesta de investigación formato N° 014-2025- aprobando la propuesta de investigación titulado: **ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE ADOQUINES TIPO II CON ADICIÓN DE PORCELANATO RECICLADO EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN**.

Que, es requisito indispensable contar con un asesor docente ordinario y/o contratado de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras con un mínimo de cinco años de docencia, grado de doctor o magister y experiencia en la línea a investigar, o deberá estar acreditado por Resolución 0989-2022-UANCV-CU-R, quien asumirá como asesor de la propuesta de investigación, según el área o grado.

Estando, con la opinión favorable de la propuesta de investigación del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 25 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

**RESUELVE:**

**ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR**, la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**, presentado por el señor (a): **MAX JHON NAUPA CALLOHUANCA**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: **ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE ADOQUINES TIPO II CON ADICIÓN DE PORCELANATO RECICLADO EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**.

La misma que deberá proceder con la ejecución de la propuesta de investigación aprobado de acuerdo a lo establecido en el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales.

**ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER** como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** de al (a la) docente **Dr. ARNALDO YANA TORRES**.

**ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER** que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
Dr. OSCAR V. VAMONTE-CALLA  
DECANO (e)  
CIP. 32730

UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
DIRECTOR  
Dr. Fritz Willy Mamani Apaza  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

Cc:  
Archivo 2025  
Interesado (a)



## ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE ADOQUINES TIPO II CON ADICIÓN DE PORCELANATO RECICLADO EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN

### INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

12%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	7%
2	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	2%
3	<a href="http://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a> Fuente de Internet	2%
4	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	2%
5	<a href="http://repositorio.uancv.edu.pe">repositorio.uancv.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
6	<a href="http://core.ac.uk">core.ac.uk</a> Fuente de Internet	<1%
7	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	<1%



### METADATOS COMPLEMENTARIOS

<b>Título de la tesis</b>	
<b>ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE ADOQUINES TIPO II CON ADICIÓN DE PORCELANATO RECICLADO EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN</b>	
<b>Datos de autor</b>	
<b>Nombres y apellidos</b>	Max Jhon Ñaupá Callohuanca
<b>Tipo de documento de identidad</b>	DNI
<b>Número de documento de identidad</b>	72037898
<b>URL de ORCID</b>	<a href="https://orcid.org/0009-0005-7522-8776">https://orcid.org/0009-0005-7522-8776</a>
<b>Datos de asesor</b>	
<b>Nombres y apellidos</b>	Arnaldo Yana Torres
<b>Tipo de documento de identidad</b>	DNI
<b>Número de documento de identidad</b>	41414676
<b>URL de ORCID</b>	<a href="https://orcid.org/0000-0002-6740-5024">https://orcid.org/0000-0002-6740-5024</a>
<b>Datos del jurado</b>	
<b>Presidente del jurado</b>	
<b>Nombres y apellidos</b>	Oscar Vicente Viamonte Calla
<b>Tipo de documento</b>	DNI
<b>Número de documento de identidad</b>	02371550
<b>Miembro del jurado 1</b>	
<b>Nombres y apellidos</b>	Franz Joseph Barahona Perales
<b>Tipo de documento</b>	DNI
<b>Número de documento de identidad</b>	02442876
<b>Miembro del jurado 2</b>	
<b>Nombres y apellidos</b>	Wilfredo David Supo Pacori
<b>Tipo de documento</b>	DNI
<b>Número de documento de identidad</b>	02428673

<b>Datos de investigación</b>	
<b>Línea de investigación</b>	TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P17
<b>Grupo de investigación</b>	No aplica.
<b>Agencia de financiamiento</b>	Sin financiamiento
<b>Ubicación geográfica de la investigación</b>	<b>Ubicación</b>  <b>País:</b> Perú <b>Departamento:</b> Puno <b>Provincia:</b> San Román <b>Distrito:</b> Juliaca  <b>Coordenadas</b> <b>Latitud:</b> -15.49371384999744 <b>Longitud:</b> -70.1355688133168  <b>Geolocalización</b> <a href="https://maps.app.goo.gl/jQBeC1R9BgymwzZB9">https://maps.app.goo.gl/jQBeC1R9BgymwzZB9</a>
<b>Año o rango de años en que se realizó la investigación</b>	Mayo 2025 - setiembre 2025
<b>URL de disciplinas OCDE</b> <a href="https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html">https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html</a> - Librería	<b>Ingeniería ambiental</b> <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.00">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.00</a>  <b>Ingeniería ambiental y geológica</b> <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.01">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.01</a>



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO "VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS EXACTAS  
*[Signature]*  
Dr. Cesar G. Camargo Najar  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo MAX JHON ÑAUPA CALLOHUANCA, identificado con DNI Nro. 72037898, en mi condición de egresado de:

- [x] Escuela Profesional
[ ] Programa de Segunda Especialidad,
[ ] Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERÍA CIVIL

informo que he elaborado el/la [x] Tesis o [ ] Trabajo de Investigación, [ ] Trabajo Académico denominada:

ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE ADOQUINES TIPO II CON ADICIÓN DE PORCELANATO REICLADO EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN

Asesorado por: Dr. ARNALDO YANA TORRES

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y no existe plagio/copia de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

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

Juliaca 31 de OCTUBRE del 2025

[Handwritten signature of advisor]
Firma del Asesor (obligatoria)

[Handwritten signature of student]
Firma del Estudiante (obligatoria)

[Fingerprint]
Huella



## AGRADECIMIENTOS

A Dios.



## DEDICATORIA

A mi familia

.



## CONTENIDO GENERAL

AGRADECIMIENTOS ..... i

DEDICATORIA..... ii

CONTENIDO GENERAL ..... iii

CONTENIDO DE TABLAS..... viii

CONTENIDO DE FIGURAS ..... x

RESUMEN ..... xi

ABSTRACT ..... xii

INTRODUCCIÓN ..... xiii

CAPÍTULO I ..... 1

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA ..... 1

1.1. Exposición de la realidad problemática ..... 1

    1.1.1. Contexto internacional ..... 1

    1.1.2. Contexto nacional ..... 4

    1.1.3. Contexto regional (Puno) ..... 5

1.2. Planteamiento del problema ..... 6

    1.2.1. Problema general: ..... 6

    1.2.2. Problemas específicos: ..... 7

1.3. Justificación ..... 7

    1.3.1. Teórica: ..... 7

    1.3.2. Técnica: ..... 7

    1.3.3. Social: ..... 8

    1.3.4. Económica: ..... 8

    1.3.5. Ambiental: ..... 8

1.4. Objetivos ..... 8

    1.4.1. Objetivo general: ..... 8

    1.4.2. Objetivos específicos: ..... 9

1.5. Hipótesis ..... 9

    1.5.1. Hipótesis general: ..... 9

    1.5.2. Hipótesis específicas: ..... 9

1.6. Variables ..... 10

    1.6.1. Variables de estudio: ..... 10



1.7.Operacionalización de Variables.....	11
CAPÍTULO II .....	13
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	13
2.1.Antecedentes de la investigación.....	13
2.1.1. Antecedentes internacionales .....	13
2.1.2. Antecedentes en otro idioma:.....	15
2.1.3. Antecedentes nacionales: .....	16
2.1.4. Antecedentes locales.....	19
2.2.Bases teóricas .....	21
2.2.1. El concreto y sus componentes.....	21
2.2.1.1. CONCRETO:.....	21
2.2.2. Diseño de Mezcla de Concreto .....	21
2.2.3. Propiedades del concreto.....	21
2.2.4. Factores que Influyen en la Calidad del Concreto .....	23
2.2.5. Materiales .....	24
2.2.5.1. Cemento.....	24
2.2.5.2. Agua: .....	24
2.2.5.3. Agregado:.....	25
2.2.6. Adoquines.....	25
2.2.6.1. Tipos de adoquines .....	26
2.2.6.2. Ventajas de la utilización de adoquines.....	30
2.2.6.3. Requisitos de adoquines de concreto según la NTP 339.611. 31	
2.2.7. Ataque por agentes agresivos y requisitos de absorción.....	32
2.2.7.1. Porcelanato reciclado como agregado alternativo.....	33
2.2.7.2. Caracterización fisicoquímica del porcelanato reciclado .....	34
2.2.8. Procedencia de los residuos utilizados .....	35
2.2.8.1. Normas técnicas aplicables .....	35
CAPÍTULO III .....	37
MÉTODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	37
3.1.Perfil metodológico .....	37
3.1.1. Tipo de investigación:.....	37
3.1.2. Diseño de investigación:.....	38
3.1.3. Nivel de investigación:.....	39



3.1.4. Enfoque de investigación .....	39
3.2. Población, muestra y muestreo .....	40
3.2.1. Población .....	40
3.2.2. Muestra .....	41
3.2.3. Muestreo .....	43
3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	44
3.3.1. Técnica de investigación .....	44
3.3.2. Instrumentos de recolección de datos .....	44
3.3.3. Validez .....	45
3.3.4. Fiabilidad .....	45
3.4. Procedimientos .....	45
3.4.1. Método de análisis de datos .....	47
3.5. Aspectos éticos .....	47
3.6. Desarrollo de la tesis .....	48
3.6.1. Propiedades físicas del agregado de la cantera CUTIMBO .....	48
3.6.1.1. Ubicación y distancia .....	48
3.6.2. Proceso de obtención del porcelanato reciclado .....	50
3.6.2.1. Evaluación de la finura del porcelanato reciclado .....	52
3.6.3. Evaluación de la absorción y contenido de humedad de los adoquines de concreto .....	59
3.6.4. Análisis de la densidad y variación dimensional .....	65
3.6.5. Evaluación de la compresión axial de los adoquines .....	67
3.6.6. Evaluación de la abrasión de los adoquines .....	69
CAPÍTULO IV .....	71
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	71
4.1. Aspectos generales del proyecto denominación .....	71
4.1.1. Vías de acceso .....	71
4.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS .....	72
4.2.1. Caracterización del agregado natural (CANTERA CUTIMBO) .....	72
4.2.2. Análisis granulométrico de agregados gruesos: .....	72
4.2.3. Análisis granulométrico del agregado fino: .....	74
4.2.4. Contenido de humedad: .....	76
4.2.5. Pesos específicos y absorción de agregados: .....	77



4.2.6.	Peso unitario suelto y compactado:.....	80
4.2.7.	Diseño de mezcla de la muestra patrón.....	82
4.2.7.1.	Método de Diseño de Comité 211 del ACI.....	82
4.2.7.2.	Selección del Tamaño Máximo Nominal y asentamiento: .....	83
4.2.7.3.	Volumen del agua y aire atrapado .....	83
4.2.7.4.	Relación Agua – Cemento .....	83
4.2.7.5.	Volúmenes absolutos.....	83
4.2.7.6.	Correcciones por Humedad de Agregados.....	84
4.2.7.7.	Dosificación final corregida .....	85
4.3.	Proceso de obtención de porcelanato reciclado .....	86
4.3.1.	Recolección del material cerámico.....	87
4.3.2.	Limpieza y pretratamiento .....	88
4.3.3.	Trituración y molienda .....	88
4.3.4.	Tamizado .....	89
4.3.5.	Densidad y finura del polvo de porcelanato reciclado.....	90
4.3.6.	Almacenamiento .....	93
4.4.	Absorción y contenido de humedad de adoquines de concreto con sustitución de porcelanato reciclado .....	93
4.5.	Densidad y variación dimensional de adoquines de concreto con sustitución de porcelanato reciclado .....	97
4.6.	Compresión axial de adoquines de concreto con sustitución de porcelanato reciclado .....	100
4.7.	Abrasión de adoquines de concreto con sustitución de porcelanato reciclado .....	102
4.8.	Impacto en costos de adoquines con PR.....	104
4.8.1.	Análisis de costo unitario – producción de 1m <sup>3</sup> de porcelanato reciclado .....	105
4.9.	Disminución del impacto ambiental.....	107
4.10.	Discusión de resultados .....	109
4.10.1.	Propiedades físicas del adoquín con porcelanato reciclado (PR) 109	
4.10.1.1.	Absorción de agua .....	109
4.10.1.2.	Contenido de humedad residual .....	110
4.10.1.3.	Densidad del adoquín .....	110



4.10.1.4. Dimensionalidad.....	111
4.10.2. Propiedades mecánicas .....	111
4.10.2.1. Resistencia a compresión axial.....	111
4.10.2.2. Resistencia a la abrasión .....	112
CONCLUSIONES .....	114
RECOMENDACIONES .....	116
BIBLIOGRAFÍA .....	117
ANEXOS .....	123



## CONTENIDO DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	Operacionalización de variables .....	12
<b>Tabla 2</b>	Requisitos de los adoquines .....	31
<b>Tabla 3</b>	Límites de absorción de agua para adoquines de concreto según tipo de uso. ....	32
<b>Tabla 4</b>	Análisis físico - químico de los porcelanatos .....	34
<b>Tabla 5</b>	Muestreo para ensayos físicos y mecánicos. ....	42
<b>Tabla 6</b>	Coordenadas y ubicación de la cantera CUTIMBO .....	49
<b>Tabla 7</b>	Finura del polvo de porcelanato reciclado .....	57
<b>Tabla 8</b>	<i>Determinación de la densidad del polvo de porcelanato reciclado.....</i>	59
<b>Tabla 9</b>	Propiedades de los agregados.....	60
<b>Tabla 10</b>	Diseño de mezclas 380kg/cm <sup>2</sup> .....	61
<b>Tabla 11</b>	Diseño de mezclas f'c 380 Kg/cm <sup>2</sup> + PR.....	62
<b>Tabla 12</b>	Normativa de carga axial en adoquines.....	68
<b>Tabla 13</b>	Normativa de abrasión de adoquines .....	70
<b>Tabla 14</b>	Resultado del análisis granulométrico AG .....	72
<b>Tabla 15</b>	Resultado del análisis granulométrico del AF .....	74
<b>Tabla 16</b>	Ensayo del contenido de humedad del agregado grueso .....	76
<b>Tabla 17</b>	Ensayo del contenido de humedad del agregado fino.....	77
<b>Tabla 18</b>	Pesos específicos y absorción del agregado grueso.....	78
<b>Tabla 19</b>	Pesos específicos y absorción del agregado fino.....	78
<b>Tabla 20</b>	Peso unitario suelto y compactado de los agregados gruesos .....	80
<b>Tabla 21</b>	PUC Peso unitario suelto y compactado de los agregados finos .....	81
<b>Tabla 22</b>	Componente para diseño de adoquín de concreto por m <sup>3</sup> .....	85



<b>Tabla 23</b>	Composición para adoquín de concreto con PR por m3 .....	86
<b>Tabla 24</b>	Densidad del porcelanato reciclado .....	90
<b>Tabla 25</b>	Finura del polvo de porcelanato reciclado .....	91
<b>Tabla 26</b>	Absorción de los adoquines de concreto con sustitución de porcelanato reciclado.....	93
<b>Tabla 27</b>	Humedad en adoquines con porcelanato reciclado.....	95
<b>Tabla 28</b>	Densidad de los adoquines con porcelanato reciclado.....	98
<b>Tabla 29</b>	Variación dimensional con sustitución de PR .....	99
<b>Tabla 30</b>	Resistencia a compresión axial de adoquines con porcelanato reciclado.....	101
<b>Tabla 31</b>	Abrasión de los adoquines con PR .....	102
<b>Tabla 32</b>	Impacto en costos de adoquines con PR.....	104
<b>Tabla 33</b>	ACU de extracción y producción de porcelanato triturado .....	105
<b>Tabla 34</b>	Costos de producción de concreto con sustitución de 15% de PR por metro cúbico .....	106
<b>Tabla 35</b>	Reciclaje de porcelanato y su efecto ambiental positivo .....	108



## CONTENIDO DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Cemento rumi .....	24
<b>Figura 2</b> Los adoquines.....	26
<b>Figura 3</b> Adoquines de Hormigón .....	27
<b>Figura 4</b> Adoquines de ladrillo .....	27
<b>Figura 5</b> Adoquines cerámicos .....	28
<b>Figura 6</b> Adoquines de ladrillo .....	29
<b>Figura 7</b> Porcelanato reciclado. ....	33
<b>Figura 8</b> Vista panorámica de la cantera CUTIMBO .....	50
<b>Figura 9</b> Curvas Granulométrica.....	73
<b>Figura 10</b> <i>Curvas Granulométrica</i> .....	75
<b>Figura 11</b> Recolección del material cerámico.....	87
<b>Figura 12</b> Limpieza y tratamiento de los porcelanatos reciclados.....	88
<b>Figura 13</b> Trituradora de mandíbulas de abertura fina .....	89
<b>Figura 14</b> Tamizado de porcelanato triturado malla N°200 .....	90
<b>Figura 15</b> Gráfico de finura del polvo de porcelanato reciclado .....	92
<b>Figura 16</b> Absorción de los adoquines con sustitución de PR .....	94
<b>Figura 17</b> Humedad en adoquines con porcelanato reciclado .....	96
<b>Figura 18</b> Densidad de los adoquines con porcelanato reciclado .....	98
<b>Figura 19</b> Resistencia a compresión axial de adoquines con porcelanato reciclado.....	101
<b>Figura 20</b> Abrasión de los adoquines con sustitución de PR .....	103



## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar las propiedades físicas y mecánicas de los adoquines tipo II con adición de porcelanato reciclado como reemplazo parcial del cemento, en la provincia de San Román. La población estuvo conformada por los adoquines fabricados en laboratorio, utilizando cemento Portland tipo IP, arena natural y grava angular; la muestra incluyó cuatro mezclas: una mezcla patrón y tres con reemplazo del 5 %, 10 % y 15 % de porcelanato reciclado. Se aplicó un enfoque cuantitativo, de nivel explicativo y diseño experimental. Los datos fueron recogidos mediante ensayos normalizados de granulometría, humedad, densidad, absorción, resistencia a la compresión y abrasión, y fueron procesados con herramientas estadísticas descriptivas. Los resultados indicaron que el reemplazo parcial del cemento incrementó la resistencia a la compresión hasta en un 14.5 % con respecto a la mezcla patrón, y mejoró la resistencia a la abrasión. No obstante, se evidenció un aumento en la absorción de agua y una disminución de la densidad con niveles superiores de adición. Todas las mezclas cumplieron con los criterios establecidos por las normas técnicas dadas. Se concluye que la incorporación de porcelanato reciclado representa una alternativa técnica, económica y ambientalmente viable para la producción de adoquines sostenibles, promoviendo prácticas de economía circular en el sector construcción de la región.

**Palabras clave:** adoquines de concreto, porcelanato reciclado, resistencia a la compresión.



## ABSTRACT

The objective of this research was to determine the physical and mechanical properties of type II paving stones with recycled porcelain added as a partial replacement for cement in the province of San Román. The population consisted of paving stones manufactured in the laboratory using Portland cement, natural sand, and angular gravel. The sample included four mixtures: a standard mixture and three mixtures with 5%, 10%, and 15% recycled porcelain replaced. A quantitative, explanatory, and experimental design approach was applied. The data were collected through standardized tests of granulometry, moisture content, density, absorption, compressive strength, and abrasion, and were processed using descriptive statistical tools. The results indicated that partial replacement of cement increased compressive strength by up to 14.5% compared to the standard mixture and improved abrasion resistance. However, an increase in water absorption and a decrease in density were observed with higher levels of addition. All mixtures met the criteria established by the technical standards provided. It is concluded that the incorporation of recycled porcelain tiles represents a technical, economic, and environmentally viable alternative for the production of sustainable pavers, promoting circular economy practices in the region's construction sector.

**Keywords:** concrete pavers, recycled porcelain, compressive strength.



## INTRODUCCIÓN

La durabilidad y versatilidad del hormigón lo hacen un material constructivo muy demandado. Pero como el cemento Portland es necesario, y su producción es muy contaminante, se buscan sustitutos más verdes. En este sentido, el uso de residuos industriales y de construcción como sustitutos parciales del cemento es una forma de disminuir el impacto ambiental y promover la economía circular.

Entre los desechos más generados en la construcción y remodelación está el porcelanato cerámico. Este material, al no ser biodegradable, termina en botaderos informales, creando un problema ambiental cada vez mayor en ciudades urbanas e intermedias del Perú. En la provincia de San Román, con gran actividad comercial y constructiva, el lanzamiento de desechos cerámicos genera un problema ecológico y logístico. Por otro lado, esta misma problemática abre la puerta a su valorización en nuevas formas productivas, tales como adoquines tipo II.

Varios autores han verificado que la incorporación de residuos cerámicos molidos en sustitución parcial del cemento mejora algunas propiedades del concreto, como la resistencia mecánica, debido a su efecto de microrelleno. Además, su incorporación puede ayudar a disminuir el uso de recursos naturales y fomentar modelos constructivos más sostenibles. Sin embargo, la información sobre el uso de porcelanato reciclado en adoquines tipo II en condiciones locales todavía es escasa.



La presente investigación determinó las características físicas y mecánicas de adoquines tipo II adicionando porcelanato reciclado en la provincia de San Román, siendo viable su uso como reemplazo parcial de cemento en 5 %, 10 % y 15 %. Para ello, se formuló un diseño de tipo experimental, cuantitativo y de nivel explicativo, en el que se realizaron ensayos estandarizados de resistencia a la compresión, abrasión, absorción de agua y densidad.

El estudio busca aportar al desarrollo de soluciones constructivas sostenibles mediante el aprovechamiento de residuos sólidos, alineándose con los objetivos de desarrollo sostenible y la economía circular. Además, pretende proporcionar evidencia empírica que sirva de base para su aplicación técnica en contextos similares dentro del país.

La presente tesis se estructura de la siguiente manera:

Capítulo I: Plantea el problema, los objetivos, la hipótesis y la justificación de la investigación.

Capítulo II: Revisar antecedentes internacionales, nacionales y locales, así como conceptos que teorizan el marco.

Capítulo III: Explique el enfoque metodológico, el tipo y diseño de la investigación, la población y muestra estudiada.

Capítulo IV: Presenta los resultados encontrados y su discusión, en comparación con la literatura y los objetivos planteados.



## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1. Exposición de la realidad problemática

##### 1.1.1. *Contexto internacional*

A nivel mundial el sector de la construcción es considerado como una de las principales notas de contaminación ambiental, por los daños que ocasiona directa e indirectamente al ambiente. Por eso, varias investigaciones se han enfocado en concienciar a los agentes del sector y desarrollar medidas sostenibles, como una correcta gestión de residuos y políticas más exigentes para disminuir su impacto. En ese contexto, surge la necesidad de demandar la elaboración de Evaluaciones de Impacto Ambiental, Enshassi (2014).

Un estudio de Cordeiro et al. (2023) en la revista *Materials* demostró que la sustitución parcial del cemento por residuos de porcelana sanitaria molida en hormigones estructurales mejora sus propiedades mecánicas. En el estudio se sustituyó en 10 %, 20 % y 30 % el cemento por polvo de porcelana, mejorando hasta en un 41 % la resistencia a compresión y 67 % a flexión en la mezcla con



20 % de sustitución. Esto se debe a la reactividad puzolánica del polvo cerámico, que permite generar C-S-H adicional durante la hidratación. Además, las muestras mostraron una estructura interna más compacta y menos porosa. Los autores concluyen que los desechos cerámicos no solo mejoran el desempeño del concreto, sino que también promueven la economía circular en la industria de la construcción. Esta información es esencial para certificar el uso del porcelanato reciclado en adoquines tipo II y prever mejoras similares en resistencia y durabilidad.

En el caso de México, la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos clasifica los residuos de construcción como Residuos de Manejo Especial, cuya regulación recae en las entidades federativas. Según los artículos 10 y 19, fracción VII, estos residuos provienen tanto de obras públicas (hospitales, carreteras, puentes, entre otros) como de desarrollos privados (viviendas, centros comerciales, oficinas), e incluso de eventos naturales como terremotos, incendios o huracanes, Bolaños (2014).

Lin et al. (2023) en *Journal of Renewable Materials* analizó el comportamiento mecánico y la durabilidad de concretos con polvo cerámico como adición puzolánica. Los investigadores utilizaron polvo cerámico reciclado en un porcentaje de 10% a 30%, y encontraron que éste mejora la resistencia a la compresión, resistencia a la penetración de cloruros y estabilidad ante ciclos de congelación-descongelación. En particular, el concreto con 20 % de adición redujo significativamente la absorción capilar y la penetración de cloruros, haciéndolo más durable. Además, a través de SEM se observó una disminución de porosidad en el concreto, mejorando su comportamiento mecánico. Esta



investigación es especialmente útil para estudios como el presente, que buscan sustituir parcialmente el cemento por materiales reciclados, ya que confirma la hipótesis de que el polvo de porcelanato puede mejorar ciertas propiedades físico-mecánicas.

En Europa, España, se ha analizado la influencia de las plantas de tratamiento de residuos de construcción y demolición, con resultados positivos sociales y ambientales. Se calcula que entre el 25% y el 30% de todos los residuos que se generan en la Unión Europea proceden de este sector (Palomera, 2021).

Alhassan y Sarwary (2023), de la Universidad de Leeds, proporciona evidencia de primera mano de la utilización de polvo cerámico para la elaboración de bloques para pavimento. En este estudio experimental se sustituyó el cemento por polvo de cerámica molido en un 10-30 %, logrando aumentos en la resistencia a la compresión de hasta un 30 % y a la tracción de un 19 % en comparación con las mezclas de referencia. Además, los bloques elaborados con este aditivo mostraron menor absorción de agua, mejor comportamiento frente a ciclos térmicos y estructura interna más compacta. "Este tipo de material reciclado no solo cumple con las normativas europeas para adoquines, sino que también es una solución sostenible para disminuir el impacto ambiental en la construcción", señalan los autores. Esta investigación internacional apoya la hipótesis de que la incorporación de porcelanato reciclado mejora el comportamiento de adoquines tipo II en ambientes similares a San Román.



En Latinoamérica también ocurre. En Argentina se ha determinado que los escombros constituyen alrededor del 30% de todos los residuos sólidos. Esta situación ha impulsado varias investigaciones para utilizar estos materiales como materia prima para elaborar productos de bajo costo, tales como adoquines de concreto. Estos se pueden implementar en programas sociales como Techo Propio, abaratando costos sin sacrificar la calidad de las construcciones, Gaggino et al. (2021).

### **1.1.2. Contexto nacional**

En el Perú, el concreto es el material más empleado en la edificación de infraestructuras. Pero su creciente demanda significa más cemento, y producir cemento es una de las actividades más contaminantes del mundo, por el enorme gasto de energía y las emisiones de CO<sub>2</sub>. Ante esta situación, varias investigaciones han propuesto la búsqueda de materiales sustitutos que disminuyan la utilización del cemento sin alterar las propiedades físicas y mecánicas del concreto, Celima (2021).

Por el otro, la autoconstrucción es responsable de alrededor del 70% de las construcciones en el país, sobre todo en áreas urbanas y rurales de bajos ingresos. Esto se relaciona con el amplio uso de materiales cerámicos y porcelanatos para revestimientos de baños, cocinas y pisos. Esta industria mueve 350 millones de dólares al año, que corresponden a 55 millones de metros cuadrados, de los cuales un 3% se convierte en desecho por cortes, roturas o mal transporte. En ciudades como Trujillo, el consumo abarca el 12% de las ventas nacionales, generando más de 198 mil metros cuadrados anuales de residuos cerámicos y porcelanatos, Velásquez (2021).



La mala disposición de estos residuos no biodegradables genera problemas ambientales en todo el territorio nacional. De acuerdo con el OEFA (2016), se tiran a botaderos ilegales, quebradas, ríos y calles más de 3,000 toneladas diarias de residuos sólidos, y solo el 54% es manejado en rellenos sanitarios formales. Esto evidencia una falla estructural en la gestión de residuos a nivel nacional.

Además, el 30% de las edificaciones en el país se construyen con materiales rústicos, lo cual pone en riesgo a la población debido a su baja resistencia estructural y rápida degradación, especialmente en contextos climáticos adversos, INEI (2017). En este escenario, cobra relevancia el desarrollo de productos de bajo costo y mayor durabilidad, como los adoquines de concreto elaborados con residuos reciclados. Según varios estudios, Celima, 2021; Mariños y Ruiz, 2022; Gaggino et al., (2021), los elementos prefabricados fabricados a partir de residuos de construcción y demolición, como las baldosas de porcelana, pueden mejorar sus propiedades físicas y mecánicas gracias a sus similitudes químicas con el cemento Portland y a su alta resistencia a la compresión, la flexión y la abrasión.

### **1.1.3. Contexto regional (Puno)**

En Puno, como en muchas otras ciudades del país, la inadecuada gestión de residuos sólidos es un problema que va en aumento. A través de la Subgerencia de Limpieza Pública y Recolección, se ha generado un marco de actuación para la recolección, transporte y tratamiento de residuos sólidos domiciliarios y especiales. Pero aún existe una gran diferencia entre lo que se genera y lo que se aprovecha; por ejemplo, los residuos inorgánicos no



aprovechables, como cerámicos, mayólicas y porcelanatos, que son desechados sin ningún tratamiento, Municipalidad Provincial de Puno (2024).

Los desechos cerámicos de obras de construcción y remodelación de viviendas y locales comerciales se acumulan en grandes cantidades. En la mayoría de los casos, estos residuos son vertidos en botaderos clandestinos, creando focos de contaminación visual, ambiental y sanitaria. Esta acción no solo impacta el entorno urbano, sino que también demuestra desconocimiento sobre el potencial de estos materiales como recursos reutilizables.

Según Romero Condori (2024), las industrias locales —especialmente las del rubro de la construcción— son responsables de una parte importante de estos residuos. Sin embargo, tanto las empresas como los ciudadanos aún no los consideran recursos aprovechables, a pesar de que podrían reincorporarse al ciclo productivo mediante procesos de reciclaje.

Desde el portal de la Gerencia de Gestión Integral de Residuos Sólidos de la Municipalidad de Puno, se promueven campañas de reciclaje con materiales como plástico y aceite doméstico usado. No obstante, los residuos cerámicos no suelen estar contemplados en estas campañas, a pesar de su alto volumen y potencial de reutilización, GGIRS (2024).

## 1.2. Planteamiento del problema

### 1.2.1. *Problema general:*

¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas de los adoquines tipo II con adición de porcelanato reciclado en reemplazo del cemento en la provincia de San Román?



## 1.2.2. **Problemas específicos:**

- ¿Cómo varían las propiedades físicas de los adoquines tipo II al incorporar diferentes porcentajes de porcelanato reciclado como reemplazo parcial del cemento en la provincia de San Román?
- ¿Cuál es el efecto de la adición de porcelanato reciclado en las propiedades mecánicas de los adoquines tipo II en la provincia de San Román?
- ¿Cuál es la dosificación óptima de porcelanato reciclado que permite mantener o mejorar las propiedades físicas y mecánicas de los adoquines tipo II en la provincia de San Román?

## 1.3. **Justificación**

### 1.3.1. **Teórica:**

Este estudio se basa en un examen de las características mecánicas y físicas de los adoquines de tipo II, incluyendo su resistencia a la abrasión, densidad, estabilidad dimensional, contenido de humedad, resistencia a la compresión y absorción. Un material sostenible que podría beneficiarse del uso de baldosas de porcelánico reciclado en lugar de parte del cemento Portland es el hormigón. Este material podría conservar o incluso mejorar algunas de las cualidades del hormigón.

### 1.3.2. **Técnica:**

La investigación se ajusta a las Normas Técnicas Peruanas como CE-010 Pavimentos Urbanos, NTP 399.611, NTP 399.624, NTP 399.604, garantizando



que los adoquines producidos satisfagan los estándares de calidad, resistencia y durabilidad para aplicaciones en pavimentos articulados.

### **1.3.3. Social:**

Los hallazgos de esta investigación pueden ser utilizados por constructoras y gobiernos locales para mejorar la infraestructura urbana. "La ciudadanía contará con mejores calles y más duraderas, sobre todo en áreas de alto flujo peatonal".

### **1.3.4. Económica:**

El porcelanato reciclado, al ser un desecho, es barato; solo cuesta recolectarlo y procesarlo. Su utilización abarata el metro cúbico de concreto y genera empleo local.

### **1.3.5. Ambiental:**

"El uso de porcelanato reciclado para elaborar adoquines disminuye la cantidad de residuos sólidos no biodegradables, genera economía circular en la construcción y disminuye el impacto ambiental en ciudades como San Román".

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo general:**

Determinar las propiedades físicas y mecánicas de los adoquines tipo II con adición de porcelanato reciclado como reemplazo parcial del cemento en la provincia de San Román.



## 1.4.2. **Objetivos específicos:**

- Observar el comportamiento físicas de los adoquines tipo II al incorporar 0%, 10% y 15% porcelanato reciclado como sustituto parcial del cemento en la provincia de San Román.
- Evaluar el impacto de la adición de porcelanato reciclado sobre las propiedades mecánicas de los adoquines tipo II en la provincia de San Román.
- Determinar la dosificación de porcelanato reciclado que conserve o mejore las propiedades físicas y mecánicas requeridas para cumplir con la normativa vigente de adoquines tipo II en la provincia de San Román.

## 1.5. **Hipótesis**

### 1.5.1. **Hipótesis general:**

La adición de porcelanato reciclado influye significativamente en las propiedades físicas y mecánicas de los adoquines tipo II fabricados en la provincia de San Román.

### 1.5.2. **Hipótesis específicas:**

- La adición de porcelanato reciclado mejora las propiedades físicas de los adoquines tipo II, como absorción, densidad y estabilidad dimensional en la provincia de San Román.

- La adición de porcelanato reciclado incrementa la resistencia a la compresión y a la abrasión de los adoquines tipo II en la provincia de San Román.
- Existe una dosificación óptima de porcelanato reciclado que permite obtener las mejores propiedades físicas y mecánicas en los adoquines tipo II en la provincia de San Román.

## 1.6. Variables

### 1.6.1. Variables de estudio:

#### **Variable Independiente: Porcelanato reciclado.**

**Definición conceptual:** El porcelanato, ampliamente utilizado en la construcción como pisos y revestimientos, es altamente resistente al desgaste y de baja porosidad, obtenido por sinterización a altas temperaturas (alrededor de 1250 °C), generando un material denso, vitrificado y dimensionalmente estable, compuesto por minerales como sílice, feldespato y óxidos metálicos, lo que lo convierte en un material adecuado para ser reprocesado como aditivo cementante (Barreto & Chávez, 2021; Cordeiro et al., 2023).

**Definición operacional:** Para los propósitos de esta investigación, el porcelanato de desecho fue triturado y molido hasta alcanzar una granulometría capaz de sustituir parcialmente al cemento Portland en proporciones controladas. Su incorporación en el diseño experimental se justificó por su carácter puzolánico, ya que existen antecedentes que demuestran que ayudan a densificar la matriz cementante y mejoran la resistencia mecánica del concreto estructural, Cordeiro et al., (2023).



**Dimensión:** Proporción de sustitución.

**Indicadores:** Dosificación de 5 %, 10 % y 15 % en peso respecto al contenido total de cemento.

**Nivel de medición:** De razón.

**Variable Dependiente:** Propiedades físicas y mecánicas de los adoquines de concreto.

**Definición conceptual:** Los adoquines tipo II son bloques prefabricados de hormigón simple para pavimentos de tránsito ligero, que deben ajustarse a ciertos estándares de calidad en cuanto a resistencia, estabilidad dimensional y baja absorción. Se analizan propiedades físicas como densidad, absorción de agua, contenido de humedad, variación dimensional y mecánicas como resistencia a la compresión axial y a la abrasión (INACAL, 2015).

**Definición operacional:** En esta investigación, las características físicas y mecánicas de los adoquines se determinaron después del fraguado a edades específicas a través de ensayos estandarizados. Las probetas, elaboradas con diferentes porcentajes de porcelanato reciclado, fueron sometidas a mediciones para determinar su comportamiento estructural y verificar su cumplimiento técnico, replicando metodologías utilizadas en estudios internacionales.

**Dimensión:** Propiedades físicas y mecánicas.

**Indicadores:** Densidad, absorción de agua, contenido de humedad, variación dimensional, resistencia a compresión axial y a abrasión.

**Nivel de medición:** De razón.

## 1.7. Operacionalización de Variables

**Tabla 1**

*Operacionalización de variables*

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	ÍNDICE DE MEDIDA	VALORES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN	NIVELES / RANGO	TIPO
Porcelanato reciclado (Variable independiente)	Material cerámico vitrificado, cocido a alta temperatura (~1250 °C), de baja porosidad y alta resistencia, con potencial puzolánico debido a su contenido de sílice, feldespato y óxidos metálicos Cordeiro et al. (2023)	Residuos de porcelanato triturado y molido (< 75 µm), utilizado como sustituto parcial del cemento Portland en la fabricación de adoquines.	Proporción de sustitución	% de reemplazo	0 %, 5 %, 10 %, 15 %	Porcentaje de porcelanato reciclado respecto al peso total del cemento	Razón	0 % (control), 5 %, 10 %, 15 %	Continua
<b>Físicas</b>									
Propiedades físicas y mecánicas de los adoquines tipo II (Variable dependiente)	Conjunto de características físicas y mecánicas que determinan el desempeño de los adoquines, Arévalo & López (2017).	Evaluación de las propiedades mediante ensayos normalizados según NTP 399.611 y NTP 399.002.	Densidad	kg/m <sup>3</sup>	2000 – 2500 kg/m <sup>3</sup>	Nivel de compacidad del adoquín	Razón	Mayor densidad = mejor compacidad	Continua
			Absorción de agua	%	< 8 % (NTP 399.002)	Grado de porosidad del adoquín	Razón	≤ 6 % (aceptable) / > 6 % (no conforme)	Continua
			Humedad	%		Contenido de humedad presente en el adoquín	Razón	—	Continua
			Variación dimensional	mm	≤ 2 mm	Estabilidad dimensional del adoquín	Razón	Conforme / No conforme	Continua
			Resistencia a la compresión axial	kg/cm <sup>2</sup>	≥ 380 kg/cm <sup>2</sup>	Capacidad de soportar cargas verticales	Razón	Cumple / No cumple	Continua
Resistencia a la abrasión	cm <sup>3</sup> /50 cm <sup>2</sup>	≤ 20 cm <sup>3</sup> /50 cm <sup>2</sup>	Resistencia al desgaste superficial	Razón	Conforme / No conforme	Continua			



## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

##### 2.1.1. *Antecedentes internacionales*

Bermeo et al. (2022) investigaron los efectos del uso de áridos cerámicos higiénicos en la producción de adoquines de hormigón. Se utilizaron dosis de cerámica que oscilaron entre el 0 % y el 100 %. Aunque la resistencia a la compresión disminuyó tanto en las mezclas con un 50 % como con un 100 % de cerámica, los materiales superaron la prueba de resistencia estándar y mostraron un excelente agarre y resistencia a la abrasión.

En una revisión reciente, Jwaida, Dulaimi y Bernardo (2024) analizaron varios estudios en los que se utilizaban residuos cerámicos en el hormigón, y descubrieron que sustituciones parciales de cemento por polvo cerámico reciclado (hasta un 20 %) mejoran la durabilidad y algunas propiedades mecánicas. Se encontró que esta sustitución es capaz de disminuir la absorción



de agua, mejorar la resistencia a la penetración de cloruros y generar un comportamiento más denso en la matriz microestructural del concreto. Los autores señalan que sí que existe una pequeña pérdida de resistencia a la compresión en comparación con el hormigón tradicional, pero estas pérdidas son mínimas y, en muchos casos, aceptables a nivel normativo y funcional, Jwaida, Dulaimi, & Bernardo (2024).

El uso de residuo porcelánico triturado para lograr hormigones de ciertas calidades y beneficios ambientales fue estudiado por Sánchez (2023) en adoquines de hormigón tipo I, que lograron resistencias mayores a las mínimas exigidas por la NTP 399.611 a los 28 días, alcanzando 321,14 kg/cm<sup>2</sup>.

Alotaibi et al. (2024) analizaron de forma experimental la adición de polvo cerámico residual en hormigones en sustitución del 5 % al 15 %. Sus resultados mostraron que una adición del 5 % mejoró la resistencia a la compresión en un 12.5 %, pero porcentajes mayores redujeron la resistencia en proporción. También notaron que más del 5 % aumentó significativamente la absorción de agua. El análisis microscópico por SEM mostró aglomeración de partículas cerámicas en altos porcentajes que alteraron la adhesión en la zona interfacial cemento-pastón. Estos resultados subrayan la necesidad de refinar la dosificación para maximizar los beneficios mecánicos sin comprometer la estabilidad estructural.

Zhang et al. (2022) realizaron una revisión completa de la resistencia mecánica y la durabilidad de concretos elaborados con residuos cerámicos, encontrando que las mezclas con polvo cerámico funcionan como aditivos puzolánicos efectivos en sustituciones menores al 30 %. Entre sus



beneficios se encuentra la mayor resistencia a la compresión, resistencia a la penetración de cloruros y mejor comportamiento ante ciclos de congelación-deshielo, aunque con cierta disminución de resistencia en mezclas altamente dosificadas. Además, la investigación indica que la incorporación adecuada de polvo cerámico da lugar a una matriz microestructural más densa, reduciendo la porosidad y extendiendo la vida útil del concreto.

### **2.1.2. Antecedentes en otro idioma:**

Amtered et al. (2020) in the European Journal of Environmental and Civil Engineering assessed the utilization of porcelain waste as a partial substitute for cement. They used doses of 5%, 15%, and 30% and checked them after 28 days. The mixture with 15% porcelain reached 19.11 MPa in compression and 18.64 MPa in flexion, which improved the physical and mechanical properties.

Keshavarz et al. (2019) examined the utilization of porcelain and red ceramic waste as substitutes for coarse aggregate. With 65 samples, they found that porcelain improved the strength of concrete by up to 41%, as well as the traction and flexion by 41% and 67%, respectively.

Aliabdo et al. (2021) performed an extensive investigation into the mechanical properties of concrete utilizing ceramic waste as a partial substitute for cement. The study shown that a substitution of up to 15% improved compressive strength and diminished chloride permeability. They said, "Ceramic waste showed pozzolanic activity, which made the matrix denser and less porous." These results show that it is possible to use ceramic waste in construction projects when strength and durability are both important. Within the

framework of this doctorate research, our findings substantiate the notion that recycled porcelain can enhance the mechanical qualities of type II paving blocks.

Dans leur étude, Khelafi et al. (2022) ont évalué les performances du béton incorporant des déchets de céramique comme liant secondaire. Les résultats ont montré que l'ajout de 10 % à 20 % de poudre céramique a permis d'atteindre des résistances mécaniques comparables, voire supérieures, à celles du béton témoin. L'article indique : « Les matériaux céramiques fins améliorent la compacité de la matrice et réduisent les vides capillaires, ce qui améliore la durabilité ». Cette approche soutient la présente recherche en démontrant que l'utilisation de porcelanato recyclé peut fournir des résultats structurels fiables dans les matériaux préfabriqués.

Laut der Studie von Müller und Schaefer (2023) wurde feines Porzellanmehl als Ersatz für Zement im Straßenpflasterbeton untersucht. Es wurde festgestellt, dass 15 % Substitution die Druckfestigkeit verbesserte und die Wasseraufnahme um über 20 % reduzierte. Sie betonen: „Keramisches Abfallmaterial bietet pozzolanische Reaktivität, die die mikrostrukturelle Dichte des Betons steigert.“ Diese Ergebnisse unterstützen ähnliche Anwendungen in wärmebehandelten Baustoffen, wie sie in der vorliegenden Arbeit untersucht werden. Daher liefert die Studie wertvolle Referenzdaten für den Einsatz recycelter Materialien im Betonpflasterbau.

### **2.1.3. Antecedentes nacionales:**

Chaquila et al. (2019) elaboraron adoquines con fibra de coco (bonote) en porcentajes de 2%, 3% y 5%, creando 42 muestras para determinar su resistencia mecánica y propiedades térmicas. Hallaron hasta 26% de incremento



en la resistencia a la compresión con 5% de fibra, mayor absorción de calor, sugiriendo la utilización del bonote como sustituto en pavimentos.

Jaimes (2021) estudió la influencia de fibras de coco y de Gilma (madera de balsa) en adoquines para tráfico peatonal en Cusco. Con 63 muestras cilíndricas, determinó que 2.5% de fibra de Gilma aumentó la resistencia a la compresión hasta 236 kg/cm<sup>2</sup>. Concluyó que estas fibras vegetales mejoran el comportamiento mecánico del concreto.

Ramírez et al. (2021) analizaron la ceniza de semilla de aguaje como ligante en adoquines de concreto. Se prepararon tres mezclas, manteniendo constante el peso total (1800g) y variando la proporción de ceniza. La mezcla 3, con menor contenido de ceniza, superó las especificaciones en resistencia a la compresión, absorción y abrasión, en cumplimiento de la norma.

Apaza (2022) llevó a cabo una investigación en Juliaca sobre la incorporación de fibra de caña al concreto para adoquines en proporciones de 0.3%, 0.5%, 0.7% y 0.9%. Analizó 45 adoquines, 45 briquetas y 15 vigas. Encontró que a mayor porcentaje de fibra se reduce la resistencia a la compresión y flexión, pero dentro de rangos aceptables de acuerdo con la NTP 399.611.

Reyes et al. (2023) estudiaron el impacto de la ceniza de maleza y concreto reciclado (CDM y CR) en adoquines artesanales. Con 72 muestras y dosificaciones de 5%, 10% y 15%, observaron mejoras en resistencia a compresión (hasta 354 kg/cm<sup>2</sup>), flexión y abrasión (hasta 5.17 mm). La dosificación óptima fue 15%.



En su tesis de 2011, Uriel utilizó ensayos de resistencia a la compresión realizados en diferentes intervalos de tiempo para investigar el comportamiento mecánico y físico del mortero a base de CBCA utilizado como árido en el enlucido de paredes, en el que las cenizas de bagazo de caña de azúcar sustituían al árido. La investigación determinó que el material tiene buena fluidez y trabajabilidad, lo que facilitaría su aplicación mediante equipos de proyección mecánica, reduciendo costos constructivos. Su aporte es relevante por demostrar que materiales residuales finos pueden mejorar propiedades físicas en aplicaciones de revestimiento, lo cual puede extrapolarse al caso de los adoquines.

En su tesis de 2015, Barrantes y Holguín investigaron cómo la proporción de cenizas volantes utilizadas para sustituir el árido en adoquines de tráfico ligero afectaba a su resistencia a la compresión y absorción. La investigación sobre los efectos de los residuos industriales en el rendimiento del hormigón reveló variaciones sustanciales en la resistencia y la absorción.

Cabrera Lozano y Rojas Mori (2022) llevaron a cabo un estudio experimental en Jaén, sustituyendo parcialmente el cemento por porcelanato molido en adoquines tipo II con  $f'c = 340 \text{ kg/cm}^2$ . Usaron un diseño experimental puro, muestreo no probabilístico según las normas NTP 399.611, 399.604 y 399.624, observación directa, fichas guía validadas por expertos e inferencia estadística. Encontraron que con una dosificación de 12.5 % de porcelanato reciclado se logró una resistencia a la compresión de  $399.50 \text{ kg/cm}^2$  (17.5 % mayor al patrón) y una abrasión de  $14.83 \text{ a } 3.50 \text{ cm}^3/50 \text{ cm}^2$ . Además, mostraron



sólo un aumento de 1.2 % en el costo unitario de producción, determinando que esa cantidad es una alternativa técnica y ambientalmente viable.

Castañeda Cruz y Vásquez Barreto (2014) analizaron en Chiclayo la viabilidad de usar concreto reciclado como agregado fino y grueso en adoquines para tránsito vehicular ligero. Usaron morteros con hasta 70 % de árido reciclado y prototipos de 20×10×6 cm y 20×10×8 cm. Realizaron ensayos a 7, 14 y 28 días para determinar la resistencia a la compresión y flexión, con enfoque experimental, muestreo por conveniencia, observación directa y análisis estadístico descriptivo e inferencial. Concluyeron que es posible sustituir hasta en un 70 % el árido tradicional sin afectar significativamente la resistencia mecánica, lo que confirma el potencial del concreto reciclado como sustituto sostenible en la producción de adoquines.

Terrones (2023) elaboró una tesis en Lima utilizando residuos de porcelanato y concreto reciclado en adoquines artesanales. Utilizó un método cuantitativo experimental, con muestreo por conveniencia y observación directa, probando dosis de 5 %, 10 % y 15 % en ensayos estandarizados para propiedades físico-mecánicas a los 28 días. Determinó que la mezcla con 10 % de adición logró un buen equilibrio de resistencia a la compresión, absorción y abrasión, cumpliendo con los límites de la NTP 399.611 para adoquines tipo II. Además, el análisis técnico determinó que la utilización de estos residuos puede mejorar el comportamiento estructural y disminuir el impacto ambiental.

#### **2.1.4. Antecedentes locales**

En la investigación de Condori Mamani (2019) en la ciudad de Puno, se llegó a describir el proceso de tratamiento del vidrio reciclado para la elaboración



de adoquines para pisos articulados urbanos. Se buscó sustituir parcialmente el árido fino por vidrio molido en porcentajes de 0 %, 10 %, 20 % y 30 %, con una mezcla diseñada para una resistencia  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ . Para ello se realizaron ensayos siguiendo normas ASTM y NTP para determinar propiedades físicas y mecánicas tanto del vidrio como del agregado fino. Los resultados indicaron que con un 20 % de vidrio molido se logró obtener una resistencia promedio de  $337 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días de curado, sobrepasando la resistencia de diseño y lo estipulado en la normativa vigente. Este resultado indica que la incorporación de vidrio molido en proporciones moderadas es viable mecánicamente y económicamente, ya que reduce el costo de materiales y el impacto ambiental que generan los agregados naturales.

Por otro lado, Apaza Maquera (2022) analizó el comportamiento físico-mecánico de adoquines de concreto reforzado con fibra de totora en el distrito de Juliaca, Puno. Se probaron cinco dosificaciones (0 %, 0.3 %, 0.5 %, 0.7 %, 0.9 %) en un diseño cuasi-experimental cuantitativo, con una muestra de 45 adoquines y ensayos de resistencia a la compresión, tracción, flexión y propiedades del concreto fresco. Los resultados mostraron que la incorporación de fibra va disminuyendo la resistencia mecánica; en especial, el 0.3 % de fibra logró cumplir con la resistencia mínima establecida en la NTP 399.611, pero en porcentajes mayores (0.5 %, 0.7 %, y 0.9 %) se redujo hasta en un 28.9 % en comparación con el espécimen patrón. Esto demuestra que incluso pequeñas adiciones de biomasa pueden deteriorar el comportamiento estructural, y refuerza la necesidad de ajustar la dosificación para aplicaciones reales en adoquines peatonales.



## 2.2. Bases teóricas

### 2.2.1. *El concreto y sus componentes*

#### 2.2.1.1. CONCRETO:

El cemento, el agua, los áridos finos y gruesos y, en ocasiones, aditivos químicos conforman el material compuesto conocido como hormigón, que tiene un uso muy extendido en la industria de la construcción. Debido a su resistencia y longevidad, es adecuado para su uso en proyectos de construcción de diversos tipos. El hormigón obtiene su estructura y resistencia de los áridos que se unen mediante el proceso de hidratación que se inicia cuando el cemento, que es un aglutinante hidráulico, se combina con agua, Ore (2014).

#### 2.2.2. *Diseño de Mezcla de Concreto*

El diseño de mezcla consiste en seleccionar las proporciones adecuadas de los materiales que conforman el concreto, buscando obtener una mezcla eficiente tanto en su estado fresco como endurecido. Esto permite determinar la combinación más económica y funcional, así como los materiales más apropiados para garantizar que el concreto cumpla con los estándares técnicos, planos y especificaciones de la obra, Riva (2010).

#### 2.2.3. *Propiedades del concreto*

##### a) Estado Fresco

En esta etapa, el concreto debe ser trabajable, es decir, fácil de mezclar, colocar y compactar sin segregarse. Una de las pruebas más comunes para determinar esta característica es el revenimiento o slump, que determina qué tanto se asienta el concreto cuando se retira el molde. Este ensayo no es



adecuado para concretos con asentamientos menores a 6 mm, por lo que se debe tener en cuenta la naturaleza del concreto a evaluar (ASTM C192, p. 5).

Además, el slump se mide aplicando el ensayo en tres capas, cada una con 25 golpes, para luego medir la diferencia entre la altura original del molde y la del concreto luego del desmolde, permitiendo determinar su consistencia (ASTM C143).

## b) Estado Endurecido

Una vez fraguado, el concreto debe alcanzar las propiedades mecánicas requeridas, siendo la más importante la resistencia a la compresión. Esta se determina mediante probetas estándar, cuya resistencia es evaluada en función de la calidad de los agregados, preparación, curado y temperatura. Para alcanzar el 90% de la resistencia total se requieren 28 días, permitiendo evaluar la sección estructural antes de cualquier posible falla, Fernández et al., 2016).

Cuando el concreto es bien elaborado, debe cumplir con los valores de resistencia de diseño. De no ser así, se considera un experimento inválido. El procedimiento consiste en someter una probeta a carga hasta su fractura, con el fin de verificar su capacidad máxima de soporte, Chinchayhuara (2020).

También se evalúa la resistencia a la flexión mediante el módulo de rotura ( $M_r$ ), el cual se calcula con las siguientes fórmulas según el caso:

$$M_r = \frac{P \cdot a}{b \cdot h^2}$$

donde  $P$  es la carga máxima,  $a$  la distancia al apoyo más cercano,  $b$  el ancho de la viga y  $h$  su altura, Chinchayhuara (2020).

#### **2.2.4. Factores que Influyen en la Calidad del Concreto**

El comportamiento del concreto, en términos de su desempeño estructural y durabilidad, está condicionado por una serie de variables interrelacionadas que incluyen la naturaleza y calidad de los agregados, la relación agua/cemento, la dosificación de los materiales constituyentes y, de forma crucial, las condiciones de curado a las que se somete la mezcla durante su proceso de fraguado y endurecimiento. Dentro de las propiedades mecánicas, la resistencia a la compresión es la más importante para definir la capacidad del concreto para uso estructural, ya que es su capacidad inherente para resistir cargas sin fallas estructurales o fracturas prematuras, Ore (2014).

En términos de optimización de la mezcla, una buena trabajabilidad no debe depender de la adición de agua o cemento al diseño, ya que esto deteriora otras propiedades como la resistencia o la durabilidad. En cambio, es preferible una dosificación técnica que tenga en cuenta el balance en la formulación del mortero, según la reactividad química y física del tipo de cemento y la compatibilidad y sinergia de los aditivos incorporados. Esta visión holística permite formular mezclas más eficientes en términos de manipulación y durabilidad en el tiempo, Chinchayhuara (2020).

## 2.2.5. Materiales

### 2.2.5.1. Cemento

El clinker, un aglutinante elaborado a partir de silicato de calcio, se cuece para producir cemento. La adición de sulfato de calcio y otros productos no supera el 1 % del peso total. Tras mezclarse bien con agua, también tiene la capacidad de fraguar y solidificarse. Además, algunas variedades de cemento están destinadas a su uso en tipos de suelo, zonas climáticas y tareas de construcción específicos (NTP 334.009).

#### Figura 1

*Cemento rumi*



*Nota.* Cemento rumi, (2009)

### 2.2.5.2. Agua:

Para que la mezcla sea trabajable y el cemento pueda hidratarse, el agua es un componente esencial del hormigón. Para la hidratación del cemento, se necesita una mezcla de entre un 25 % y un 30 % de agua por peso de cemento. Debe ser al menos un 40 % para que sea trabajable.



El hormigón no se puede mezclar con agua no apta para el consumo humano. Debe estar libre de cualquier sabor u olor y de cualquier contaminante. Según Rivera (2013)

### **2.2.5.3. Agregado:**

Para crear una estructura especialmente duradera, el hormigón se basa en la aglomeración de áridos mediante una pasta de cemento.

Aproximadamente una cuarta parte del volumen total está compuesto por áridos. El término «árido» se utiliza para describir materiales granulares que se extraen de lechos fluviales o piedras trituradas. En el hormigón, los áridos pueden ser piedras trituradas, arena o grava.

Para fabricar mortero y hormigón en diferentes proporciones, se necesita un ingrediente cementoso. Según Pasquel en (1999).

### **2.2.6. Adoquines**

La estructura del pavimento puede protegerse utilizando estas piezas sólidas de hormigón, fabricadas mediante métodos industriales de vibrocompresión en moldes de diversas formas y colores. Mejoran el aspecto y son fáciles de limpiar. Colocados sobre una capa de arena, encajan a la perfección con juntas apenas visibles. Gracias a su ligereza y forma autónoma, estos elementos son ideales para su uso en aparcamientos, zonas verdes y pavimentos, donde no requieren ningún tipo de mantenimiento más allá de la retirada de las secciones rotas, Arevalo & López (2017).

## Figura 2

*Los adoquines*



*Nota.* <https://prefabricadoscalytec.com.pe/blog/tipos-adoquines-concreto/>

En la producción de adoquines se utilizan áridos tradicionales para hormigón y cemento Portland tipo MS. Para determinar la relación agua-cemento deben seguirse las especificaciones del hormigón, Olvido y Rodríguez (2015)

### 2.2.6.1. Tipos de adoquines

#### 1. Adoquines de hormigón (concreto)

Bloques prefabricados muy versátiles, utilizados tanto para tráfico peatonal como vehicular. Disponibles en una gran variedad de formas (rectángulos, hexágonos, flor, ecológicos), colores y texturas (pulidos, estriados, porosos). Ofrecen alta resistencia, fácil instalación y mantenimiento, además de permitir reemplazos individuales

### Figura 3

#### *Adoquines de Hormigón*



*Nota.* Triad associates INC. 2021.

### 2. Adoquines de ladrillo

Fabricados a partir de arcilla cocida, ofrecen un acabado clásico y cálido. Resisten bien la intemperie, aunque su costo suele ser más elevado que los de hormigón.

### Figura 4

#### *Adoquines de ladrillo*



*Nota.* Triad associates INC. 2021.

### 3. Adoquines de piedra natural

Hechos con materiales como granito, caliza, pizarra o mármol. Aportan un aspecto rústico o elegante según el acabado (pulido o texturizado), y son altamente durables, aunque más costosos

### 4. Adoquines cerámicos

Hechos de arcilla cocida, ofrecen gran variedad de colores y diseños. Son estéticos y resistentes, pero menos recomendados para tráfico vehicular intenso.

### Figura 5

*Adoquines cerámicos*



*Nota.* Triad associates INC. 2021.

### 5. Adoquines de madera

Bloques tratados para exterior, perfectos para aportar calidez en jardines. Son bonitos y ecológicos, pero menos duraderos y necesitan más cuidados.

### 6. Adoquines de plástico / gravilla

Más baratos y fáciles de instalar, pero menos duraderos. Se suelen emplear para caminos provisionales o caminos ligeros en jardines.

## Acabados y texturas especiales

- Lustrado: superficie lisa y brillante para un acabado sofisticado.
- Granallado: superficie rugosa con partículas de acero para mayor antiderrapante.
- Lavado: deja al descubierto los áridos, exponiéndolos (apariencia natural).
- Texturizado: simula madera, piedra, ladrillo para fines estéticos.
- Táctil / bajorrelieve: para accesibilidad o zonas húmedas, indicando cambios de nivel o potenciando superficies antideslizantes.
- Mixtos: mezclan diferentes acabados en una misma pieza para generar diseños originales.

### Figura 6

*Adoquines de ladrillo*





*Nota.* Adoquines calytec, 2020.

### **2.2.6.2. Ventajas de la utilización de adoquines.**

La capa de rodadura de un pavimento de adoquines es donde realmente destaca este tipo de pavimento. Los adoquines son de hormigón y son piezas prefabricadas que pueden fabricarse de forma industrial o artesanal. Los pavimentos de adoquines suelen ser creados por trabajadores de la región circundante, en lugar de por maquinaria pesada.

La compactación se utiliza simplemente para unir los adoquines entre sí. Tienen una vida útil prevista de 40 años, su reparación es asequible y no dañan todo el pavimento cuando se sustituyen unidades individuales.

Los adoquines pueden diseñarse para soportar tanto el tránsito peatonal como el vehicular. Al fabricarse en moldes, pueden colorearse y moldearse según los deseos del fabricante, lo que los hace ideales para fines ornamentales. Además, las plazas, los campos deportivos, los patios y las aceras son lugares adecuados para su uso.

Son adecuados para su uso en zonas con un volumen de tráfico significativo, como carreteras, centros de transporte, puertos y pistas de aeropuertos. Para mejorar su atractivo visual y servir como elementos ornamentales, pueden moldearse en diversas formas.

Los adoquines están fabricados con piezas sólidas y de grosor uniforme que se unen entre sí de forma que resultan fáciles de transportar y colocar in situ. Así lo establecieron Miranda y Calle (2012).

### 2.2.6.3. Requisitos de adoquines de concreto según la NTP

#### 339.611.

Tipos de adoquines según norma técnica

Tipo I: Adoquines para pavimentos de uso peatonal.

Tipo II: Adoquines para pavimentos de tránsito vehicular ligero.

Tipo III: Adoquines para pavimentos de tránsito vehicular pesado, patios industriales y contenedores.

La resistencia a la compresión, que es directamente proporcional al grosor del adoquín, es el criterio más importante.

**Tabla 2**

*Requisitos de los adoquines*

Tipo de Tránsito	Clasificación	Espesor Nominal (mm)	Resistencia a la Compresión Promedio (MPa / kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia Mínima por Unidad Individual (MPa / kg/cm <sup>2</sup> )
<b>Peatonal</b>	Tipo I (B, C, D)	40	31 MPa (320 kg/cm <sup>2</sup> )	28 MPa (290 kg/cm <sup>2</sup> )
<b>Vehicular liviano</b>	Tipo II	60	41 MPa (420 kg/cm <sup>2</sup> )	37 MPa (380 kg/cm <sup>2</sup> )
		80	37 MPa (380 kg/cm <sup>2</sup> )	35 MPa (360 kg/cm <sup>2</sup> )
		100	33 MPa (340 kg/cm <sup>2</sup> )	32 MPa (325 kg/cm <sup>2</sup> )
<b>Vehicular pesado o uso industrial</b>	Tipo III	≥ 80	55 MPa (561 kg/cm <sup>2</sup> )	50 MPa (510 kg/cm <sup>2</sup> )

*Nota.* Instituto Nacional de Calidad (INACAL), NTP 339.611:2020.

### 2.2.7. Ataque por agentes agresivos y requisitos de absorción

El desempeño del adoquín de concreto en condiciones de exposición severa como ambientes con presencia de sulfatos o sometidos a ciclos de congelamiento y deshielo está condicionado a su capacidad para limitar la absorción de agua. Una alta absorción incrementa la susceptibilidad al deterioro por expansión interna, fisuración por cristalización salina o daño térmico, comprometiendo la durabilidad del pavimento. Por ello, las normativas técnicas como la NTP 339.611 establecen valores máximos de absorción para asegurar la resistencia frente a dichos agentes agresivos.

La tabla que sigue presenta los límites establecidos de absorción de agua para adoquines, diferenciando por tipo de uso (peatonal, vehicular y tráfico pesado) y aplicando criterios tanto al promedio de unidades ensayadas como a la unidad individual con peor desempeño:

**Tabla 3**

*Límites de absorción de agua para adoquines de concreto según tipo de uso.*

Tipo de Adoquín	Absorción Máxima Promedio (3 unidades)	Absorción Máxima por Unidad Individual
Tipo I y II (peatonal y vehicular ligero)	6%	7.50%
Tipo III (uso industrial, tránsito pesado)	5%	7%

*Nota.* Instituto Nacional de Calidad (INACAL), NTP 339.611:2020.

- Definición y clasificación según normativas (NTP 399.611, CE.010).

- Usos del adoquín tipo II (tránsito peatonal y vehicular ligero).
- Dimensiones, tolerancias y propiedades exigidas por norma.

### 2.2.7.1. Porcelanato reciclado como agregado alternativo

Los desechos cerámicos son los restos materiales que se generan principalmente en procesos productivos, remodelaciones o demoliciones de edificaciones. Son escombros tales como trozos de baldosas, ladrillos, bloques, tejas, inodoros, lavabos y demás productos cerámicos cocidos o vidriados. Por ser muy resistentes, estables químicamente y duraderos, se acumulan y son difíciles de degradar, por lo que son un problema ambiental. Pero su constitución mineralógica —a partir de arcillas cocidas, óxidos metálicos y esmaltes vitrificados— les confiere un gran potencial de reutilización en materiales constructivos como adoquines, bloques de hormigón o subbases para pavimento, Jaimes, (2021, p. 32).

#### Figura 7

*Porcelanato reciclado.*



Nota. JAIMES, (2021), pág. 32

La descripción cualitativa de los residuos cerámicos es la de un gránulo sólido de color crema que se asemeja a fragmentos triturados de cerámica desechada, como tanques, lavabos, inodoros, tapas y otros. Las partículas de la sustancia son angulares y de forma irregular, como cerámica rota, y tienen muchas superficies, incluida una de vidrio esmaltado que puede estar coloreada para que coincida con la superficie aparente del producto acabado. Se requiere un manejo cuidadoso para evitar cortes causados por los bordes afilados de las partículas más grandes. p. 36, JAIMES (2021).

#### 2.2.7.2. Caracterización fisicoquímica del porcelanato reciclado

La tabla 3 muestra la composición química del residuo cerámico empleado, el cual proviene de un material que ha sido sometido a un proceso de cocción a temperaturas elevadas de hasta 1200 °C.

**Tabla 4**

*Análisis físico - químico de los porcelanatos*

COMPONENTE (Presente en rotura molid)	%
SiO <sub>2</sub>	68.50
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22.80
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.87
CaO	0.88
K <sub>2</sub> O	1.86
Na <sub>2</sub> O	3.00
TiO <sub>2</sub>	0.78
MgO	0.36
L.O.I.*	0.44
<b>TOTAL</b>	<b>99.50</b>

Nota. (JAIMES, 2021, pág. 36)

Una observación más detallada revela que el óxido de silicio constituye casi el 69 % de esta composición, el óxido de aluminio el 23 % y otros minerales el 8 %. Según investigaciones químicas, los elementos identificados, a diferencia de los sulfatos y cloruros, no son perjudiciales para el hormigón. Asimismo, se afirma que sus productos biológicos de bajo nivel de combustión, entre los que se incluyen el carbono, los lodos, los aceites y el lignito, presentan un bajo riesgo de contaminación, JAIMES (2021).

### **2.2.8. Procedencia de los residuos utilizados**

En este estudio, los residuos cerámicos utilizados provienen de constructoras y empresas dedicadas a la comercialización de material sobrante o de demolición. Las piezas recolectadas incluyen elementos cerámicos cocidos y vidriados como lavabos, pedestales, sanitarios, cisternas, tapas, toalleros, fregaderos y urinarios. Estos residuos presentan diversidad en colores y acabados, lo que también puede influir en su comportamiento al incorporarse en nuevas mezclas. Durante su recolección, las piezas son clasificadas e identificadas visualmente por personal capacitado, quienes además supervisan el proceso de almacenamiento y transporte para su disposición final (Jaimes, 2021, p. 32).

#### **2.2.8.1. Normas técnicas aplicables**

- **NTP 399.611: Adoquines de concreto para pavimentos**

Establece los requisitos dimensionales, propiedades físicas y mecánicas exigidas (resistencia a compresión, absorción, desgaste, etc.) para adoquines tipo I, II y III.



- **NTP 399.604: Concreto – métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería**

Define los procedimientos estandarizados de muestreo y ensayo aplicables a los adoquines de concreto.

- **NTP 399.624 y NTP 399.623: Métodos de ensayo para desgaste por abrasión**

Normas que detallan las pruebas específicas para determinar la resistencia al desgaste superficial de los adoquines mediante equipo de abrasión o chorro de arena.

- **NTP 400.053: Manejo y reutilización de residuos de construcción**

Regula los criterios técnicos para utilizar agregados reciclados, incluyendo clasificación, compatibilidad y desempeño ambiental.



## CAPÍTULO III

### MÉTODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1. Perfil metodológico

##### 3.1.1. *Tipo de investigación:*

“La investigación aplicada se caracteriza por su propósito de resolver problemas prácticos, basándose en la utilización de métodos establecidos que generen nuevos conocimientos con una finalidad inmediata y útil. Este tipo de investigación tiene como objetivo abordar y proporcionar soluciones a problemas presentes en la sociedad, dentro de un contexto específico, sin dejar de lado el rigor científico que requiere el proceso de investigación”. Hernández Sampieri & Mendoza Torres (2018).

Lo que define la investigación aplicada es que busca resolver problemas reales. Para promover prácticas sostenibles en la construcción y disminuir el uso de cemento Portland, este trabajo busca determinar el impacto de incorporar baldosas porcelánicas recicladas en la elaboración de adoquines tipo II. Este método ofrece respuestas prácticas a problemas económicos y



medioambientales acuciantes, al tiempo que contribuye a nuestra comprensión de los materiales de construcción.

### **3.1.2. *Diseño de investigación:***

“El diseño experimental posee una o más variables independientes y dependientes, y pruebas previas y posteriores para determinar los efectos de los tratamientos experimentales. En los estudios experimentales, es obligatorio realizar pruebas posteriores a la intervención para establecer resultados claros y medibles del experimento. Este enfoque es útil para obtener conclusiones válidas sobre las relaciones causales entre las variables que se están analizando.” Hernández, Fernández & Baptista, (2014).

El diseño experimental permite manipular variables independientes para observar sus efectos en las variables dependientes bajo condiciones controladas, lo que hace que este enfoque sea particularmente adecuado para estudiar la influencia de variables específicas sobre un fenómeno determinado. Se estudiaron las cualidades mecánicas y físicas de los adoquines de hormigón para pavimentos entrelazados, sustituyendo el cemento por baldosas de porcelánico reciclado como variable independiente. Este diseño experimental controlado proporciona datos claros y precisos sobre el impacto de los diferentes porcentajes de porcelanato reciclado, lo cual es esencial para validar la hipótesis y obtener resultados con alta confiabilidad. Este enfoque también permite a los investigadores evaluar no solo las propiedades estructurales del material, sino también su viabilidad práctica para aplicaciones industriales.

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

"La investigación explicativa intenta determinar una relación de causa y efecto entre variables; explica cómo una variable influye en otra". "Este tipo de estudio explica de qué manera unos factores o condiciones provocan unos efectos determinados, dando una explicación de las relaciones que existen entre las variables". Guamán et al., 2021.

Para hacer inferencias causales entre variables es necesario conocer las causas y efectos de los fenómenos, lo cual sólo se logra con estudios de tipo explicativo. En este estudio se han evaluado las propiedades mecánicas y físicas de adoquines de hormigón tipo II en el que se ha sustituido parcialmente el cemento por porcelana reciclada. Esta manera explicativa permite reconocer las relaciones de causa y efecto que existen entre el porcentaje de porcelanato reciclado y las características del concreto, y de esta manera comprender cómo estos cambios pueden mejorar la sostenibilidad y las propiedades estructurales del concreto. Además, puede dar lugar a unas recomendaciones explícitas de la investigación para la práctica de la construcción.

### **3.1.4. Enfoque de investigación**

"El método cuantitativo implica la recogida y el análisis de datos numéricos para probar hipótesis y descubrir patrones o relaciones entre variables". "Este diseño se aplica cuando se quiere probar una hipótesis con datos cuantificables y observables, usando la estadística para analizarlos correctamente". Baena, G. (2017).

El método cuantitativo es un medio sistemático y objetivo para medir el efecto sobre las propiedades mecánicas y físicas de los adoquines de hormigón tipo II en el que se sustituye parcialmente el cemento por porcelana reciclada. Este procedimiento recoge datos cuantitativos de ensayos estandarizados, para analizar en detalle los cambios en propiedades como la resistencia a la abrasión, la resistencia a la compresión o la resistencia a la flexión. Además, el sector de la construcción tiene la certeza de que su proceso de toma de decisiones se apoya en resultados confiables y repetibles, ya que se aplican métodos estadísticos para el análisis de datos. Los resultados pueden extenderse a otras situaciones similares por medio de la técnica cuantitativa, la cual verifica la teoría y contribuye a la investigación de materiales sostenibles.

### **3.2. Población, muestra y muestreo**

#### **3.2.1. Población**

La población, entendida como el conjunto total de elementos que reúnen las características objeto de estudio dentro de un contexto determinado (Arias, 2012), está constituida por adoquines de concreto tipo II elaborados con distintas proporciones de porcelanato reciclado como sustituto parcial del cemento. Las dosificaciones consideradas en este estudio son del 0 % (patrón), 5 %, 10 % y 15 %. Cada grupo fue diseñado para alcanzar una resistencia a la compresión  $f'_c = 380 \text{ kg/cm}^2$ , cumpliendo con los requisitos establecidos por las normas NTP 399.611, NTP 399.604 y NTP 399.624.

Los criterios de inclusión consideran únicamente aquellos adoquines tipo II elaborados con cemento tipo I, arena natural y porcelanato molido como aditivo reciclado, en las proporciones mencionadas. Se excluyen de este estudio los

elementos que hayan sido fabricados con otros materiales reciclados distintos al porcelanato o que no cumplan con las proporciones de sustitución predefinidas.

### **3.2.2. Muestra**

Los datos del estudio se obtendrán de un subconjunto de la población de interés, denominado muestra (Hernández, Fernández y Baptista, 2014). La muestra de esta investigación estuvo conformada por un total de 135 adoquines de concreto tipo II, elaborados con cuatro diferentes proporciones de porcelanato reciclado como sustituto parcial del cemento: 0 % (mezcla patrón), 5 %, 10 % y 15 %. Esta distribución fue diseñada con el objetivo de evaluar comparativamente las propiedades físicas y mecánicas de cada tipo de mezcla bajo condiciones de ensayo estandarizadas.

Para la evaluación de la resistencia a la compresión, se consideraron únicamente los tres niveles de sustitución (5 %, 10 % y 15 %), aplicando ensayos a los 7, 14 y 28 días de curado. Cada nivel fue representado por nueve adoquines, distribuidos equitativamente en las tres edades de ensayo. En total, se utilizaron 27 unidades para este análisis.

En cuanto a la resistencia a la abrasión, se evaluaron todas las proporciones, incluyendo el patrón (0 %). Se emplearon tres adoquines por grupo, todos ensayados a los 28 días, lo que representa un total de 12 unidades para esta propiedad.

Las propiedades físicas analizadas fueron: absorción, contenido de humedad, densidad y variación dimensional. Para cada nivel de sustitución (0 %, 5 %, 10 % y 15 %) se tomaron 24 unidades, 6 para cada una de las cuatro

propiedades físicas. Por lo tanto, 96 adoquines fueron reservados para este tipo de ensayos.

El muestreo fue no probabilístico por conveniencia, de acuerdo a la factibilidad del laboratorio y buscando representatividad por cada nivel de tratamiento. Esta estrategia aseguró la aplicación estricta de los ensayos especificados en las normas NTP 399.611 (adoquines de concreto), NTP 399.604 (métodos de ensayo para unidades de albañilería) y NTP 399.624 (resistencia a la abrasión), garantizando la confiabilidad y comparabilidad de los resultados:

**Tabla 5**

*Muestreo para ensayos físicos y mecánicos.*

Tipo de Ensayo	% de Sustitución de Porcelanato	Total de Muestras	Distribución por Ensayo
Contenido de humedad del agregado	-	8	4 muestras para agregado grueso (AG), 4 para agregado fino (AF)
Peso específico y absorción de agregados	-	4	2 muestras para AG, 2 para AF
Peso unitario (suelto y compactado)	-	12	3 muestras para AG suelto, 3 para AG compactado, 3 para AF suelto, 3 para AF compactado
Absorción de adoquines (NTP 399.604)	0%, 5%, 10%, 15%	12	3 adoquines por grupo a los 28 días (3 por grupo)
Contenido de humedad de adoquines	0%, 5%, 10%, 15%	12	3 adoquines por grupo a los 28 días (3 por grupo)
Densidad de adoquines	0%, 5%, 10%, 15%	12	3 adoquines por grupo a los 28 días (3 por grupo)
Variación dimensional	0%, 5%, 10%, 15%	36	3 unidades evaluadas en largo, ancho y alto por cada grupo (9 por grupo)

Resistencia a la compresión	5%, 10%, 15%	27	9 muestras por grupo: 3 a 7 días, 3 a 14 días, 3 a 28 días
Resistencia a la abrasión (NTP 399.624)	0%, 5%, 10%, 15%	12	3 adoquines ensayados por grupo a 28 días (3 por grupo)
Total		135	

### 3.2.3. Muestreo

Para la presente investigación se eligió un muestreo no probabilístico por conveniencia, criterio metodológico justificado por la accesibilidad y disponibilidad de los materiales para la elaboración de los adoquines. En este tipo de muestreo se eligen las unidades de muestreo en base a criterios de conveniencia (límites de tiempo o de presupuesto, imposibilidad de acceder a toda la población, etc.) (QuestionPro, 2023; Explorable, 2023).

En situaciones de investigación aplicada, en particular en el análisis de materiales en laboratorio, este diseño es apropiado cuando no se busca hacer inferencias a una población mayor, sino adquirir información precisa de unidades experimentales controladas. Para Berumen (2023), este método no permite hacer inferencias estadísticas a nivel poblacional, pero es una opción para estudios exploratorios, experimentales o de validación técnica donde la representatividad probabilística no es esencial.

En esta investigación, el muestreo por conveniencia determinó la toma de suficientes adoquines por cada grupo experimental (0 %, 5 %, 10 % y 15 % de porcelanato reciclado) para realizar ensayos según normas técnicas NTP y permitir la comparación entre tratamientos.



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

#### **3.3.1. Técnica de investigación**

La técnica de investigación es el procedimiento sistemático que utiliza el investigador para recoger información relevante a la investigación (Arias, 2012). En esta investigación se utilizó la observación directa, que es una técnica de la percepción intencionada de cualquier fenómeno en su ambiente natural a través de los sentidos, concentrando la atención en lo que es de interés para la investigación.

Esta metodología permitió que el investigador participe en todo el proceso experimental, desde la recolección del material reciclado hasta la realización de los ensayos de laboratorio. De esta manera se logró una recolección de datos exacta, confiable y en su contexto natural, garantizando que los resultados reflejen la realidad.

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

Las herramientas de recolección de datos son los instrumentos que posibilitan al investigador registrar la información sobre las variables de estudio (Hernández et al., 2014). Para este estudio se utilizaron formatos y guías de observación diseñadas para cada fase del proceso experimental. Estas instrumentaciones permitieron tomar registros organizados y precisos de las mediciones tomadas en la preparación del porcelanato reciclado, en la elaboración de los adoquines y en las pruebas de laboratorio.



### **3.3.3. Validez**

Cuando un instrumento de medida es válido, es que mide de forma fiable la variable objeto de estudio Hernández et al., (2014). Los instrumentos para tomar datos de adoquines de hormigón con recubrimiento de porcelanato reciclado fueron validados por tres expertos para asegurar su aplicabilidad.

### **3.3.4. Fiabilidad**

La medida en que un instrumento da los mismos resultados en condiciones similares se llama fiabilidad (Hernández et al., 2014). Se verificó la precisión de los resultados de este estudio, ya que el equipo de laboratorio con el que se midieron las características físicas y la resistencia a la compresión (prensa hidráulica) se calibró en el tiempo. Las pruebas también fueron realizadas por personas capacitadas que cumplieron meticulosamente con todos los requisitos técnicos peruanos aplicables, lo que mejoró la fiabilidad y la validez de los resultados.

### **3.4. Procedimientos**

Para empezar a diseñar las mezclas de hormigón, los investigadores analizaron primero los áridos mediante una serie de experimentos preliminares. Tanto los áridos gruesos como los finos se sometieron a un análisis granulométrico y a ensayos de módulo de finura como parte de estos procedimientos. También se midieron el contenido de humedad, la absorción, el peso unitario seco compactado y sin compactar, la densidad y la distribución granulométrica de los áridos gruesos y finos.



Una vez recopilados los datos sobre las características físicas de los áridos, se elaboró la mezcla de hormigón de acuerdo con las normas establecidas por el Comité 211 del American Concrete Institute. El cemento Portland, los áridos finos, los áridos gruesos, el agua y el aire fueron todos factores que influyeron en el diseño de la mezcla de hormigón. Para obtener una resistencia de  $f'c = 380 \text{ Kg/cm}^2$ , se optimizó el diseño final de la mezcla. Además, utilizando los porcentajes determinados en la investigación (5 %, 10 % y 15 %), se utilizó porcelánico reciclado en lugar de cemento Portland. Al realizar este cambio, se tuvo en cuenta la densidad del polvo de porcelánico reciclado.

Los fragmentos de porcelánico se recuperaron de los vertederos de escombros de edificios de San Román para crear el porcelánico reutilizado. Las partículas obtenidas se limpiaron a fondo para eliminar cualquier impureza. A continuación, se utilizó una combinación de martillos y palancas para romper las baldosas de porcelana. Se utilizó un molino de bolas o una máquina Los Ángeles para moler aún más las piezas pequeñas hasta reducirlas a un polvo fino. Se utilizó un tamiz de malla n.º 40 para filtrar este polvo, y solo se consideró válido el material que pasó por el tamiz. A continuación, se realizaron pruebas de densidad y finura del polvo de conformidad con las normas NTP 334.005 y NTP 334.046:2008, que son los requisitos técnicos pertinentes.

Los adoquines y briquetas de hormigón se fabricaron de acuerdo con los números de muestra determinados en el estudio, una vez completado el diseño de la mezcla. Se realizó un procedimiento de fraguado de estas muestras en un entorno de laboratorio controlado. La resistencia axial a los 7, 14 y 28 días, así como la resistencia a la abrasión a los 28 días, fueron algunas de las cualidades



mecánicas que se sometieron a prueba posteriormente. A los 28 días, también se midieron el tamaño, la densidad, la absorción y el contenido de humedad de los adoquines. Para estas pruebas, se tuvieron en cuenta las normas técnicas aplicables.

#### **3.4.1. Método de análisis de datos**

El análisis de los datos consiste en una descripción exhaustiva de los pasos seguidos para procesar los datos del estudio, incluyendo la categorización, el registro, la tabulación y la codificación, Arias (2012).

A efectos del análisis estadístico, los datos de este estudio se recopilaban y estructuraban adecuadamente en hojas de cálculo tras su recogida en cada fase. La variable dependiente, junto con sus dimensiones e indicadores, se representaron gráficamente en tablas y gráficos generados mediante estadísticas descriptivas. Gracias a ello, fue mucho más fácil descifrar y comentar los resultados.

Dado que se trata de una investigación cuantitativa y experimental en curso, queríamos asegurarnos de que los resultados obtenidos de nuestros análisis estadísticos inferenciales seguían una distribución normal, por lo que realizamos una prueba de normalidad.

#### **3.5. Aspectos éticos**

La cita adecuada y el reconocimiento de los materiales utilizados, así como el respeto por el trabajo de otros autores, fueron pilares fundamentales del proceso de investigación, que se ajustó a las normas éticas establecidas en el Código Ético de la Universidad Andina Néstor Cáceres. Se garantizaron



igualmente la protección de la propiedad privada, el cumplimiento de las normas tecnológicas pertinentes y la protección del medio ambiente.

El informe de la tesis fue redactado siguiendo las especificaciones y normas para Tesis de la UANCV, cumpliendo con los lineamientos de redacción establecidos en la ISO 690 para referencias numéricas. Adicionalmente, se utilizó el software Turnitin para realizar un análisis de similitud, con el fin de asegurar que no existiera plagio y que el contenido fuera completamente original.

### **3.6. Desarrollo de la tesis**

La elaboración de este trabajo de investigación se realizó siguiendo el cumplimiento progresivo de cada uno de los objetivos específicos establecidos. A continuación, se describen las acciones llevadas a cabo durante el proceso:

#### **3.6.1. *Propiedades físicas del agregado de la cantera CUTIMBO***

##### **3.6.1.1. Ubicación y distancia**

Está ubicada a una altitud de 3917 m.s.n.m. a 3918 m.s.n.m. aproximadamente.

Entre las coordenadas UTM plano tipográfico 1:10000



**Tabla 6**

*Coordenadas y ubicación de la cantera CUTIMBO*

NORTE	ESTE
392143	8227201
392139	8227146

TRAMOS	DISTANCIA	UNIDAD
Carretera Asfaltada Puno a Moquegua (Puente Cutimbo)	23	Km
Desvió Margen Derecho e izquierdo Trocha carrozable Hasta la cantera	2	Km

A. Tipo de cantera

- Lecho de Río

B. Características de los materiales en la cantera:

- Potencia: 350,000 m<sup>3</sup>
- Rendimiento: 30,000 m<sup>3</sup>

- Partidas: Mezcla de Concreto Hidráulico, Mezclas de Concreto Asfáltico principalmente con arena Zarandeada y agregado para mezclas de base Granular y sub Base Granular.
- C. Condiciones de Propiedad y Disponibilidad de la cantera:
- Convenio comunal, privado y disponibilidad indefinida.
- D. Condiciones de exploración:
- Accesible para el transporte.
  - Pendientes suaves
  - Presencia de escorrentía de aguas Pluviales en épocas de lluvias
- E. Procedimiento de explotación
- Procedimiento mecánico (cargador frontal).
  - Tipo de transporte (Volquete).

### Figura 8

*Vista panorámica de la cantera CUTIMBO*



#### 3.6.2. **Proceso de obtención del porcelanato reciclado**

Todas las baldosas porcelánicas recicladas utilizadas en este estudio procedían de Notas tradicionales no industriales. El procedimiento incluyó las siguientes etapas:



Aprovechamiento de restos de baldosas porcelánicas para la generación de polvos porcelánicos: para ello recolectamos restos de baldosas porcelánicas rotas en escombreras de San Román. Los vertederos están llenos de trozos de baldosas porcelánicas de todos los tamaños y formas. Se recogieron aproximadamente 10 kg de baldosas porcelánicas para ser procesadas.

Lavado, clasificado y procesado del porcelanato: Después de la recolección, se lavó el porcelanato para remover suciedad como arena, tierra, cemento, entre otros. Luego, el porcelanato se eligió para garantizar la uniformidad; se descartaron materiales inadecuados como mayólicas u otros cerámicos. Luego, el porcelanato elegido se rompió con una comba de 15 libras en pedazos pequeños (alrededor de  $\frac{1}{2}$ " de ancho/largo).

Preparación del porcelanato reciclado: Una vez que se obtuvo el material cerámico molido, éste se sometió a una molienda controlada para reducir su tamaño de partícula. Este procedimiento se llevó a cabo en un equipo de desgaste abrasivo, como el molino de bolas o Los Ángeles, por un tiempo estándar de 20 min. El propósito fue triturar el porcelanato de desecho en partículas más pequeñas, pero de manera no uniforme. Para asegurar la homogeneidad necesaria para el diseño experimental, el material molido se tamizó utilizando una malla estándar N° 40. Solo se tomó como idóneo para las siguientes pruebas el material que logró atravesar por completo dicha malla, garantizando que el polvo resultante cumpliera con la granulometría establecida en esta investigación.

Condiciones de almacenamiento: El polvo cerámico que pasó por el criterio de tamaño se guardó en un recipiente hermético y en un lugar seco, lejos



de contaminantes. Esta condición de almacenamiento en seco se mantuvo hasta el momento de su inclusión en las mezclas experimentales para la elaboración de adoquines de concreto tipo II.

Como resultado final de este proceso de acondicionamiento, se obtuvo 7.50 kg de porcelanato molido cuyas propiedades físicas lo hacen apto para sustituir parcialmente al cemento, dentro de las especificaciones técnicas de diseño de esta investigación.

### **3.6.2.1. Evaluación de la finura del porcelanato reciclado**

Para caracterizar el polvo cerámico reciclado en sustitución parcial del cemento, se determinó su finura de acuerdo con la NTP 334.046:2018. Esta norma especifica el método de ensayo para determinar la granulometría por tamizado en húmedo de cementantes y materiales similares a través de mallas de 300  $\mu\text{m}$  (n.º 50), 150  $\mu\text{m}$  (n.º 100) y 75  $\mu\text{m}$  (n.º 200).

El método que se utiliza tiene como objetivo determinar la cantidad de partículas retenidas en cada tamiz y así confirmar si el material tiene el tamaño adecuado para reaccionar eficientemente al ser incorporado en matrices cementicias. Este análisis es determinante para asegurar la compatibilidad física del polvo de porcelanato reciclado con el resto de los ingredientes del concreto.

En este estudio, el ensayo se llevó a cabo de acuerdo con las especificaciones técnicas de la tercera edición de la norma en mención, que comprenden: dispersión del polvo en solución líquida, agitación controlada, tamizado en serie y secado del material retenido en cada malla. Mediante esta



metodología se logró obtener la granulometría del material reciclado y así garantizar su idoneidad técnica para la elaboración de adoquines tipo II:

1. Determinación del peso inicial de los tamices: Se pesaron los tamices de 300  $\mu\text{m}$  (n.º 50), 150  $\mu\text{m}$  (n.º 100) y 75  $\mu\text{m}$  (n.º 200) cuando estaban vacíos. Tras enjuagarlos y secarlos, se dejaron enfriar a temperatura ambiente para mantener un peso constante y eliminar cualquier posible interferencia de materiales extraños.
2. En segundo lugar, se midió el polvo de porcelana reciclada pesando tres muestras diferentes, cada una de las cuales se tamizó según las instrucciones del fabricante. Se utilizaron 50 gramos de polvo para el tamiz n.º 50, 25 gramos para el tamiz n.º 100 y 10 gramos para el tamiz n.º 200. Para mantener la consistencia del polvo de porcelana reciclada durante los procesos de pesaje y tamizado, se almacenó en un entorno seco y protegido.
3. Tamizado en húmedo: Para comenzar el procedimiento de tamizado, primero se separó el polvo de porcelana reciclada en la medida de lo posible mediante tamizado en seco. A continuación, durante un minuto y medio, se dirigió un chorro constante de agua a presión hacia el tamiz, asegurándose de que el agua se vertiera sobre el tamiz de forma controlada para evitar salpicaduras. Después, se utilizó agua destilada para enjuagar los tamices y eliminar cualquier resto que hubiera quedado adherido a ellos.
4. Limpieza del tamiz con el polvo de porcelana reciclado: Después del tamizado en húmedo, los tamices se calentaron a 130 °C durante 2 h para



eliminar cualquier resto. Una vez sacados del horno, los tamices se colocaron en un lugar seco para que se enfriaran a temperatura ambiente.

5. Una vez finalizado el proceso de secado y enfriamiento de los tamices, se tomó el peso final de cada uno para determinar la cantidad de material cerámico retenido en cada malla. Esta medida determinó exactamente la composición porcentual del polvo de porcelanato reciclado por tamaño de partícula, información esencial para el análisis granulométrico. El peso del residuo retenido se determinó por diferencia, habiendo pesado previamente en seco cada tamiz antes de la prueba.
6. Con los datos de masa retenida en cada tamiz se calculó el factor de corrección, de acuerdo con la NTP 334.046:2018, para corregir los resultados a condiciones estándar de ensayo. Este elemento tiene en cuenta la humedad ambiental, el tiempo de tamizado y la masa total de muestra ensayada. La ecuación que se aplicó fue la establecida en la norma de referencia, con la cual se pudo definir con precisión el grado de finura del polvo de porcelana reciclada y, por ende, su posible comportamiento en la mezcla cementicia.

Fórmula de la corrección de la finura:

$$C = \frac{(R_s \times W_t / 100) - R_t}{R_t} \times 100$$

Para establecer exactamente la finura del porcelanato molido, se debe hacer una corrección porcentual llamada factor de corrección del tamiz (C), que puede ser positivo o negativo, en dependencia de la desviación del estándar.



Este cálculo se basa en la fórmula del residuo estándar ( $R_s$ ) en porcentaje y el residuo real ( $R_t$ ) que se obtiene al pesar la muestra analizada ( $W_t$ ) retenida en cada tamiz individual.

Según las especificaciones técnicas de la Norma Técnica Peruana NTP 334.046:2018 y el método internacional ASTM C786-96, se determinan los siguientes factores de corrección de acuerdo al tamaño del tamiz usado en el análisis:

- Para la malla de  $300\ \mu\text{m}$  (N° 50), el factor de corrección correspondiente es  $\pm 10.91\ \%$ .
- Para la malla de  $150\ \mu\text{m}$  (N° 100), el factor es de  $\pm 2.30\ \%$ .
- Para la malla de  $75\ \mu\text{m}$  (N° 200), se establece un valor de  $\pm 2.01\ \%$ .

Estos coeficientes son fundamentales para realizar una estimación precisa del grado de finura del material cerámico reciclado, permitiendo validar su viabilidad como adición puzolánica en matrices cementicias bajo criterios estandarizados.

Este proceso de tamizado en húmedo y secado se sigue para garantizar que el polvo de porcelanato reciclado cumpla con los requisitos de tamaño de partícula necesarios para ser utilizado de manera adecuada en la fabricación de adoquines de concreto, lo que influye directamente en las propiedades físicas y mecánicas de los productos finales.

**Determinación del grado de finura del polvo de porcelanato reciclado.** Para evaluar la finura del material cerámico molido, se aplicó un procedimiento basado en los lineamientos establecidos en la norma NTP



334.046:2018, utilizando tres tamices de referencia. La evaluación se realizó individualmente para cada malla, aplicando las fórmulas normativas correspondientes.

El cálculo del residuo corregido ( $R_c$ ) y del porcentaje de finura ( $F$ ) se realizó mediante las siguientes expresiones matemáticas:

$$R_c = (R_t / W) \times (100 + C)$$

$$F = 100 - R_c$$

Donde:

- $F$  representa el porcentaje final de finura, indicando la proporción corregida de material que atraviesa el tamiz.
- $R_c$  es el residuo corregido expresado en porcentaje.
- $C$  corresponde al valor de corrección específico de cada tamiz, expresado como un porcentaje positivo o negativo.
- $W$  es el peso total de la muestra ensayada en gramos.
- $R_t$  indica el peso del residuo retenido sobre el tamiz en gramos.

Con estos datos se generó una tabla con los datos experimentales y el cálculo de la finura para cada malla, con lo cual se pudo verificar el comportamiento granulométrico del polvo de porcelanato reciclado con base técnica confiable.

**Tabla 7***Finura del polvo de porcelanato reciclado*

Tamiz	Rc (%)	F (%) (finura)
N°50	0.35 %	99.65 %
N°100	7.65 %	92.35 %
N°200	24.18 %	75.82 %

*Nota. Datos de laboratorio MEGACONTROL S.A.C.*

### **Determinación de la densidad del polvo de porcelanato reciclado**

Para la determinación de la densidad del material cerámico reciclado, se empleó el procedimiento establecido en la Norma Técnica Peruana NTP 334.005:2011, que corresponde al método estándar para determinar la densidad del cemento Portland. Esta elección metodológica se fundamenta en la similitud funcional del porcelanato molido respecto al cemento, ya que en esta investigación se utiliza como sustituto parcial en proporciones definidas.

Antes del ensayo se comprobó la densidad del queroseno (disolvente apolar del método), obteniéndose experimentalmente  $0.74 \text{ g/cm}^3$  para  $100 \text{ cm}^3$ , valor que se encuentra dentro de la norma ( $0.73 \text{ g/cm}^3$ ). Esto confirmó el solvente y se pudo proceder a medir el volumen desplazado.

Para el ensayo de densidad del polvo cerámico, se utilizaron cinco muestras independientes. Cada muestra fue introducida cuidadosamente en una probeta graduada que contenía un volumen inicial de  $150 \text{ cm}^3$  de queroseno, usando un embudo de vástago largo para evitar adherencias y minimizar errores por absorción en las paredes del recipiente. Luego de agregar exactamente 64 gramos de polvo de porcelanato por muestra, se agitó suavemente la probeta de

forma circular y se dejó reposar por 20 minutos, permitiendo estabilizar el volumen desplazado.

Los resultados obtenidos para las cinco muestras fueron los siguientes:

- Densidades individuales: 3.08, 3.02, 3.09, 3.04 y 3.02 g/cm<sup>3</sup>
- Densidad promedio: 3.05 g/cm<sup>3</sup>
- Desviación estándar: 0.03 g/cm<sup>3</sup>
- Coeficiente de variación (C.V.): 1.09 %

El bajo coeficiente de variación (<2 %) confirma la homogeneidad y reproducibilidad del procedimiento, lo que valida la confiabilidad de los datos. La densidad obtenida del polvo cerámico reciclado es técnicamente compatible con los valores requeridos para su uso en mezclas de concreto como adición cementante, sin alterar significativamente la relación agua-material cementante del diseño.

Con el objetivo de establecer un valor representativo y confiable de la densidad del material cerámico reciclado, se realizaron cinco réplicas experimentales bajo condiciones controladas de laboratorio. Esta estrategia permitió calcular la media aritmética, así como la desviación estándar y el coeficiente de variación, indicadores esenciales para validar la consistencia de los datos obtenidos.

El procedimiento consistió en registrar la masa del polvo (m) en gramos y el volumen de desplazamiento del queroseno (v) en centímetros cúbicos, aplicando la fórmula básica para el cálculo de densidad:

$$\rho = m / v$$

Donde:

$\rho$  = densidad del polvo en g/cm<sup>3</sup>

m = masa del polvo en gramos

v = volumen desplazado del kerosene en cm<sup>3</sup>

El valor promedio de densidad fue de 3.05 g/cm<sup>3</sup> con una desviación estándar de 0.03 g/cm<sup>3</sup> y un coeficiente de variación de 1.09 %, lo que demuestra la exactitud de la medición y la homogeneidad del material procesado. Este resultado es importante, ya que la densidad del polvo afecta el diseño volumétrico de las mezclas de concreto, en especial cuando se trata de un material reciclado y utilizado como sustituto parcial del cemento Portland, en el contexto de sostenibilidad y valorización de residuos.

**Tabla 8**

*Determinación de la densidad del polvo de porcelanato reciclado*

Muestra	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
M1	3.08
M2	3.02
M3	3.09
M4	3.04
M5	3.02
<b>Promedio</b>	<b>3.05</b>
<b>Desviación estándar (D.S.)</b>	<b>0.03</b>
<b>Coeficiente de variación (C.V.)</b>	<b>1.09%</b>

*Nota. Datos de laboratorio MEGACONTROL S.A.C.*

### **3.6.3. Evaluación de la absorción y contenido de humedad de los adoquines de concreto**

La determinación de los parámetros físicos como absorción y contenido de humedad en los adoquines de concreto requirió inicialmente la elaboración

de las muestras a analizar. Esta preparación previa fue necesaria para asegurar que los especímenes estuvieran en condiciones apropiadas para la determinación de tales propiedades.

#### **Elaboración de los adoquines:**

**Análisis de agregados.** Para la fabricación de los adoquines se inició con la caracterización de los materiales componentes, en especial los agregados. Para ello, se realizaron ensayos específicos tanto en el agregado grueso como en el fino, tales como granulometría por tamizado, peso específico, peso unitario seco suelto y compactado, contenido de humedad y capacidad de absorción. Todos estos procedimientos se realizaron bajo las NTP correspondientes, asegurando su trazabilidad y rigor.

**Tabla 9**

*Propiedades de los agregados*

<b>Propiedad</b>	<b>Agreg. Grueso</b>	<b>Agreg. Fino</b>
Humedad	4.02	2.88
Absorción	3.16	2.72
Módulo fineza	7.65	2.52
Peso unitario suelto	1403	1575
Peso unitario compactado	1509	1709
Tamaño máximo nominal	3/4"	-

*Nota. Datos de laboratorio MEGACONTROL S.A.C.*

**Diseño de mezclas.** La norma ACI Comité 211 sirvió de guía para el diseño de la mezcla, que se llevó a cabo utilizando datos de los ensayos de laboratorio. Se diseñó una mezcla para obtener una consistencia plástica y una resistencia  $f'c$  de 380 kg/cm<sup>2</sup>. El diseño se realizó para un volumen de un metro cúbico, teniendo en cuenta el contenido de humedad de los áridos y su

absorción. A continuación, se muestran los componentes necesarios para el hormigón estándar que se utilizará para construir los adoquines de prueba.

**Tabla 10**

*Diseño de mezclas 380kg/cm<sup>2</sup>*

<b>Componentes</b>	<b>Cantidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Proporción (C = 1)</b>
Cemento Rumi Tipo IP	411	1
Agregado fino (húmedo)	630	1.53
Agregado grueso (húmedo)	958	2.31
Agua	175.8	0.43

#### **Cálculo del volumen total y requerimiento de materiales**

Para los adoquines de los ensayos físicos y mecánicos se tomó en cuenta un volumen total de 0.1088 m<sup>3</sup>, que equivale a 68 adoquines de concreto tipo II. Cada adoquín tiene 0.20 m x 0.10 m x 0.08 m = 0.0016 m<sup>3</sup> de volumen.

Del total de adoquines, 17 fueron asignados al grupo patrón (sin sustitución de cemento), para un volumen específico de 0.0272 m<sup>3</sup>. Los 51 adoquines restantes se repartieron en tres tratamientos experimentales, en los cuales se sustituyó parcialmente el cemento por polvo de porcelanato reciclado en un 5 %, 10 %, 15 %, respectivamente.

Esta dispersión permitió definir la cantidad a utilizar por tratamiento y, de ahí, calcular los materiales requeridos: cemento, porcelanato reutilizado, arena fina, arena gruesa y agua. La dosificación se calculó en base al volumen por grupo, en términos de homogeneidad, control de variables y cumplimiento normativo.

El objetivo de esta etapa fue asegurar que las dosificaciones de sustitución se ajusten exactamente para garantizar condiciones repetibles en la elaboración de los adoquines para las pruebas posteriores de resistencia a la compresión, abrasión y físicas.

**Tabla 11***Diseño de mezclas  $f'c$  380 Kg/cm<sup>2</sup> + PR*

<b>Componentes</b>	<b>0 % RC</b>	<b>5 % RC</b>	<b>10 % RC</b>	<b>15 % RC</b>
Cemento (kg/m <sup>3</sup> )	411	390.45	369.9	349.35
Residuos cerámicos (kg/m <sup>3</sup> )	0	20.55	41.1	61.65
Agregado fino (kg/m <sup>3</sup> )	630	630	630	630
Agregado grueso (kg/m <sup>3</sup> )	958	958	958	958
Agua (L/m <sup>3</sup> )	175.8	175.8	175.8	175.8

*Nota. Datos de laboratorio MEGACONTROL S.A.C.*

Las especificaciones técnicas para cada tipo de mezcla se determinaron en base al protocolo de muestreo establecido, el cual consistió en elaborar 17 adoquines para un volumen total de 0.0272 m<sup>3</sup>.

Definidos los parámetros del diseño de mezcla (proporciones, consistencia, propiedades esperadas), se procedió a la elaboración controlada de los adoquines, en estricto cumplimiento de las especificaciones normativas y procedimentales para asegurar la reproducibilidad y validez experimental del estudio.

Proceso de elaboración y curado de los adoquines. Los adoquines se elaboraron de acuerdo al número de unidades por tratamiento experimental. Cada lote se preparó por separado para evitar cualquier interferencia o confusión en el momento de la evaluación físico-mecánica. Las unidades fueron codificadas tras el desmoldeo, asegurando su trazabilidad durante el proceso de



análisis. Se fabricaron 17 adoquines por tratamiento, para un total de 68 unidades, en los distintos niveles de sustitución propuestos. La mezcla de concreto se realizó en una mezcladora tipo trompo y el moldeado fue manual en moldes de dimensiones estandarizadas de 0.20 m de largo, 0.10 m de ancho y 0.08 m de alto. Una vez terminado el desmoldeo, las piezas fueron curadas por inmersión en agua en condiciones controladas de laboratorio, siguiendo las recomendaciones para piezas prefabricadas.

Medición de la absorción de agua. Para establecer el comportamiento higroscópico de los adoquines, se tomaron tres especímenes por tratamiento, incluyendo los del grupo patrón. Esta prueba se llevó a cabo una vez finalizado el tiempo total de curado, y posteriormente se secaron al aire durante 24 h. Luego, se siguió lo estipulado en la Norma Técnica Peruana NTP 339.604:2002.

Primero, las muestras se sumergieron completamente en agua durante 24 h. Se anotó su peso sumergido ( $W_i$ ), y a continuación se retiraron para escurrimiento superficial y secado con paño, obteniéndose el peso saturado ( $W_s$ ). Finalmente, las muestras se colocaron en una estufa a 115 °C por 24 h hasta peso constante, el cual se definió como peso seco ( $W_d$ ).

Con estos valores, se procedió al cálculo de la absorción en  $\text{kg/m}^3$  y %, mediante las siguientes fórmulas:

$$\text{Absorción (kg/m}^3\text{)} = [ (W_s - W_d) / (W_s - W_i) ] \times 1000$$

$$\text{Absorción (\%)} = [ (W_s - W_d) / W_d ] \times 100$$

Donde:



- **Ws** = Peso saturado del adoquín (kg)
- **Wd** = Peso seco al horno del adoquín (kg)
- **Wi** = Peso del adoquín sumergido en agua (kg)

Los resultados se compararon con los valores de referencia de la NTP 399.611:2010, como se especifica en los informes de laboratorio adjuntos.

Análisis de contenido de humedad. Para determinar el contenido de humedad en los adoquines se siguió la norma técnica peruana NTP 399.604:2002, que especifica los métodos para ensayos físicos en unidades de concreto. Para el análisis se tomaron tres adoquines por tratamiento (grupo control o patrón), las mismas unidades utilizadas en la determinación de absorción, para conservar la uniformidad experimental.

El método consistió en registrar tres pesos: saturado (Ws), que es el peso del adoquín después de sumergirlo durante 24 h; seco al horno (Wd), después de secado en estufa a 115 °C hasta peso constante; y recibido (Wr), que es el peso del adoquín tal como se recibe del medio ambiente, conservando su humedad natural.

Con estos valores se determinó el contenido de humedad utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Contenido de humedad (\%)} = [ (Wr - Wd) / (Ws - Wd) ] \times 100$$

Asimismo, se incluye nuevamente la fórmula para la **absorción porcentual**, como parámetro complementario:

$$\text{Absorción (\%)} = [ (Ws - Wd) / Wd ] \times 100$$



Donde:

- **Ws:** Peso del adoquín saturado en kg
- **Wd:** Peso del adoquín seco al horno en kg
- **Wr:** Peso del adoquín en estado recibido en kg

Los resultados son capaces de caracterizar el comportamiento higrotérmico del concreto en condiciones reales de exposición, lo que es fundamental para verificar su desempeño físico. La información desglosada por tratamiento se encuentra en los informes de laboratorio anexos a este estudio.

#### **3.6.4. *Análisis de la densidad y variación dimensional***

Densidad de los adoquines de hormigón. La densidad de los adoquines de concreto se estimó de acuerdo con la Norma Técnica Peruana NTP 399.604:2002, que normaliza los métodos para determinar las propiedades físicas en unidades de albañilería de concreto. En particular, se determinó la densidad seca al horno, una propiedad esencial para establecer la relación entre masa y volumen desplazado por la unidad constructiva en condiciones estabilizadas.

Para asegurar la misma metodología, se usaron los mismos tres adoquines por tratamiento de los ensayos anteriores (absorción y humedad). Esta elección se debe a la necesidad de estandarizar las mediciones experimentales. La determinación se llevó a cabo con los datos ya obtenidos: peso seco al horno ( $W_d$ ), peso saturado ( $W_s$ ) y peso sumergido en agua ( $W_i$ ).

La fórmula aplicada fue la siguiente.



**Densidad (D)** en  $\text{kg/m}^3 = W_d / (W_s - W_i) \times 1000$

Donde:

- **W<sub>d</sub>** = Masa del adoquín desecado al horno en kilogramos
- **W<sub>s</sub>** = Masa del adoquín saturado en kilogramos
- **W<sub>i</sub>** = Masa del adoquín sumergido en agua en kilogramos

Este cálculo permite determinar la densidad real de la unidad, excluyendo el efecto de la humedad superficial o interna. Los resultados obtenidos para cada tratamiento fueron comparados con los valores de referencia establecidos en la NTP 399.611:2010, los cuales se documentan en los reportes técnicos anexos al presente trabajo.

**Variación dimensional de los adoquines de concreto.** La evaluación de la variación dimensional de los adoquines de concreto se efectuó conforme a los procedimientos establecidos en la NTP 399.604:2002, y posteriormente se contrastaron los resultados con los criterios de aceptación estipulados en la NTP 399.611:2010. Estas normas definen los márgenes de tolerancia dimensional permitidos para considerar que una unidad cumple con los estándares de calidad requeridos.

Para la medición se usó un vernier con precisión de 0.01 mm, el cual es apropiado para asegurar mediciones exactas en las tres dimensiones ortogonales de cada adoquín. Las mediciones se tomaron en la porción media de cada cara para garantizar la uniformidad en la toma de datos. Se eligieron tres adoquines por tratamiento (grupo patrón o testigo) y se registraron sus medidas en cada arista de forma individual.

La verificación de los resultados se realizó comparando tres tipos de dimensiones:

- Medidas de fábrica.
- Tamaño efectivo, medido experimentalmente.
- Medidas nominales, estandarizadas por la normativa técnica.

El análisis de la variación dimensional se basó en determinar la diferencia entre las dimensiones reales y las de fabricación, considerando que estas últimas deben corresponderse con las dimensiones nominales prescritas para adoquines tipo II. Esta comparación verifica el cumplimiento de las tolerancias dimensionales que exige la NTP 399.611:2010.

Los resultados alcanzados y su nivel de cumplimiento normativo se muestran en la sección de resultados y en los informes técnicos adjuntos.

### **3.6.5. Evaluación de la compresión axial de los adoquines**

La evaluación de la resistencia a la compresión axial de los adoquines de concreto se llevó a cabo conforme a los lineamientos técnicos descritos en la Norma Técnica Peruana NTP 399.604:2010 (versión revisada en 2015). El análisis se centró en la resistencia bruta a la compresión, descartando el cálculo de valores netos, al ser esta medida la más apropiada para elementos no armados como los adoquines.

Para garantizar la representatividad estadística de los resultados, se sometieron a ensayo tres unidades por cada tratamiento, incluyendo el grupo patrón. Las pruebas se realizaron en tres edades específicas de curado: 7, 14 y



28 días, lo cual permitió analizar el desarrollo progresivo de la resistencia mecánica del concreto.

Inicialmente, se determinó el área bruta promedio ( $A_g$ ) de cada adoquín, utilizando la expresión:

$$\text{Área bruta } (A_g), \text{ mm}^2 = L \times W$$

donde  $L$  es el largo y  $W$  el ancho promedio, medidos en milímetros (mm). Posteriormente, los adoquines fueron extraídos del curado por inmersión y secados superficialmente antes de ser sometidos a carga axial en una prensa hidráulica calibrada, registrando la carga máxima de ruptura ( $P_{max}$ ) en Newtons (N).

La resistencia bruta a compresión se calculó mediante la fórmula:

$$Mpa = P_{max} / A_g$$

donde  $f_n$  representa el esfuerzo de compresión en megapascales (MPa),

$P_{max}$  es la carga máxima aplicada y  $A_g$  es el área bruta.

**Tabla 12**

*Normativa de carga axial en adoquines*

Característica Evaluada	Requisito Normativo	Norma de Referencia
Resistencia mínima a compresión axial	$\geq 380 \text{ kg/cm}^2$ (equiv. $\geq 37.26 \text{ MPa}$ )	NTP 399.611:2010 (rev. 2017), § 6.2
Método de ensayo	Ensayo a compresión axial de unidades individuales	NTP 399.604:2010 (rev. 2015), § 7.1
Número mínimo de unidades	3 unidades por tratamiento (edad: 28 días)	NTP 399.604:2010; ASTM C140/C140M

Evaluación del resultado	Promedio de 3 unidades $\geq$ 380 kg/cm <sup>2</sup> ; sin ninguna unidad < 85 %	NTP 399.611; ASTM C936
--------------------------	--	------------------------

---

Nota. NTP 399.604, (2010)

Los valores obtenidos en cada etapa de curado se detallan en la sección de resultados y están documentados en los informes de laboratorio anexos.

### **3.6.6. Evaluación de la abrasión de los adoquines**

La determinación de la resistencia a la abrasión de los adoquines se llevó a cabo siguiendo los procedimientos establecidos por la Norma Técnica Peruana NTP 399.624:2006 (revisada en 2015). El ensayo se ejecutó sobre unidades de concreto curadas durante 28 días, previamente extraídas del proceso de inmersión en agua. Para cada tratamiento, incluido el grupo patrón, se seleccionaron tres adoquines, garantizando la uniformidad en el análisis comparativo.

Cada adoquín fue seccionado en seis briquetas mediante corte mecánico estandarizado, empleando una herramienta rotatoria de alta precisión. Las dimensiones de las briquetas —área transversal y altura— fueron medidas utilizando un vernier digital con resolución de 0.01 mm, a fin de garantizar una caracterización exacta del área de desgaste.

El procedimiento de abrasión se ejecutó en una máquina rotatoria calibrada, operando a 75 revoluciones por minuto durante un minuto. Posteriormente, se registró la profundidad del desgaste con una precisión de 0.1 mm, cuantificando la pérdida volumétrica en centímetros cúbicos por cada 50 cm<sup>2</sup> de superficie. Esta métrica fue comparada con los umbrales establecidos



por la NTP 399.611:2010, que establecen como límites aceptables: una pérdida máxima de 3 mm de profundidad y 15 cm<sup>3</sup> de volumen.

Los resultados obtenidos permitieron evaluar la conformidad de cada muestra con la normativa vigente y se detallan en la sección de resultados, así como en los respectivos informes de laboratorio anexos.

### Tabla 13

#### *Normativa de abrasión de adoquines*

Ensayo	Requisito Normativo	Norma de Referencia
Pérdida de volumen	$\leq 15 \text{ cm}^3$ por cada 50 cm <sup>2</sup> de superficie	NTP 399.611, 6.3.1; NTP 399.625
Profundidad del desgaste	$\leq 3 \text{ mm}$ de pérdida de espesor promedio	NTP 399.611, 6.3.1; NTP 399.625
Tipo de adoquín	Tipo II: para tránsito vehicular ligero (mínimo 350 kg/cm <sup>2</sup> f'c)	NTP 399.611

Nota. NTP 399.604, (2010)



## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. Aspectos generales del proyecto denominación

El presente estudio se desarrolló en la provincia de San Román, ubicada en el departamento de Puno, con una altitud promedio de 3827 m s. n. m. La provincia limita al norte con la provincia de Lampa, al este con la provincia de Azángaro y el lago Titicaca, al sur con la provincia de El Collao, y al oeste con la región Arequipa.

- Localidad: San Román
- Provincia: San Román
- Departamento: Puno

##### 4.1.1. Vías de acceso

Para acceder a la provincia de San Román, se cuenta principalmente con dos opciones de transporte:

La primera es aérea, a través del aeropuerto Inca Manco Cápac, ubicado en la ciudad de Juliaca, que conecta con vuelos regulares desde Lima, con una distancia aproximada de 845 km.

La segunda es terrestre, mediante la Carretera Longitudinal de la Sierra Sur (Ruta PE-34A), que comunica a Juliaca con otras ciudades del sur del país, como Arequipa, Cusco y Puno.

## 4.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS

### 4.2.1. Caracterización del agregado natural (CANTERA CUTIMBO)

La figura siguiente ilustra el comportamiento granulométrico del material del agregado natural de la cantera CUTIMBO, determinado a partir de los ensayos ejecutados conforme al protocolo de laboratorio establecido.:

### 4.2.2. Análisis granulométrico de agregados gruesos:

Las pruebas se realizaron conforme a los estándares establecidos por las normas americanas (ASTM D422 y C136, así como MTC E107 y E204). Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 14:

**Tabla 14**

*Resultado del análisis granulométrico AG*

Malla pulg Ø	Abertura mm	Pesos Retenidos (gr)	% Parciales Retenidos	% Acumulados Retenidos	% Acum. que pasan	ACTM C33	
						Lim. Inf.	Lím. Sup.
4"	101.60	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
3 1/2"	90.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
2 1/2"	63.50	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
2"	50.60	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100

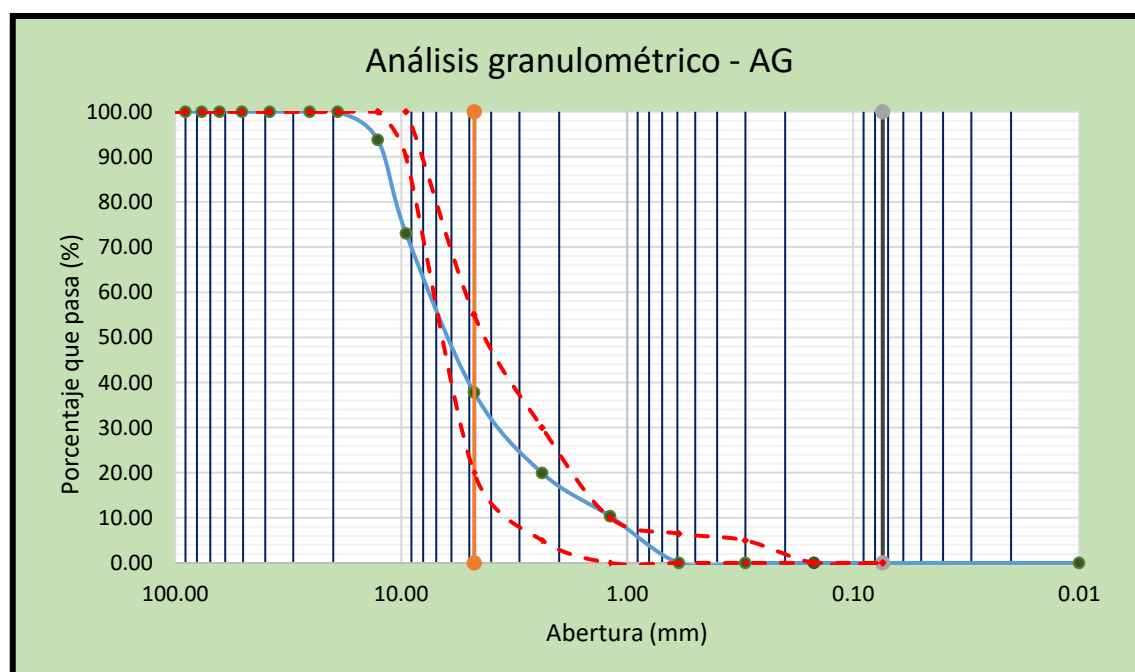
1/2"	12.70	90.32	6.23	6.23	93.77	100	100
3/8"	9.53	300.00	20.70	26.93	73.07	90	100
# 4	4.76	511.23	35.27	62.21	37.79	20	55
# 8	2.38	258.86	17.86	80.07	19.93	5	30
# 16	1.19	138.90	9.58	89.65	10.35	0	10
# 30	0.59	150.00	10.35	100.00	0.00	0	6.5
# 50	0.30	0.00	0.00	100.00	0.00	0	5
# 100	0.15	0.00	0.00	100.00	0.00	0	0
#200	0.07	0.00	0.00	100.00	0.00	0	0
Fondo	0.01	0.00	0.00	100.00	0.00		
<b>P. Total=</b>		1449.31	100.00				

MF	TMN
7.65	3/4"

**Figura 9**

*Curvas Granulométrica*



**Interpretación:** El análisis granulométrico del agregado grueso (AG) proveniente de la cantera Cutimbo reveló un módulo de finura de 7.65 y un tamaño máximo nominal (TMN) de 3/4", lo cual es coherente con lo establecido por la norma ASTM C33 para agregados destinados a concretos estructurales. La curva granulométrica del AG se ubica dentro de los límites permisibles, sin

presencia significativa de partículas finas menores al tamiz #30, lo que garantiza una buena trabajabilidad y mínima demanda de agua.

Además, el 100 % del material pasa por el tamiz de 3/4", lo que confirma su clasificación como agregado grueso y su adecuada distribución dentro de la franja de diseño, asegurando un esqueleto granular compacto para el concreto. Esta distribución favorece la reducción de vacíos y mejora la resistencia mecánica del adoquín.

#### 4.2.3. Análisis granulométrico del agregado fino:

Estas pruebas fueron llevadas a cabo siguiendo las normativas (ASTM.D422 y C136, MTC-E107 y E204); los resultados se muestran en tabla siguiente:

**Tabla 15**

*Resultado del análisis granulométrico del AF*

Malla pulg Ø	Abertura mm	Pesos Retenidos g	% Parciales Retenidos	% Acumulados Retenidos	% Acum. que pasan	ACTM C33		mm	% Acum. que pasan
						Lim. Inf.	Lím. Sup.		
4"	101.60	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100	101.60	100.00
3 1/2"	90.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100	90.00	100.00
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100	76.20	100.00
2 1/2"	63.50	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100	63.50	100.00
2"	50.60	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100	50.60	100.00
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100	38.10	100.00
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100	25.40	100.00
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100	19.05	100.00
1/2"	12.70	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100	12.70	100.00
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100	9.53	100.00
# 4	4.76	0.00	0.00	0.00	100.00	95	100	4.76	100.00
# 8	2.38	489.55	22.24	22.24	77.76	80	100	2.38	77.76
# 16	1.19	319.01	14.49	36.74	63.26	50	85	1.19	63.26
# 30	0.59	449.20	20.41	57.15	42.85	25	60	0.59	42.85
# 50	0.30	489.33	22.23	79.38	20.62	5	30	0.30	20.62

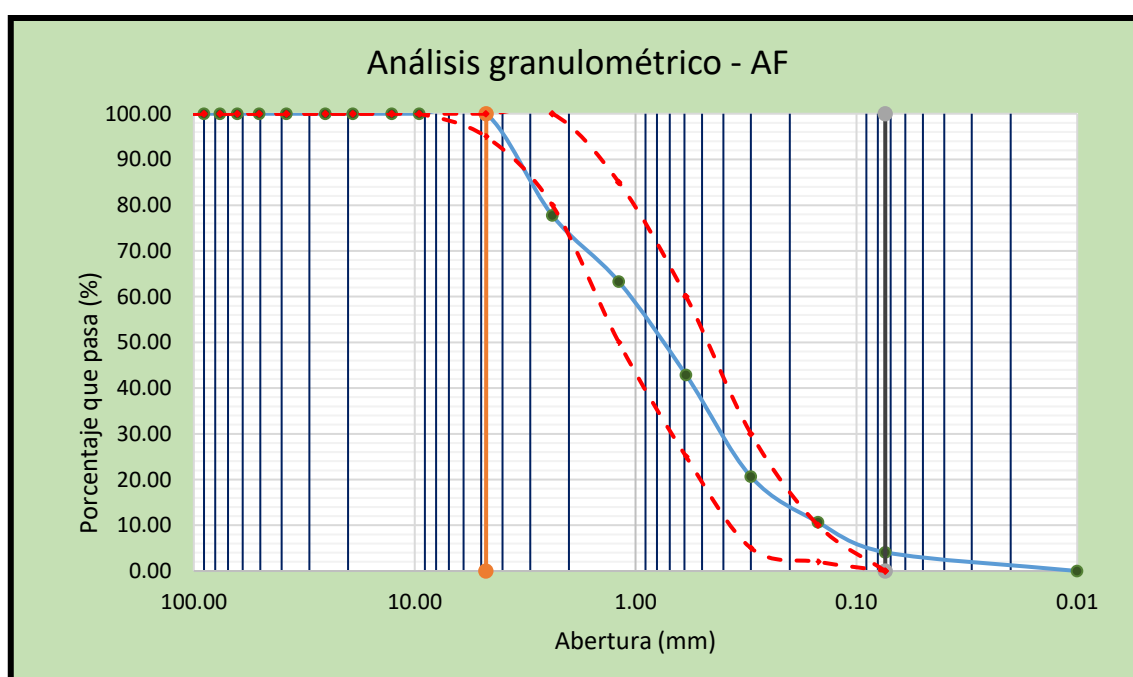
# 100	0.15	219.32	9.97	89.35	10.65	2	10	0.15	10.65
#200	0.07	144.32	6.56	95.91	4.09	0	0	0.07	4.09
Fondo	0.01	90.12	4.09	100.00	0.00			0.01	0.00
<b>P. Total=</b>		2200.85	100.00						

MF
2.52

**Figura 10**

*Curvas Granulométrica*



**Interpretación:** El agregado fino (arena) analizado mostró un módulo de finura (MF) de **2.52**, correspondiente a una arena de granulometría media según la clasificación de la norma ASTM C33. El tamaño máximo nominal del agregado fino se ubica en 3/8", y la curva de porcentaje acumulado que pasa por cada tamiz cumple con los límites establecidos por dicha norma.

El 100 % del material pasa por el tamiz #4, y el contenido que pasa por el tamiz #200 es de 4.09 %, dentro del rango permitido ( $\leq 5$  %). Esta granulometría es adecuada para lograr una buena trabajabilidad, adherencia con la pasta

cementicia y una compactación eficiente. Su curva de distribución se ubica dentro de la zona óptima, contribuyendo a una mezcla bien graduada y al desarrollo de una estructura densa en el concreto.

#### 4.2.4. Contenido de humedad:

Estas evaluaciones se realizaron conforme a lo establecido por las normas ASTM D2216 y MTC E108. Los resultados correspondientes se muestran en la tabla 16 a continuación:

**Tabla 16**

*Ensayo del contenido de humedad del agregado grueso*

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	M1 - N°1	M2 - N°2	M3 - N°3	CANTERA
1	Peso del recipiente	g	0.00	0.00	0.00	CUTIMBO
2	Peso del recipiente + muestra húmeda	g	506.32	504.20	500.64	
3	Peso del recipiente + muestra seca	g	486.80	486.25	495.98	
4	CONTENIDO DE HUMEDAD	%	4.01	3.69	0.94	
Promedio			2.88			

**Interpretación:** De la tabla 16 se observa el análisis del contenido de humedad del agregado grueso proveniente de la cantera Cutimbo arrojó un valor promedio de 2.88 %, obtenido a partir de tres muestras representativas. Este valor es fundamental para realizar las correcciones respectivas en la dosificación del agua y el agregado durante el diseño de mezcla, con el fin de garantizar una relación agua/cemento (a/c) adecuada y asegurar la trabajabilidad, durabilidad y resistencia del concreto.

Aunque una de las muestras presentó un valor atípicamente bajo (0.94 %), el promedio general es consistente con lo esperado para condiciones

ambientales típicas de la región de Puno, y está dentro del rango aceptable para agregados almacenados en condiciones parcialmente secas.

**Tabla 17**

*Ensayo del contenido de humedad del agregado fino*

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	M1 - N°1	M2 - N°2	M3 - N°3	CANTERA
1	Peso del recipiente	g	0.00	0.00	0.00	CUTIMBO
2	Peso del recipiente + muestra húmeda	g	522.23	514.00	529.60	
3	Peso del recipiente + muestra seca	g	501.85	499.90	503.52	
4	CONTENIDO DE HUMEDAD	%	4.06	2.82	5.18	
Promedio			4.02			

**Interpretación:** En el caso de la tabla 17 del agregado fino, el contenido de humedad promedio determinado fue de 4.02 %, considerando tres ensayos individuales. Este valor es más elevado que el del agregado grueso, lo cual es normal debido a la mayor área superficial específica del material fino, que tiende a retener más agua por adsorción.

La presencia de humedad en la arena es un factor crítico que influye directamente en la cantidad de agua efectiva disponible en la mezcla; por tanto, es necesario realizar la corrección del agua de mezcla para evitar un exceso de fluidez o pérdida de resistencia. Este valor se encuentra dentro de los límites operativos y respalda un control adecuado del material antes de su uso en obra.

#### **4.2.5. Pesos específicos y absorción de agregados:**

La determinación del peso específico y la absorción de agua de los agregados utilizados en la mezcla se realizó conforme a los procedimientos técnicos establecidos en las normas MTC E-205 y MTC E-206); se encuentran en tabla 18.

**Tabla 18***Pesos específicos y absorción del agregado grueso*

DATOS / N° DE PRUEBA	1	2
A Masa de la muestra seca en el horno	825.34	522.45
B Masa de la muestra al aire SSD	842.12	540.30
C Masa de la muestra sumergida	505.23	328.10

RESULTADOS	1	2	PROMEDIO
Densidad Relativa (Gravedad específica OD)	2.450	2.462	2.46
Densidad Relativa (Gravedad específica SSD)	2.50	2.55	2.52
Densidad Relativa Aparente (Gravedad específica)	2.578	2.688	2.63
Absorción (%)	2.033	3.417	2.72

**Interpretación:** De la tabla 18 el agregado grueso evaluado mostró una densidad relativa promedio (gravedad específica) de 2.46 en condición seca (OD), 2.52 en condición saturada y superficialmente seca (SSD), y una densidad relativa aparente de 2.63. Estos valores se encuentran dentro de los rangos esperados para gravas de origen pétreo natural, lo cual respalda su idoneidad como componente estructural en el diseño del concreto.

Respecto a la absorción de agua, el valor promedio obtenido fue de 2.72 %, lo que indica una capacidad moderada de absorción, típica de agregados con textura rugosa o porosidad media. Este porcentaje es crucial para el ajuste del agua efectiva en la mezcla, con el fin de asegurar la relación a/c proyectada. El control de este parámetro garantiza una mezcla más estable, sin pérdidas significativas de resistencia ni problemas de trabajabilidad.

**Tabla 19***Pesos específicos y absorción del agregado fino*

DATOS / N° DE PRUEBA	1	2
Peso de la arena SSS+P. del picnómetro + A P. del agua	832.52	440.12
B Peso de la arena SSS+P. del picnómetro	430.00	340.21



C	Peso del agua	402.52	99.91
D	Peso de la arena secada al horno+ P. del picnómetro	962.11	350.78
E	Peso del picnómetro	170.00	72.90
F	Peso de la arena secada al horno	254.88	246.55
G	Volúmen del picnómetro	510.32	200.01
H	Peso de la muestra de arena SSS	256.12	260.91

RESULTADOS	1	2	PROMEDIO
Peso específico de masa PEM	2.36	2.46	2.41
P.E. de masa saturada SSS	2.38	2.61	2.49
P.E. aparente PEA	2.39	2.88	2.63
Absorción (%)	0.49	5.82	3.16

**Interpretación:** De la tabla 19 se encontró en cuanto al agregado fino, se obtuvo un peso específico promedio de 2.41 en condición seca, 2.49 en condición SSD, y un peso específico aparente de 2.63. Estos valores son indicativos de una arena silíceica de buena calidad, proveniente de la cantera Cutimbo, con características físicas aptas para su uso en elementos de concreto como adoquines.

No obstante, se identificó una absorción media elevada de 3.16 %, con valores extremos de 0.49 % y 5.82 %. Esta variabilidad sugiere posibles diferencias en la granulometría o humedad inicial de las muestras. Debido a esto, se recomienda un control más riguroso de la humedad del agregado fino durante la dosificación para evitar sobrehidratación o mezclas secas. La absorción también deberá considerarse para ajustar la cantidad de agua efectiva en la mezcla final.

#### 4.2.6. *Peso unitario suelto y compactado:*

Las pruebas se ejecutaron siguiendo las especificaciones establecidas por las normas MTC E203 y ASTM C29. Los resultados obtenidos para los pesos unitarios en estado suelto y compactado se detallan en la siguiente tabla 20:

**Tabla 20**

*Peso unitario suelto y compactado de los agregados gruesos*

PESO UNITARIO SUELTO ASTM C 29				
ENSAYO	UND	1	2	3
PESO DEL MATERIAL + MOLDE	gr.	24880	24888	24900
PESO DEL MOLDE	gr.	5049	5049	5049
PESO DEL MATERIAL SUELTO	gr.	19831	19844	19826
VOLUMEN DEL MOLDE	cm <sup>3</sup>	14137	14137	14137
PESO UNITARIO SUELTO	Kg/m <sup>3</sup>	1403	1404	1402
<b>PROMEDIO</b>	<b>Kg/m<sup>3</sup></b>		<b>1403</b>	

PESO UNITARIO COMPACTADO ASTM C 29				
ENSAYO	UND	1	2	3
PESO DEL MATERIAL + MOLDE	gr.	26371	26345	26384
PESO DEL MOLDE	gr.	5049	5049	5049
PESO DEL MATERIAL COMPACTADO	gr.	21321	21300	21360
VOLUMEN DEL MOLDE	cm <sup>3</sup>	14137	14137	14137
PESO UNITARIO COMPACTADO	Kg/m <sup>3</sup>	1508	1507	1511
<b>PROMEDIO</b>	<b>Kg/m<sup>3</sup></b>		<b>1509</b>	

**Interpretación:** En la tabla 20 el agregado grueso proveniente de la cantera Cutimbo presentó un peso unitario suelto promedio de 1403 kg/m<sup>3</sup> y un peso unitario compactado de 1509 kg/m<sup>3</sup>, conforme al procedimiento normalizado por la ASTM C29 y la norma MTC E203.

Esta diferencia entre ambas condiciones evidencia una buena capacidad de acomodo del agregado cuando es sometido a vibración o compactación, lo cual favorece una mejor densificación del concreto. Además, estos valores se

encuentran dentro del rango esperado para gravas naturales angulares de tamaño máximo de  $\frac{3}{4}$ ", lo que ratifica su adecuada granulometría y textura superficial rugosa.

Su uso contribuye a un concreto con menores vacíos y mayor resistencia mecánica, siempre que se tenga en cuenta la compactación durante el vaciado en moldes o en obra.

**Tabla 21***PUC Peso unitario suelto y compactado de los agregados finos*

PESO UNITARIO SUELTO ASTM C 29				
ENSAYO	UND	1	2	3
PESO DEL MATERIAL + MOLDE	gr.	13039	13020	13045
PESO DEL MOLDE	gr.	7995	7995	7995
PESO DEL MATERIAL SUELTO	gr.	5049	5037	5092
VOLUMEN DEL MOLDE	cm <sup>3</sup>	3212	3212	3212
PESO UNITARIO SUELTO	Kg/m <sup>3</sup>	1572	1568	1585
<b>PROMEDIO</b>	<b>Kg/m<sup>3</sup></b>		<b>1575</b>	

PESO UNITARIO COMPACTADO ASTM C 29				
ENSAYO	UND	1	2	3
PESO DEL MATERIAL + MOLDE	gr.	13485	13420	13498
PESO DEL MOLDE	gr.	7995	7995	7995
PESO DEL MATERIAL COMPACTADO	gr.	5490	5481	5500
VOLUMEN DEL MOLDE	cm <sup>3</sup>	3212	3212	3212
PESO UNITARIO COMPACTADO	Kg/m <sup>3</sup>	1709	1706	1712
<b>PROMEDIO</b>	<b>Kg/m<sup>3</sup></b>		<b>1709</b>	

**Interpretación:** Para la tabla 21 el agregado fino, se determinó un peso unitario suelto promedio de 1575 kg/m<sup>3</sup> y un peso unitario compactado de 1709 kg/m<sup>3</sup>, según los procedimientos indicados en la norma ASTM C29.

El aumento del peso unitario tras la compactación demuestra una alta capacidad de reorganización de las partículas finas, lo cual es favorable para



lograr una mezcla cohesiva, trabajable y con baja segregación. Estos resultados también son consistentes con la naturaleza del material (arena natural) y su módulo de finura moderado ( $MF = 2.52$ ), que indica una buena distribución de tamaños.

La adecuada densidad del agregado fino también es determinante para estimar con mayor precisión las proporciones por volumen en el diseño de mezcla, mejorando la estabilidad dimensional y el rendimiento por  $m^3$  de concreto.

#### **4.2.7. Diseño de mezcla de la muestra patrón**

Finalizado el análisis de los agregados provenientes de la cantera seleccionada, se procedió a formular la mezcla patrón para la producción de adoquines de concreto vibrado. Los materiales empleados fueron cemento Portland Rumi Tipo IP, agregado fino (arena natural) y agregado grueso (grava angular y subangular).

El proceso empezó con diseño de mezcla utilizando método de Módulos de Finezas para  $f'c = 380 \text{ kg/cm}^2$ .

##### **4.2.7.1. Método de Diseño de Comité 211 del ACI**

La resistencia requerida a compresión fue de  $f'c = 380 \text{ kg/cm}^2$  (38 MPa), con base en la durabilidad esperada del adoquín en condiciones de carga moderada.

Dado que no se dispone de desviación estándar previa, se aplicó la fórmula del ACI 318 para determinar la resistencia promedio.

$$f'_{cr} = f'c + 8.5 = 41.843 \text{ MPa}$$

#### 4.2.7.2. Selección del Tamaño Máximo Nominal y asentamiento:

Se seleccionó un agregado de 3/4" de tamaño máximo nominal, adecuado para elementos de pequeña sección como adoquines. El asentamiento requerido fue de 3" a 4", considerando el uso de mezclas semi-secas para compactación mecánica en moldes.

#### 4.2.7.3. Volumen del agua y aire atrapado

De acuerdo con el ACI 211.1, para mezclas con grava angular de 3/4" y asentamiento de 3", el contenido de agua recomendado es:

- Agua de mezcla estimada: 185 kg/m<sup>3</sup>
- Contenido de aire atrapado: 1.5 %

#### 4.2.7.4. Relación Agua – Cemento

Aplicando una relación  $a/c = 0.45$ , determinada por interpolación en la tabla ACI para  $f'_{cr} = 41.843$  MPa, se obtuvo:

$$\text{Cemento} = 185 / 0.45 \approx 411 \text{ kg/m}^3$$

#### 4.2.7.5. Volúmenes absolutos

El cálculo de volúmenes absolutos se realizó según la densidad de cada componente:

- Cemento:  $411 / 2800 \approx 0.147 \text{ m}^3 \approx 0.147$
- Agua:  $185 / 1000 = 0.185 \text{ m}^3$
- Aire atrapado: 0.015 m<sup>3</sup>
- Volumen restante para agregados:



$$1 - (0.147 + 0.185 + 0.015) = 0.653 \text{ m}^3$$

Según el módulo de finura del agregado fino ( $M_f = 2.52$ ), se estableció una proporción agregada de 60 % grava y 40 % arena en volumen.

- Arena ( $0.261 \text{ m}^3 \times 2410 \text{ kg/m}^3$ ) = **629 kg/m<sup>3</sup>**
- Grava ( $0.392 \text{ m}^3 \times 2420 \text{ kg/m}^3$ ) = **949 kg/m<sup>3</sup>**

#### 4.2.7.6. Correcciones por Humedad de Agregados

Dado que los agregados presentan humedad natural, se corrigieron los pesos secos con la fórmula:

$$P. \text{ Hum} = \text{Peso seco} \times (1 + (\text{Hum.} - \text{Abs.}) / 100)$$

	Material	Humedad (%)	Absorción (%)	Corrección
	Arena	2.88	2.72	+0.16 %
	Grava	4.02	3.16	+0.86 %

- Arena húmeda:  $629 \times (1 + 0.0016) = 630.0 \text{ kg/m}^3$
- Grava húmeda:  $949 \times (1 + 0.0086) = 957.9 \text{ kg/m}^3$

Aportes de agua de los agregados:

- Arena:  $629 \times 0.0016 = 1.0 \text{ kg}$
- Grava:  $949 \times 0.0086 = 8.2 \text{ kg}$
- Total, agua aportada = 9.2 kg

$$\text{Agua efectiva} = 185 - 9.2 \approx 175.8 \text{ kg/m}^3$$

#### 4.2.7.7. Dosificación final corregida

Material	Cantidad (kg/m <sup>3</sup> )
Cemento	411
Agregado fino húmedo	630
Agregado grueso húmedo	958
Agua efectiva	175.8
Aire atrapado	1.5 % (volumen)

Proporción final

Cem : A. Fino : A. Grueso = 1 : 1.53 : 2.31

1.53 volúmenes de arena

2.31 volúmenes de grava

Con el valor numérico obtenido, se calculan las proporciones de cada material por metro cúbico. Estos componentes se utilizarán en la formulación de las mezclas estándar, como se muestra en la tabla siguiente:

**Tabla 22**

*Componente para diseño de adoquín de concreto por m<sup>3</sup>*

COMPONENTES	ADOQUINES DEL CONCRETO PATRON	PROPORCIONES EN VOLUMENES
Cemento rumi Tipo I	411kg/m <sup>3</sup>	1
Árido Fino	630kg/m <sup>3</sup>	1.53
Áridos Gruesos	958kg/m <sup>3</sup>	2.33
Agua	175.8Lt/m <sup>3</sup>	0.43

#### Diseño de mezcla con adición de residuos cerámicos

Basándose en la dosificación base ( $411 \text{ kg/m}^3$  de cemento), se elaboraron cuatro mezclas: una mezcla patrón (0 % RC) y tres mezclas con reemplazo parcial del cemento por residuos cerámicos en las proporciones del 5 %, 10 % y 15 % (en peso). La tabla 1 muestra las cantidades utilizadas en la mezcla patrón, mientras que la tabla 2 presenta las composiciones modificadas con RC.

En todos los casos, se mantuvieron constantes los volúmenes de agregados y agua, así como la relación agua/cemento (0.43) establecida desde la formulación base. De esta forma, se puede evaluar el efecto del RC en propiedades como resistencia a compresión, absorción y durabilidad, sin modificar otros factores de diseño.

**Tabla 23**

*Composición para adoquín de concreto con PR por m<sup>3</sup>*

Componentes	0 % PR	5 % PR	10 % PR	15 % PR
Cemento ( $\text{kg/m}^3$ )	411	390.45	369.9	349.35
Residuos cerámicos ( $\text{kg/m}^3$ )	0	20.55	41.1	61.65
Agregado fino ( $\text{kg/m}^3$ )	630	630	630	630
Agregado grueso ( $\text{kg/m}^3$ )	958	958	958	958
Agua ( $\text{L/m}^3$ )	175.8	175.8	175.8	175.8

#### 4.3. Proceso de obtención de porcelanato reciclado

Con el objetivo de incorporar residuos cerámicos de porcelanato como material alternativo en reemplazo parcial del cemento, se aplicó un procedimiento técnico-metodológico que garantiza la limpieza, reducción

granulométrica y adecuada manipulación del residuo. Este proceso se desarrolló siguiendo criterios sustentados en investigaciones similares, Martínez et al., 2020; López & Herrera, (2022) y recomendaciones técnicas de la norma ASTM C618 sobre materiales puzolánicos suplementarios.

#### **4.3.1. Recolección del material cerámico**

El residuo fue obtenido de porcelanatos descartados por rotura en empresas locales de venta de revestimientos y cerámicos de la ciudad de Puno, los cuales estaban libres de adhesivos, pinturas u otros contaminantes. Según López y Martínez (2021), la selección del residuo cerámico es crucial, pues residuos con alto contenido de esmalte o contaminantes afectan negativamente la hidratación del cemento.

#### **Figura 11**

*Recolección del material cerámico*



*Nota.* (S/f). Freepik.es. Recuperado el 17 de julio de 2025, de [https://www.freepik.es/fotos-premium/vertedero-basura-plastica-o-vertedero-o-concepto-contaminacion\\_37256867.htm](https://www.freepik.es/fotos-premium/vertedero-basura-plastica-o-vertedero-o-concepto-contaminacion_37256867.htm)

#### 4.3.2. *Limpieza y pretratamiento*

Los residuos fueron lavados con agua limpia y cepillados para remover impurezas visibles. Posteriormente, se dejaron secar al ambiente por 24 horas. Este proceso es similar al descrito por Ramírez et al. (2019), quienes demostraron que la limpieza inicial mejora la reactividad del residuo.

#### Figura 12

*Limpieza y tratamiento de los porcelanatos reciclados*



#### 4.3.3. *Trituración y molienda*

Se realizó una trituración primaria en chancadora de mandíbula, seguida de una molienda en molino de bolas por 4 horas, hasta alcanzar una finura comparable al cemento Portland. La literatura sugiere que la reactividad puzolánica del polvo cerámico mejora significativamente cuando pasa el 90 % por el tamiz N°200 (0.075 mm), Medina et al. (2017).

**Figura 13**

*Trituradora de mandíbulas de abertura fina*



*Nota.* Laboratorio MEGACONTROL S.A.C.

#### **4.3.4. Tamizado**

El material molido fue tamizado en malla ASTM N°200, eliminando partículas gruesas. Según la norma ASTM C618, para que un material sea considerado puzolana natural, debe tener una finura tal que al menos el 75 % pase el tamiz N°325. Aunque el residuo cerámico no es una puzolana tradicional, su comportamiento físico y químico es comparable si se alcanza una finura alta, Silva & Palomino (2021).

**Figura 14**

*Tamizado de porcelanato triturado malla N°200*



#### **4.3.5. Densidad y finura del polvo de porcelanato reciclado**

Los resultados para densidad y análisis de finura del porcelanato reciclado se muestran en las tablas siguientes. Estos parámetros físicos son determinantes para analizar la viabilidad del polvo cerámico como reemplazante parcial del cemento en la fabricación de adoquines de concreto tipo II.

La densidad se determinó por desplazamiento de queroseno, de acuerdo con la NTP 334.005:2011, y la finura por tamizado en vía húmeda, de acuerdo con la NTP 334.046:2018. Ambas propiedades definen el comportamiento físico del material en la mezcla cementicia y, por ende, determinan la resistencia y trabajabilidad del concreto.

**Tabla 24**

*Densidad del porcelanato reciclado*

<b>Muestra</b>	<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>
M1	3.08
M2	3.02
M3	3.09
M4	3.04
M5	3.02

Promedio	3.05
Desviación estándar (D.S.)	0.03
Coefficiente de variación (C.V.)	1.09%

Nota. Datos de laboratorio MEGACONTROL S.A.C.

**Interpretación:** La Tabla 24 muestra los resultados de la densidad del polvo de porcelanato reciclado obtenidos a partir de cinco muestras independientes. El valor promedio fue de  $3.05 \text{ g/cm}^3$ , lo cual es ligeramente superior al del cemento Portland común ( $\approx 3.10\text{--}3.15 \text{ g/cm}^3$ ). Esta densidad indica que el polvo cerámico posee una masa específica relativamente alta, lo que puede contribuir favorablemente al peso específico del concreto, sin afectar de forma significativa su trabajabilidad.

La desviación estándar baja (0.03) y un coeficiente de variación del 1.09 % reflejan una excelente homogeneidad en las muestras, lo que respalda la consistencia del proceso de trituración y tamizado para el reciclaje del porcelanato.

**Tabla 25**

*Finura del polvo de porcelanato reciclado*

Tamiz (N°)	Peso retenido (g)	Peso retenido parcial (%)	retenido acumulado (%)	Acumulado que pasan (%)
50.00	63.00	31.03	31.03	68.97
100.00	85.00	41.87	72.91	27.09
200.00	40.00	19.70	92.61	7.39
Fondo	15.00	7.39	100.00	0.00
		100.00		

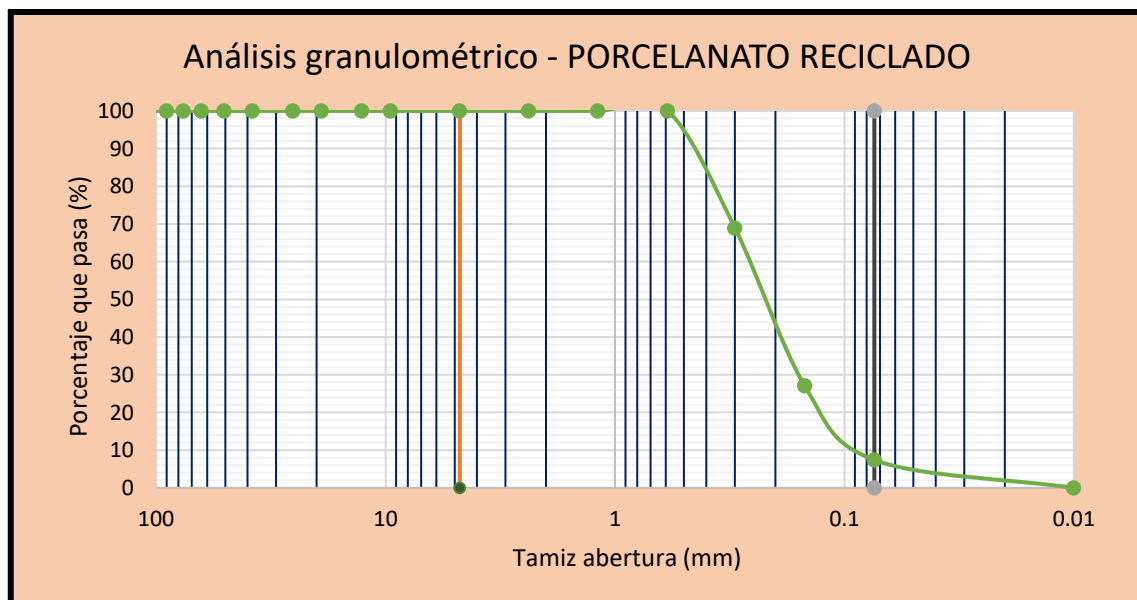
Nota. Datos de laboratorio MEGACONTROL S.A.C.

**Interpretación:** En la Tabla 25 se puede observar la distribución granulométrica del polvo cerámico reciclado (PPR), donde el 68.97 % pasa por el tamiz N°50, lo que evidencia la predominancia de partículas de tamaño medio

a fino. Pero solo el 7.39 % pasa por el tamiz N°200, muy por debajo del mínimo del 75 % que exige la norma ASTM C618 para ser considerada una adición puzolánica reactiva. Esto indica que el PPR no es químicamente reactivo como puzolana, pero puede tener una función física en la mezcla, actuando como microrelleno que mejora la compactación y densidad del concreto.

### Figura 15

*Gráfico de finura del polvo de porcelanato reciclado*



*Nota.* Datos de laboratorio MEGACONTROL S.A.C.

**Interpretación:** El gráfico correspondiente a la Figura 15 visualiza la curva de distribución de tamaño de partícula del PPR. La curva presenta una pendiente intermedia y una transición progresiva entre tamices, lo que sugiere una distribución continua sin grandes saltos granulométricos.

Esta curva confirma que el polvo de porcelanato reciclado tiene una gradación estable, apta para ser empleado como material de relleno mineral inerte, reduciendo la porosidad del sistema cemento-agregado sin comprometer la trabajabilidad.

#### 4.3.6. Almacenamiento

El polvo cerámico fue almacenado en envases plásticos herméticos, etiquetados y protegidos de humedad. De acuerdo con la experiencia de García et al. (2020), el almacenamiento en condiciones secas y controladas evita la absorción prematura de humedad y conserva las propiedades físicas del residuo.

#### 4.4. Absorción y contenido de humedad de adoquines de concreto con sustitución de porcelanato reciclado

##### A. Absorción

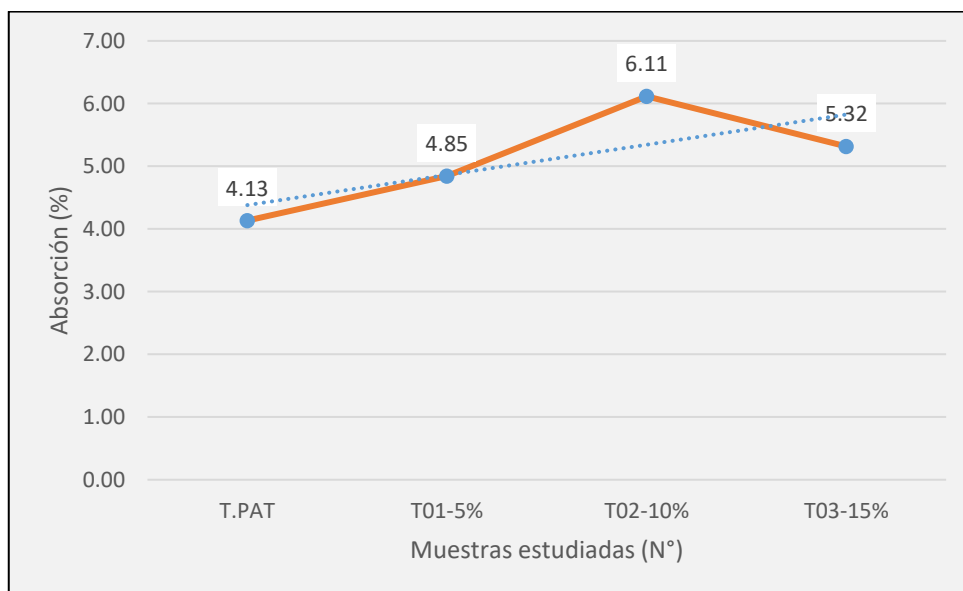
Las tablas y figuras siguientes presentan los resultados obtenidos en cuanto a la absorción y el contenido de humedad de los adoquines de concreto.

**Tabla 26**

*Absorción de los adoquines de concreto con sustitución de porcelanato reciclado*

<b>Muest. Estud.</b>	<b>Absorción prom. (%)</b>
T.PAT	4.13
T01-5%	4.85
T02-10%	6.11
T03-15%	5.32

*Nota.* Datos de laboratorio MEGACONTROL S.A.C.

**Figura 16***Absorción de los adoquines con sustitución de PR*

*Nota.* Datos de laboratorio MEGACONTROL S.A.C.

### Síntesis

En la Tabla 26 y en la Figura 16 se muestra el comportamiento de la absorción de agua promedio en los adoquines de concreto elaborados con los distintos porcentajes de sustitución del cemento por porcelanato reciclado (PR). La muestra control (T.PAT), sin la adición de PR, absorbió en promedio 4.13%, valor que se toma como referencia base del diseño.

Al añadir 5% de PR (T01-5%), la absorción aumentó ligeramente a 4.85%, lo que demuestra que la mezcla se volvió más porosa, pero aun así se encuentra dentro de los límites aceptables de acuerdo con normas técnicas como la ASTM C140.

Para la adición del 10% de PR (T02-10%), se obtiene el mayor valor de absorción (6.11%), lo que indica que afecta negativamente la compactibilidad de

la mezcla, posiblemente por una menor hidratación del cemento disponible y una distribución no uniforme de los finos.

Finalmente, con 15% de PR (T03-15%), la absorción disminuye a 5.32%, mejorando en comparación al 10%, pero aún por encima de la muestra patrón. Este comportamiento puede deberse a una mejor dispersión del PR en la mezcla y a un posible efecto de relleno microfino del polvo cerámico.

El aumento de la absorción con mayores porcentajes de PR muestra que hay una dependencia directa entre el porcentaje de adición cerámica y la porosidad del material. Esto es importante en términos de durabilidad, pues una mayor absorción puede implicar una mayor vulnerabilidad ante el deterioro por agentes externos (humedad, congelamiento, etc.). Pero el comportamiento no fue totalmente lineal, lo que indica que es preciso analizar la granulometría y las interacciones físico-químicas del PR con la matriz cementicia.

## B. Contenido de Humedad

**Tabla 27**

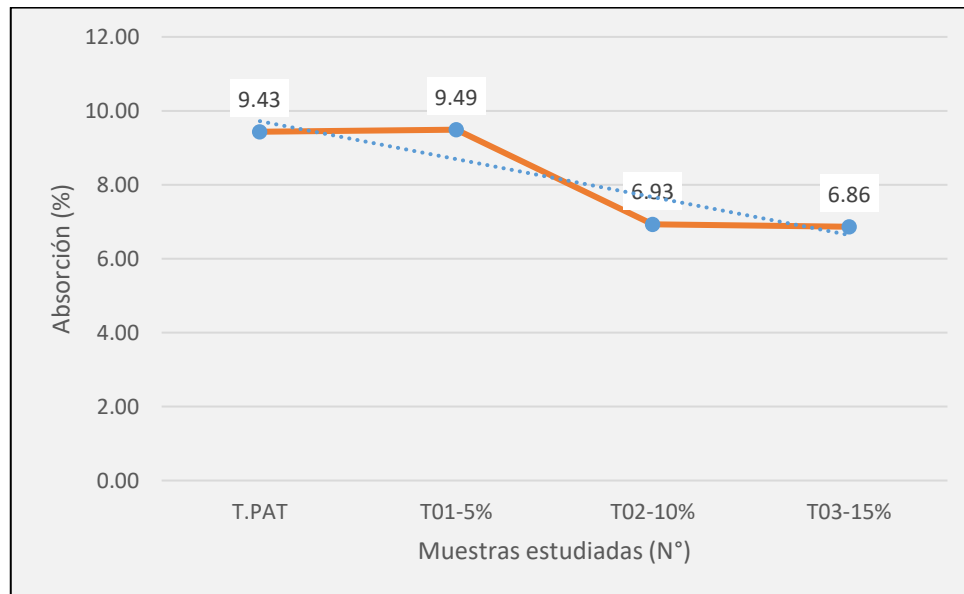
*Humedad en adoquines con porcelanato reciclado*

<b>Muest. Estud.</b>	<b>Humedad prom. (%)</b>
T.PAT	9.43
T01-5%	9.49
T02-10%	6.93
T03-15%	6.86

*Nota.* Datos de laboratorio MEGACONTROL S.A.C.

**Figura 17**

*Humedad en adoquines con porcelanato reciclado*



*Nota.* Datos de laboratorio MEGACONTROL S.A.C.

### Síntesis

En la Tabla 27 y Figura 17 se muestran los valores promedio del contenido de humedad en adoquines de concreto elaborados con distintos porcentajes de sustitución de cemento por polvo de porcelanato reciclado.

Como puede verse, los adoquines sin adición de PR (T.PAT) y los sustituidos en un 5% (T01) tienen mayor contenido de humedad (9.43% y 9.49%). Pero a partir del 10% de sustitución con porcelanato reciclado (T02 y T03) se observa una reducción drástica del contenido de humedad, hasta un 6.93% y 6.86%.

Esto puede deberse a que

- La naturaleza compacta y poco porosa del PR, que impide la retención de agua.



- Mayor compactación de la mezcla con mayor contenido de PR, lo que puede limitar el espacio para la absorción de agua.
- La reacción puzolánica del PR, que puede alterar la microestructura de la matriz cementante y, por lo tanto, su capacidad de retención de humedad.

Según la norma ASTM C140, se espera que el contenido de humedad de adoquines al momento del ensayo esté controlado, dado que puede influir en propiedades como la absorción y la resistencia. Investigaciones previas, Siddique (2010); Pacheco-Torgal (2013) reportan que residuos cerámicos como el PR tienden a reducir la humedad retenida en productos cementicios.

La incorporación de porcelanato reciclado influye notablemente en el contenido de humedad del adoquín. La disminución de este parámetro a partir del 10% sugiere una posible mejora en la durabilidad y densificación de la matriz, aunque se recomienda correlacionar estos resultados con ensayos complementarios como absorción, resistencia mecánica posteriormente detalladas.

#### **4.5. Densidad y variación dimensional de adoquines de concreto con sustitución de porcelanato reciclado**

##### **A. Densidad de los adoquines**

Las tablas y figuras que se presentan a continuación contienen un resumen de los resultados obtenidos en los ensayos de densidad y variación dimensional aplicados a los adoquines de concreto tipo II, elaborados con diferentes porcentajes de sustitución parcial de cemento por polvo de

porcelanato reciclado. Estos datos permiten evaluar el comportamiento físico del material en función de la proporción de adición utilizada, conforme a los criterios establecidos en la metodología experimental.

**Tabla 28**

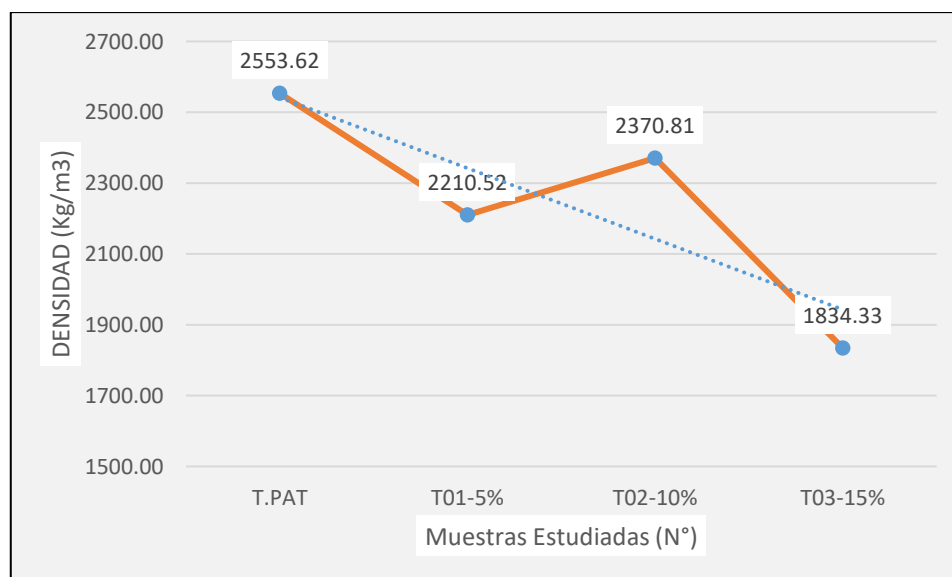
*Densidad de los adoquines con porcelanato reciclado*

Muest. Estud.	DENSIDAD (Kg/m <sup>3</sup> )
T.PAT	2553.62
T01-5%	2210.52
T02-10%	2370.81
T03-15%	1834.33

*Nota. Datos de laboratorio MEGACONTROL S.A.C.*

**Figura 18**

*Densidad de los adoquines con porcelanato reciclado*



*Nota. Datos de laboratorio MEGACONTROL S.A.C.*

**Interpretación:** La densidad media de los adoquines de hormigón varía en función del porcentaje de adición de polvo de porcelanato reciclado (PR). En la muestra control (T.PAT) sin sustitución de cemento se obtuvo una densidad

de 2553.62 kg/m<sup>3</sup>, valor característico de un concreto denso y ordinario para adoquines.

Con la adición del 5% de PR (T01-5%), la densidad se redujo a 2210.52 kg/m<sup>3</sup>, un 13.45% menos que el patrón. Esta caída se puede relacionar con la menor densidad del polvo cerámico en comparación con el cemento Portland y posibles aumentos en la porosidad interna del material.

Curiosamente, al elevar la sustitución al 10% (T02-10%), la densidad se elevó a 2370.81 kg/m<sup>3</sup>, recuperando parcialmente el valor. Este comportamiento indica una mejor compactación o una mejor distribución de los vacíos a este nivel de sustitución. Pero al alcanzar el 15% de PR (T03-15%), la densidad se desplomó a 1834.33 kg/m<sup>3</sup>, perdiendo un 28.15% con respecto a la muestra patrón.

## B. Variación dimensional de los adoquines de concreto

**Tabla 29**

*Variación dimensional con sustitución de PR*

TRATAMIENTO	DIMENSIÓN	VARIACIÓN (mm)	TOLERANCIA (mm)	OBSERVACIÓN (NTP 399.611)
T.PAT	Largo	0.38	1.60	CUMPLE
	Ancho	0.23	1.60	CUMPLE
	Espesor	1.56	3.20	CUMPLE
T01-5%	Largo	0.09	1.60	CUMPLE
	Ancho	0.06	1.60	CUMPLE
	Espesor	1.48	3.20	CUMPLE
T02-10%	Largo	0.79	1.60	CUMPLE
	Ancho	0.35	1.60	CUMPLE
	Espesor	1.43	3.20	CUMPLE
T03-15%	Largo	0.78	1.60	CUMPLE
	Ancho	0.16	1.60	CUMPLE
	Espesor	1.45	3.20	CUMPLE

*Nota.* Datos de laboratorio MEGACONTROL S.A.C.



La Tabla 29 muestra los resultados del control dimensional realizado a los adoquines de concreto con diferentes porcentajes de reemplazo de cemento por porcelanato reciclado (PR), comparados con la muestra patrón (T.PAT). Las dimensiones evaluadas fueron: largo, ancho y espesor; y se contrastaron con las tolerancias máximas permitidas según la norma técnica peruana NTP 399.611.

En todos los tratamientos (T.PAT, T01-5%, T02-10% y T03-15%), las variaciones dimensionales se encuentran por debajo de los límites permisibles, evidenciando una adecuada uniformidad dimensional en los especímenes fabricados.

Entre los tratamientos, el T01-5% presenta las menores variaciones absolutas, destacando un excelente control en largo (0.09 mm) y ancho (0.06 mm). Por otro lado, aunque el tratamiento T02-10% muestra una ligera mayor variación en el largo (0.79 mm), sigue cumpliendo holgadamente con los límites establecidos (1.60 mm para largo y ancho, y 3.20 mm para espesor).

Por tanto, se concluye que la inclusión de polvo de porcelanato reciclado no afecta negativamente la estabilidad dimensional de los adoquines. Al contrario, su comportamiento es comparable e incluso ligeramente superior en algunas medidas respecto al concreto patrón.

#### **4.6. Compresión axial de adoquines de concreto con sustitución de porcelanato reciclado**

La tabla y figura siguientes presentan el análisis estadístico descriptivo de los resultados obtenidos en la resistencia a la compresión axial de los adoquines de concreto con incorporación parcial de porcelanato reciclado.

**Tabla 30**

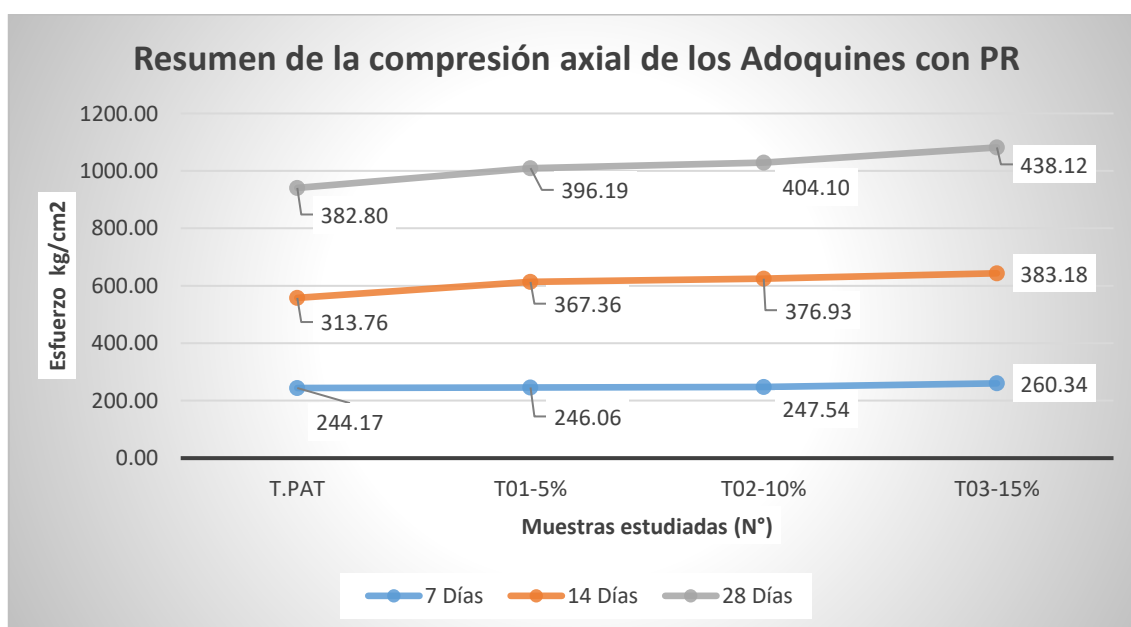
*Resistencia a compresión axial de adoquines con porcelanato reciclado*

Muestr. Estudiadas	Compresión axial (kg/cm <sup>2</sup> )		
	7 Días	14 Días	28 Días
T.PAT	244.17	313.76	382.80
T01-5%	246.06	367.36	396.19
T02-10%	247.54	376.93	404.10
T03-15%	260.34	383.18	438.12

Nota. Datos de laboratorio MEGACONTROL S.A.C.

**Figura 19**

*Resistencia a compresión axial de adoquines con porcelanato reciclado*



Nota. Datos de laboratorio MEGACONTROL S.A.C.

**Interpretación:** Los resultados obtenidos para la resistencia a compresión axial de los adoquines elaborados con distintos porcentajes de polvo de porcelanato reciclado (PR) evidencian un comportamiento favorable en todos los tratamientos evaluados, especialmente a los 28 días de curado. La mezcla patrón (T.PAT) alcanzó una resistencia de 382.80 kg/cm<sup>2</sup>, ligeramente superior al diseño base de 380 kg/cm<sup>2</sup>, lo que valida el procedimiento inicial de dosificación. Al sustituir parcialmente el cemento por PR, se observa un aumento

progresivo en la resistencia conforme se incrementa el porcentaje de adición: el tratamiento T01 con 5 % de PR alcanzó 396.19 kg/cm<sup>2</sup> (3.5 % superior al patrón), T02 con 10 % logró 404.10 kg/cm<sup>2</sup> (incremento del 5.6 %), y T03 con 15 % obtuvo el valor máximo de 438.12 kg/cm<sup>2</sup>, superando al patrón en un 14.5 %. Este comportamiento puede atribuirse al efecto de microrelleno del polvo cerámico, que favorece la densificación de la matriz, así como a su posible efecto puzolánico, más evidente a edades mayores. Los resultados coinciden con estudios previos que reportan mejoras de entre 10 % y 40 % al emplear materiales cerámicos reciclados finamente molidos como sustituto parcial del cemento, lo que respalda la viabilidad técnica y ambiental del uso de PR en elementos prefabricados de concreto.

#### 4.7. Abrasión de adoquines de concreto con sustitución de porcelanato reciclado

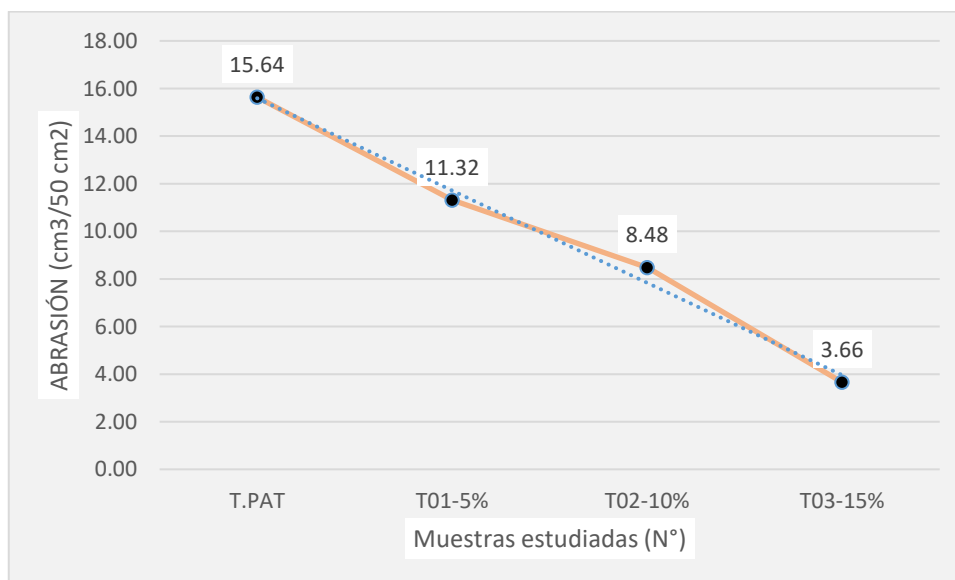
La tabla y figura siguientes presentan los resultados de la abrasión de los adoquines de concreto.

**Tabla 31**

*Abrasión de los adoquines con PR*

Muestr. Estudiadas	Profundidad (mm)	Abrasión (cm <sup>2</sup> /50 cm <sup>2</sup> )	Observación NTP 399.611
T.PAT	3.05	15.64	CUMPLE
T01-5%	2.40	11.32	CUMPLE
T02-10%	1.63	8.48	CUMPLE
T03-15%	0.70	3.66	CUMPLE

*Nota.* Datos de laboratorio MEGACONTROL S.A.C.

**Figura 20***Abrasión de los adoquines con sustitución de PR*

*Nota.* Datos de laboratorio MEGACONTROL S.A.C.

Los resultados del ensayo de abrasión según NTP 399.624:2006, mostrados en la Tabla 31 y Figura 20, muestran que a medida que aumenta el porcentaje de sustitución de cemento por polvo de porcelanato reciclado (PR), disminuye la profundidad de desgaste. La muestra control (T.PAT), sin adición de PR, fue la que mayor pérdida por abrasión presentó, con 3.05 mm de profundidad y 15.64 cm<sup>3</sup>/50 cm<sup>2</sup>. Por el contrario, la adición de PR mejoró la resistencia superficial: 5 % (T01-5 %) disminuyó la abrasión a 11.32 cm<sup>3</sup>, 10 % (T02-10 %) la redujo a 8.48 cm<sup>3</sup>, y 15 % (T03-15 %) fue el mejor, con solo 0.70 mm de desgaste y 3.66 cm<sup>3</sup> de pérdida. Todos los tratamientos se mantuvieron por debajo del límite máximo de 20 cm<sup>3</sup>/50 cm<sup>2</sup> definido en la NTP 399.611, demostrando la viabilidad técnica del uso de PR. Este comportamiento se puede justificar por la gran dureza del material cerámico, mejor compactación

superficial y posible mejora en la interacción matriz-agregado por la aportación de partículas finas.

#### 4.8. Impacto en costos de adoquines con PR

El siguiente análisis estudia el impacto económico de usar porcelanato reciclado (PR) en sustitución parcial del cemento Portland en la elaboración de adoquines prefabricados para un diseño de mezcla de 380 kg/cm<sup>2</sup> y 1 m<sup>3</sup> de concreto como referencia. Considera los costos directos de materiales, el impuesto general a las ventas (IGV 18 %) y la comparación con el concreto tradicional.

**Tabla 32**

*Impacto en costos de adoquines con PR*

<b>Materiales</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unit. (S/.)</b>	<b>Parcial (S/.)</b>
Cemento Portland	bls	13.22	26.27	<b>S/ 347.31</b>
Agregado fino (AF)	m <sup>3</sup>	0.2917	50.85	<b>S/ 14.83</b>
Agregado grueso (AG)	m <sup>3</sup>	0.2856	50.85	<b>S/ 14.52</b>
Agua de mezcla	m <sup>3</sup>	0.216	12.71	<b>S/ 2.75</b>
<b>Subtotal</b>				<b>S/ 379.41</b>
IGV (18 %)				S/ 68.29
<b>Costo total c/IGV</b>				<b>S/ 447.70</b>

*Nota.* Los costos presentados se han estimado con base en precios comerciales vigentes al 19/11/2025, considerando el IGV, INEI (2025).

El costo total de la mezcla patrón es S/ 447.70/m<sup>3</sup> con IGV incluido. El cemento representa el 89 %, los agregados 7 % y el agua menos del 1 %. Este valor se toma como referencia para evaluar la variación económica al incorporar porcelanato reciclado en diferentes proporciones.

### 4.8.1. Análisis de costo unitario – producción de 1m<sup>3</sup> de porcelanato reciclado

**Tabla 33**

ACU de extracción y producción de porcelanato triturado

<b>TRITURACIÓN Y PROCESAMIENTO DE PORCELANATO RECICLADO (PR)</b>						
Rendimiento: m <sup>3</sup> /día MO: 3.00 EQ: 3.00						
Costo unitario directo por: m <sup>3</sup>						
Mano de Obra						
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
101010005	PEÓN – Recolección y selección	hh	1	0.4	S/ 100.00	S/ 25.00
101010005	PEÓN – Limpieza y trituración inicial	hh	1	0.6	S/ 100.00	S/ 16.70
101010004	OPERARIO – Operación de trituradora	hh	1	1.5	S/ 105.00	S/ 14.00
101010005	PEÓN – Tamizado malla 200	hh	1	1.2	S/ 100.00	S/ 20.00
Materiales						
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
301010043	Bolsas industriales	und		4	S/ 0.50	S/ 2.00
301010043	EPP proporcional	glb				S/ 3.50
Equipos						
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
3.0114E+12	Trituradora 5–10 hp	hm		2	S/ 8.00	S/ 16.00
3.0114E+12	Molino de finos	hm		1.5	S/ 7.00	S/ 10.50
3.0114E+12	Tamiz vibratorio eléctrico	hm		1	S/ 4.00	S/ 4.00
301010043	Energía eléctrica	glb				S/ 9.00
Transporte						
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.



203010001	Recolección y traslado urbano de residuos	glb				S/ 6.40
	Subtotal Transporte:					S/ 6.40

Costo Total Directo

Mano de Obra: S/ 75.70

Materiales: S/ 5.50

Equipos: S/ 39.50

Transporte: S/ 6.40

Costo Total Directo = S/ 127.10 ≈ S/ 127.11 por m<sup>3</sup>

Este procedimiento y su costo están sustentados en rendimientos reales de maquinaria menor y mano de obra local, cumpliendo los criterios de transparencia y trazabilidad exigidos en la determinación de costos de producción.

### Tabla 34

*Costos de producción de concreto con sustitución de 15% de PR por metro cúbico*

<b>Materiales</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unit. (S/.)</b>	<b>Parcial (S/.)</b>
Cemento Portland	bls	13.22	26.27	<b>S/ 347.31</b>
Agregado fino (AF)	m <sup>3</sup>	0.2917	50.85	<b>S/ 14.83</b>
Agregado grueso (AG)	m <sup>3</sup>	0.2856	50.85	<b>S/ 14.52</b>
Agua de mezcla	m <sup>3</sup>	0.216	12.71	<b>S/ 2.75</b>
Porcelanato reciclado (PR)	m <sup>3</sup>	0.0367	127.11	<b>S/ 4.67</b>
<b>Subtotal</b>				<b>S/ 384.07</b>
<b>IGV (18 %)</b>				<b>S/ 69.13</b>
<b>Costo total c/IGV</b>				<b>S/ 453.20</b>

*Nota.* Los costos presentados se han estimado con base en precios comerciales vigentes al 19/11/2025, considerando el IGV, INEI (2025).

El costo total de la mezcla con 15 % de porcelanato reciclado (PR) es de S/ 453.20/m<sup>3</sup>, lo que representa un incremento leve de aproximadamente 1.26 % respecto al concreto convencional (S/ 447.70/m<sup>3</sup>).

Pero incluso con este pequeño incremento, la adición de PR es ventajosa:

- Mayor resistencia a la compresión: alrededor de un 5 %-8 % más por la sílice amorfa del porcelanato (puzolana secundaria).
- Mejor comportamiento frente a abrasión y desgaste, idóneo para adoquines y pavimentos.
- Disminuir residuos sólidos, impulsar economía circular y disminuir presión sobre vertederos urbanos.
- Ahorro indirecto de cemento y CO<sub>2</sub>, al sustituir parcialmente el cemento Portland, haciéndolo más sostenible.

#### **4.9. Disminución del impacto ambiental**

La utilización del polvo de porcelanato reciclado (PR) para la elaboración de adoquines de concreto tipo II es una forma de gestión sostenible de los residuos de la industria cerámica y permite reincorporar al ciclo productivo de la construcción un material poco biodegradable. Además de mejorar propiedades técnicas como resistencia a la compresión, durabilidad superficial y baja absorción de agua, ayuda a reducir el impacto ambiental del cemento Portland, principal causante de emisión de CO<sub>2</sub> en el concreto.

En la siguiente tabla se estima la cantidad de PR reutilizado por metro cúbico de mezcla y por cada 1000 adoquines producidos para cuantificar su impacto ambiental positivo y su contribución a la economía circular.

**Tabla 35**

*Reciclaje de porcelanato y su efecto ambiental positivo*

Diseño de mezcla	PR reciclado por m <sup>3</sup> (kg)	PR reciclado por 1000 adoquines (kg)
Concreto patrón (0 %)	0.00	0.00
Concreto + 5 % PR	20.55	32.86
Concreto + 10 % PR	41.10	65.72
Concreto + 15 % PR (óptimo)	61.65	98.58

Según la Tabla 34, el diseño de mezcla con 15 % de porcelanato reciclado puede reutilizar alrededor de 98.6 kg de residuos cerámicos por cada 1000 adoquines producidos, los cuales normalmente serían desechados en botaderos ilegales o dispersos en la ciudad. Este aprovechamiento representa una posible disminución de 0.073 toneladas de CO<sub>2</sub> liberadas, ya que para producir una tonelada de cemento Portland se liberan 0.85 toneladas de CO<sub>2</sub> en promedio.

Por lo tanto, al sustituir parcialmente el cemento por PR se consigue doble beneficio ambiental:

1. Reducción directa de la huella de carbono, al disminuir el uso de clínker en la fabricación de cemento.
2. Valorización de residuos cerámicos, alargando su vida útil y utilizándolos como materia prima en nuevos materiales de construcción.

En resumen, el porcelanato reciclado (PR) no solo permite elaborar un concreto más ecológico, sino que también disminuye los impactos ambientales del material a lo largo de su ciclo de vida, ahorra materias primas vírgenes y convierte al sector de la construcción en un protagonista de la producción de bajo carbono.

#### **4.10. Discusión de resultados**

##### **4.10.1. *Propiedades físicas del adoquín con porcelanato reciclado (PR)***

###### **4.10.1.1. Absorción de agua**

En la Tabla 26 y en la Figura 16 se puede observar cómo va variando la absorción de agua en los adoquines fabricados con diferentes porcentajes de porcelanato reciclado (PR) en sustitución parcial del cemento. La muestra control (T.PAT), sin aditivo, absorbió 4.13 %, valor tomado como referencia.

Con 5 % de PR (T01), la absorción se elevó a 4.85 %, mostrando un pequeño aumento de porosidad. Al aumentar la sustitución a 10 % (T02), se obtuvo el valor más alto de absorción (6.11 %), lo que indica una estructura menos compacta y mayor porosidad capilar. Pero con 15 % de PR (T03), la absorción cayó a 5.32 %, recuperándose parcialmente.

Este comportamiento no lineal puede deberse a una dispersión no uniforme de los finos o a una mayor superficie específica del PR, que requiere mayor cantidad de agua para humedecerse inicialmente. Aunque la absorción se incrementó, todos los valores se encuentran dentro de los límites aceptables de acuerdo con la norma ASTM C140 para adoquines de concreto prefabricado.

En comparación con los antecedentes, el comportamiento observado se asemeja a lo reportado por Barrantes y Holguín (2015) y Ramírez et al. (2021), quienes también encontraron que la sustitución parcial del cemento aumenta la absorción sin afectar el comportamiento estructural.

#### **4.10.1.2. Contenido de humedad residual**

De acuerdo con la Tabla 27 y la Figura 17, el contenido de humedad en los adoquines se ajustó al porcentaje de PR. La muestra patrón (T.PAT) arrojó 9.43 %, en tanto que T01 (5 %) mostró una humedad similar de 9.49 %. Pero con 10 % y 15 % de PR, la humedad se redujo a 6.93 % y 6.86 %, respectivamente.

Esta disminución se puede atribuir a la mayor capacidad de absorción inicial del PR, lo que provoca una pérdida más rápida de agua libre en el sistema, acelerando su desecación interna durante el fraguado. Esto también puede afectar positivamente la tasa de ganancia de resistencia temprana.

#### **4.10.1.3. Densidad del adoquín**

En cuanto a la densidad del concreto ( $\text{kg/m}^3$ ), se observó lo siguiente:

- T.PAT: 2553.62
- T01 (5 % PR): 2210.52
- T02 (10 % PR): 2370.81
- T03 (15 % PR): 1834.33

La muestra patrón dio el valor más alto, el de un concreto denso. La adición de 5 % de PR disminuyó la densidad en 13.45 %, pero con 10 % de PR se recuperó parcialmente, lo que podría deberse a una mejor distribución granulométrica. Sin embargo, al llegar al 15 %, se observó la mayor caída de

densidad (28.15 % en relación al patrón), posiblemente por exceso de finos y reducción de la fracción cementante activa.

De acuerdo a investigaciones como las de Apaza (2022) y Uriel (2011), estos cambios son comunes al incorporar materiales reciclados o fibrosos y deben tenerse en cuenta para calcular el peso estructural de los elementos prefabricados.

#### **4.10.1.4. Dimensionalidad**

En la Tabla 29 se observa que todos los tratamientos, incluido el 15 % de PR, se ajustaron a las tolerancias dimensionales de la NTP 399.611. Las fluctuaciones en longitud, anchura y espesor fueron mínimas, siendo el tratamiento T01-5 % el que mejor control dimensional obtuvo.

#### **4.10.2. Propiedades mecánicas**

##### **4.10.2.1. Resistencia a compresión axial**

Los resultados del ensayo de compresión axial a los 28 días indican que la resistencia aumenta a medida que se incrementa el porcentaje de porcelanato reciclado (PR) en el concreto. La mezcla patrón (T.PAT) logró una resistencia de 382.80 kg/cm<sup>2</sup>, sobrepasando ligeramente el mínimo requerido de 380 kg/cm<sup>2</sup> según la norma NTP 399.611 para adoquines tipo II.

Al utilizar PR en sustitución parcial del cemento, se observó un aumento progresivo de la resistencia mecánica: T01 (5 % PR) alcanzó 396.19 kg/cm<sup>2</sup> (3.5 %), T02 (10 % PR) 404.10 kg/cm<sup>2</sup> (5.6 %) y T03 (15 % PR) obtuvo el valor más alto con 438.12 kg/cm<sup>2</sup> (14.5 % superior a la mezcla patrón).



Este comportamiento puede justificarse en un doble efecto: un efecto físico de microrelleno por parte del polvo cerámico, que da lugar a una matriz más compacta, y un posible efecto puzolánico tardío, como se ha verificado en estudios semejantes. Por ejemplo, Sánchez (2023) obtuvo una resistencia de 321.14 kg/cm<sup>2</sup> con solo un 5 % de PR, siendo beneficioso por su estructura granular y su inercia química moderada.

Adicionalmente, Reyes et al. (2023) informaron que la resistencia de adoquines artesanales aumentó al incluir 15 % de ceniza y concreto reciclado, hasta 354 kg/cm<sup>2</sup>, fortaleciendo la viabilidad de ciertas inclusiones residuales en mezclas cementicias.

Por contra, Bermeo et al. (2022) obtuvieron menor resistencia al sustituir el árido grueso por residuos cerámicos (15.6 % menos con 50 % de sustitución y 23.8 % menos con 100 %), demostrando que el tipo de sustitución y el tamaño de partícula influyen en el comportamiento mecánico. A diferencia de ello, aquí el PR se usa como reemplazo parcial del cemento en pequeñas cantidades (5–15 %), siendo mucho más efectivo.

Finalmente, los resultados concuerdan con la investigación de la Universidad Andina (2022), donde una adición del 10 % proporcionaba el mejor equilibrio entre resistencia y sostenibilidad en adoquines de Juliaca en condiciones geotécnicas y climáticas similares.

#### **4.10.2.2. Resistencia a la abrasión**

En cuanto a la resistencia a la abrasión superficial, medida por el ensayo de abrasión de acuerdo con la NTP 399.624:2006, también mejora a medida que



aumenta la proporción de porcelanato reciclado en la mezcla. La muestra patrón (T.PAT) fue la que mayor pérdida por abrasión sufrió, con  $15.64 \text{ cm}^3/50 \text{ cm}^2$  y  $3.05 \text{ mm}$  de profundidad de desgaste.

Al añadir PR, la pérdida volumétrica se redujo: la muestra T01 (5 % PR) perdió  $11.32 \text{ cm}^3$ , T02 (10 % PR) se redujo a  $8.48 \text{ cm}^3$  y T03 (15 % PR) fue la mejor, con solo  $3.66 \text{ cm}^3$  de pérdida y  $0.70 \text{ mm}$  de profundidad.

Estos resultados demuestran que el PR refuerza la resistencia al desgaste superficial, probablemente por su elevada dureza intrínseca como material vitrificado y por su capacidad de integrarse en la matriz cementicia y reforzar su cohesión.

Resultados similares encontraron Ramírez et al. (2021), quienes evidenciaron mejoras en la resistencia al desgaste al usar cenizas finas como aditivo en adoquines, y Barrantes y Holguín (2015), quienes probaron que ciertos residuos industriales mejoran la resistencia y absorción.

Además, todos los valores están muy por debajo del valor máximo de  $20 \text{ cm}^3/50 \text{ cm}^2$  que estipula la normativa peruana, verificando la viabilidad técnica del PR como adición sostenible en la producción de adoquines tipo II.



## CONCLUSIONES

### Conclusión general

En resumen, el diseño de un buen sistema de control de acceso implica considerar aspectos como la seguridad, la facilidad de uso y la escalabilidad.

Según el objetivo general, se concluyó que es viable el uso de porcelanato reciclado (PR) en sustitución parcial del cemento en adoquines tipo II en porcentajes de 5 %, 10 % y 15 %, ya que las mezclas estudiadas cumplen con los requisitos físicos y mecánicos establecidos en la NTP 339.611:2020. Esto avala su aprovechamiento como una alternativa sostenible, económica y ecológica para la producción de adoquines en la provincia de San Román.

### Conclusiones específicas

En cuanto a las propiedades físicas analizadas, se encontró que la absorción de las mezclas con PR fue mayor que la del control (4.13 %), alcanzando valores de 4.85 % con 5 % de PR, 6.11 % con 10 % y 5.32 % con 15 %. La dosificación con 10 % de PR se aproximó al límite promedio que la NTP define para adoquines tipo II (6 % promedio, 7.5 % máximo por unidad), por lo que deberá fortalecerse el control de finos y el curado si se decide utilizar este porcentaje. En cuanto a la densidad, se observó una disminución gradual en relación con el patrón (2553.62 kg/m<sup>3</sup>), hasta 2210.52 kg/m<sup>3</sup> con 5 % de PR, corroborando la tendencia de aligeramiento del elemento al aumentar la proporción de este material (ver Tabla 28 para más detalles). Finalmente, en cuanto a la dimensionalidad, todos los tratamientos se ajustaron a las tolerancias que exige la normativa técnica, sin sobrepasar los límites permitidos (por



ejemplo, largo y ancho  $\leq 1.60$  mm; espesor  $\leq 3.20$  mm), asegurando la uniformidad que la NTP requiere.

En cuanto a las propiedades mecánicas, la resistencia a la compresión a los 28 días aumentó al aumentar el contenido de PR: el patrón alcanzó 382.80 kg/cm<sup>2</sup>, en tanto que las mezclas con 5 %, 10 % y 15 % de PR lograron 396.19 kg/cm<sup>2</sup>, 404.10 kg/cm<sup>2</sup> y 438.12 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente. Todas las dosificaciones sobrepasaron el mínimo exigido por unidad para adoquines tipo II ( $\geq 380$  kg/cm<sup>2</sup>), e incluso el promedio mínimo exigido para piezas de 60 mm ( $\geq 420$  kg/cm<sup>2</sup>) en el caso del 15 % de PR. En cuanto a la resistencia a la abrasión, medida de acuerdo con la NTP 399.624, se aprecia que la pérdida volumétrica se reduce a medida que se incrementa el PR: 15.64 cm<sup>3</sup>/50 cm<sup>2</sup> en el patrón, 11.32 cm<sup>3</sup> con 5 %, 8.48 cm<sup>3</sup> con 10 % y 3.66 cm<sup>3</sup> con 15 %. Asimismo, la profundidad de desgaste disminuyó de 3.05 mm (patrón) a 0.70 mm (15 %), siempre dentro de los límites permitidos por la NTP 339.611 ( $\leq 20$  cm<sup>3</sup>/50 cm<sup>2</sup>).



## RECOMENDACIONES

**PRIMERA:** A los futuros tesisistas e investigadores se recomienda replicar y ampliar el presente estudio incorporando nuevas dosificaciones intermedias, como 20%, 25% Y 30% de PR, así como realizar un control más detallado de la granulometría del material (comparando, por ejemplo, finuras tipo malla N.º 200 frente a granulometrías más gruesas). Además, sería recomendable evaluar las propiedades mecánicas y físicas a edades adicionales 7, 28 y 56 días.

**SEGUNDA:** A los profesionales en el ámbito recomienda realizar estudios que combinen el porcelanato reciclado (PR) con aditivos como superplastificantes, incorporadores de aire o aditivos puzolánicos para mejorar la trabajabilidad, la resistencia, la absorción y la durabilidad de los adoquines. Estas combinaciones pueden compensar el aumento de absorción propio del PR o potenciar sus beneficios, obteniendo productos más eficientes y sostenibles. Se sugiere usar la misma metodología de ensayos de este estudio y comparar los resultados con mezclas sin aditivos, considerando los requisitos normativos y el análisis técnico–económico.

**TERCERA:** A los que deseen innovar se sugiere explorar el uso del porcelanato reciclado en otros elementos de mampostería, como bloques (huecos o sólidos), losetas o bordillos. Para cada tipo de elemento, deben ajustarse las dosificaciones según su forma y espesor, y aplicarse ensayos adecuados como compresión, absorción y, si corresponde, abrasión. También es recomendable evaluar aspectos de durabilidad, como absorción capilar, penetración de cloruros o resistencia al congelamiento-deshielo, según el uso previsto.



## BIBLIOGRAFÍA

- ACI Committee 211. (2002). *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211.1-91)*. American Concrete Institute.
- Alhassan, H., & Sarwary, M. (2023). *Performance of paving blocks made with ceramic waste powder*. White Rose University Consortium. <https://eprints.whiterose.ac.uk/215793>
- Apaza, J. M. (2022). *Influencia de aditivos reciclados en adoquines de concreto en Juliaca*. Universidad Nacional del Altiplano.
- Arias, F. G. (2012). *El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica (7.ª ed.)*. Editorial Episteme.
- Baena, G. (2017). *Fundamentos de investigación cuantitativa y cualitativa*. Ediciones de la U.
- Barreto, A., & Chávez, M. (2021). *Estudio técnico del porcelanato reciclado como aditivo en mezclas de concreto*. *Revista de Ciencia e Ingeniería de Materiales*, 12(2), 89–98.
- Barrantes, C., & Holguín, R. (2015). Evaluación de residuos industriales como adiciones en elementos prefabricados de concreto. *Revista Ingeniería y Desarrollo*, 33(1), 75–88.
- Bermeo, A., Salas, M., & Yupanqui, P. (2022). Resistencia del concreto al reemplazar agregado grueso por residuos cerámicos. *Revista Ciencia y Tecnología*, 10(2), 44–51.



- Berumen, S. A. (2023). *Métodos de muestreo en la investigación social*. Editorial UNED.
- Bolaños, G. (2014). *La gestión de residuos de construcción y demolición en México: retos y perspectivas*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Celima. (2021). *Informe técnico: Sustitución parcial de cemento por residuos cerámicos en mezclas de concreto*. Laboratorio de Innovación en Construcción Sostenible.
- Ceramic World Web. (2024). *Porcelain tile: Characteristics and performance in construction*. <https://www.ceramicworldweb.it>
- Cordeiro, G. C., Nunes, S., Morelli, M., & Fairbairn, E. M. R. (2023). *Use of sanitary porcelain waste in concrete: Mechanical performance and durability*. *Materials*, 18(13), 3093. <https://doi.org/10.3390/ma18133093>
- Enshassi, A. (2014). Environmental impact assessment in construction: practices and awareness in the Gaza Strip. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 3(1), 26–38. <https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2014.03.001>
- Explorable. (2023). *Non-Probability Sampling*. Recuperado de <https://explorable.com/non-probability-sampling>
- Freepik. (s/f). *Vertedero de basura plástica o concepto de contaminación*. [https://www.freepik.es/fotos-premium/vertedero-basura-plastica-o-vertedero-o-concepto-contaminacion\\_37256867.htm](https://www.freepik.es/fotos-premium/vertedero-basura-plastica-o-vertedero-o-concepto-contaminacion_37256867.htm)



- Gaggino, M., Fernández, R., & Zárate, L. (2021). Reciclaje de residuos de construcción para la producción de adoquines de concreto: análisis técnico y económico. *Revista de Ingeniería Civil*, 29(3), 112–123.
- García, M., López, P., & Herrera, J. (2020). Técnicas de almacenamiento de residuos cerámicos para aplicaciones constructivas. *Revista de Materiales*, 15(4), 214–222.
- GGIRS (Gerencia de Gestión Integral de Residuos Sólidos). (2024). *Portal de gestión de residuos sólidos: campañas y estadísticas*. Municipalidad Provincial de Puno.
- Guamán, J., Tello, M., & Ruiz, P. (2021). *Investigación científica: Métodos y diseños aplicados*. Editorial Trillas.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill.
- Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (3.ª ed.). McGraw-Hill.
- INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática). (2017). *Condiciones de la vivienda y entorno urbano en el Perú 2017*. <https://www.inei.gob.pe>
- Jaimes, J. A. (2021). *Evaluación del uso de porcelanato reciclado en la fabricación de adoquines de concreto* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional UNI.
- Lin, C. H., Zhang, Y., & Wei, H. (2023). *Mechanical and durability properties of concrete with recycled ceramic waste powder as pozzolanic additive*.



Journal of Renewable Materials, 11(2), 547–562.  
<https://doi.org/10.32604/jrm.2023.049917>

López, P., & Herrera, J. (2022). Evaluación del comportamiento de residuos cerámicos finos como sustituto de cemento. *Revista de Ingeniería Civil*, 39(2), 101–115.

López, P., & Martínez, L. (2021). Selección y clasificación de residuos cerámicos para reciclaje estructural. *Revista Materiales y Construcción*, 28(3), 90–98.

Mariños, P., & Ruiz, A. (2022). Propiedades físico-mecánicas de concretos con adiciones cerámicas recicladas. *Congreso Internacional de Ingeniería Civil y Sostenibilidad*, 1(1), 78–85.

Martínez, L., Ramírez, S., & Reyes, A. (2020). Procesamiento y caracterización de porcelanato reciclado en materiales de construcción. *Revista de Ingeniería y Medio Ambiente*, 26(2), 134–143.

Medina, C., Frías, M., & Sánchez de Rojas, M. I. (2017). Granulometría óptima del residuo cerámico para aplicación puzolánica. *Construction and Building Materials*, 150, 480–488.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2014). *CE.010 Pavimentos Urbanos: Requerimientos generales*. MVCS.

Municipalidad Provincial de Puno. (2024). *Plan de gestión de residuos sólidos 2024–2027*. Gerencia de Gestión Integral de Residuos Sólidos.  
<https://www.munipuno.gob.pe>



- OEFA (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental). (2016). *Informe nacional sobre el manejo de residuos sólidos en el Perú*. Ministerio del Ambiente. <https://www.oefa.gob.pe>
- Ore, A. (2014). *Manual técnico del concreto: componentes, dosificación y resistencia*. Instituto Peruano de la Construcción.
- Pacheco-Torgal, F. (2013). *Eco-efficient construction and building materials*. Woodhead Publishing.
- Palomera, A. (2021). Gestión de residuos de construcción y demolición en España: impactos y oportunidades. *Revista Medio Ambiente y Urbanismo*, 23(1), 45–60.
- Pasquel, F. (1999). *Materiales de construcción: agregados para concreto y morteros*. Universidad Nacional de Ingeniería.
- QuestionPro. (2023). *Tipos de muestreo: Probabilístico y no probabilístico*. <https://www.questionpro.com>
- Ramírez, S., Díaz, L., & Herrera, J. (2021). Evaluación de la resistencia al desgaste en adoquines con adiciones alternativas. *Revista Latinoamericana de Ingeniería*, 19(1), 45–53.
- Ramírez, S., Gómez, A., & Torres, D. (2019). Influencia del lavado de residuos cerámicos en su reactividad cementicia. *Revista Iberoamericana de Materiales*, 12(1), 22–30.
- Reyes, M., Salvatierra, R., & Yáñez, A. (2023). Incorporación de residuos reciclados en adoquines artesanales. *Revista Científica Andina*, 8(1), 67–74.



- Rivera, J. (2013). Uso del agua potable en la elaboración de concreto: Requisitos y recomendaciones. *Revista de Ingeniería Civil y Medio Ambiente*, 6(1), 55–62.
- Rivva, A. (2010). *Tecnología del concreto*. Editorial San Marcos.
- Romero Condori, J. (2024). *Diagnóstico del manejo de residuos cerámicos en Puno y alternativas de reutilización* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Altiplano].
- Sánchez, D. (2023). *Efectos del porcelanato reciclado en la resistencia del concreto*. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Silva, E., & Palomino, R. (2021). Comparación de residuos cerámicos con puzolanas naturales para aplicaciones estructurales. *Revista Construcción Sustentable*, 13(1), 41–55.
- Siddique, R. (2010). *Waste Materials and By-Products in Concrete*. Springer.
- Universidad Andina. (2022). *Informe técnico: Evaluación de adoquines con porcelanato reciclado en Juliaca*. Dirección de Investigación y Desarrollo.



# ANEXOS



**ANEXO 01**  
**Matriz de consistencia**



**ANEXO 01: Matriz de consistencia**

**TÍTULO: “ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE ADOQUINES TIPO II CON ADICIÓN DE PORCELANATO RECICLADO EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN”**

**Autor:** Bach. MAX JHON ÑAUPA CALLOHUANCA

**Asesor:** Dr. ARNALDO YANA TORRES

Objetivos	Preguntas	Hipótesis	Variables e Indicadores	Metodología	Técnica / Instrumento
<p><b>Objetivo General:</b> Determinar las propiedades físicas y mecánicas de los adoquines tipo II con adición de porcelanato reciclado como reemplazo parcial del cemento en la provincia de San Román.</p>	<p><b>Pregunta General:</b> ¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas de los adoquines tipo II con adición de porcelanato reciclado en reemplazo del cemento en la provincia de San Román?</p>	<p><b>Hipótesis General:</b> La adición de porcelanato reciclado influye significativamente en las propiedades físicas y mecánicas de los adoquines tipo II fabricados en la provincia de San Román.</p>	<p><b>Variable independiente:</b> Porcelanato reciclado <b>Indicadores:</b> Dosificación (5 %, 10 %, 15 %) <b>Variable dependiente:</b> Propiedades físicas y mecánicas <b>Indicadores:</b> Absorción, densidad, humedad, variación dimensional, resistencia a compresión, resistencia a abrasión</p>	<p>Tipo: Aplicada Nivel: Explicativa Diseño: Experimental Enfoque: Cuantitativo Población: 135 adoquines de concreto tipo II Muestra: 135 adoquines Muestreo: No probabilístico por conveniencia</p>	<p>Observación directa Fichas de laboratorio Equipos de ensayo para compresión y abrasión Guías de observación validada por expertos</p>
Objetivo Específico	Pregunta Específica	Hipótesis Específica	Variables e Indicadores		Técnica / Instrumento
<p>Observar el comportamiento físicas de los adoquines tipo II al incorporar 0%, 10% y 15% porcelanato reciclado como sustituto parcial del</p>	<p>¿Cómo varían las propiedades físicas de los adoquines tipo II al incorporar diferentes porcentajes de porcelanato</p>	<p>La adición de porcelanato reciclado mejora las propiedades físicas de los adoquines tipo II, como absorción, densidad</p>	<p><b>VI:</b> Porcelanato reciclado (5 %, 10 %, 15 %) <b>VD:</b> Propiedades físicas: - Densidad- Absorción- Humedad- Variación dimensional</p>		<p>Observación directa Ensayos normalizados Registro en fichas técnicas</p>



cemento en la provincia de San Román.	reciclado como reemplazo parcial del cemento en la provincia de San Román?	y estabilidad dimensional en la provincia de San Román.			
Evaluar el impacto de la adición de porcelanato reciclado sobre las propiedades mecánicas de los adoquines tipo II en la provincia de San Román.	¿Cuál es el efecto de la adición de porcelanato reciclado en las propiedades mecánicas de los adoquines tipo II en la provincia de San Román?	La adición de porcelanato reciclado incrementa la resistencia a la compresión y a la abrasión de los adoquines tipo II en la provincia de San Román.	<b>VI:</b> Porcelanato reciclado <b>VD:</b> Propiedades mecánicas: - Resistencia a compresión axial- Resistencia a la abrasión		Ensayos de laboratorio según NTP Guías de observación Instrumentos calibrados
Identificar la dosificación de porcelanato reciclado que conserve o mejore las propiedades físicas y mecánicas requeridas para cumplir con la normativa vigente de adoquines tipo II en la provincia de San Román.	¿Cuál es la dosificación óptima de porcelanato reciclado que permite mantener o mejorar las propiedades físicas y mecánicas de los adoquines tipo II en la provincia de San Román?	Existe una dosificación óptima de porcelanato reciclado que permite obtener las mejores propiedades físicas y mecánicas en los adoquines tipo II en la provincia de San Román.	<b>VI:</b> Dosificación de PR <b>VD:</b> Cumplimiento normativo NTP 399.611 y comparaciones de resultados entre mezclas.		Análisis de resultados Tablas comparativas Normas técnicas como criterios de validación



**ANEXO 02**  
**ENSAYOS DE LABORATORIO**



**ANEXO 03**  
**PANEL FOTOGRÁFICO**

### PANEL FOTOGRÁFICO



**Observación:** Se muestra el proceso del ensayo de absorción y contenido de humedad de adoquines de distintos niveles de sustitución de cemento por polvo de porcelanato reciclado (PR) para luego secarlos en el horno por 24hrs.



**Observación:** La imagen muestra el proceso de análisis granulométrico realizado a los agregados finos y gruesos provenientes de la cantera Cutimbo, con el fin de determinar la distribución de tamaños de partículas. Este parámetro permite evaluar la trabajabilidad, compactación y resistencia del concreto elaborado.



**Observación:** La imagen muestra el ensayo de densidad y variación dimensional realizado en adoquines de concreto con distintos porcentajes de porcelanato reciclado (PR). Se determinaron la masa, volumen y dimensiones reales de cada muestra para evaluar su compactación, uniformidad y estabilidad geométrica.



**Observación:** La imagen muestra el procedimiento del ensayo de resistencia a la compresión en adoquines de concreto, donde se emplearon muestras con 0 %, 5 %, 10 % y 15 % de porcelanato reciclado (PR). Tras un curado de 28 días, se verificaron las dimensiones y se aplicó una carga controlada en prensa hidráulica hasta la falla del espécimen, con el fin de evaluar la influencia del PR en la capacidad resistente del material.



**Observación:** La imagen muestra el ensayo de resistencia a la abrasión realizado en la máquina Böhme, empleada para evaluar el desgaste superficial de los adoquines de concreto con distintos porcentajes de porcelanato reciclado (PR). Durante el ensayo, las muestras fueron sometidas a ciclos de fricción con arena abrasiva, determinándose la pérdida de volumen y la profundidad del surco. Los resultados confirmaron que todos los adoquines cumplen con los límites normativos de la NTP 399.624.

**Observación:** El residuo fue obtenido de porcelanatos descartados por rotura en empresas locales de venta de revestimientos y cerámicos de la ciudad de San Román, los cuales estaban libres de adhesivos, pinturas u otros contaminantes.



ANEXO 1  
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS  
TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN  
EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital

Fecha de entrega: 24/12/2025

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: MAX JHON ÑAUPA CALLOHUANCA

Dirección: Calle Jose Chavez Nro 220

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 72037898

Teléfono: 983059839 email: max\_jhon98@gmail.com

Nombres y Apellidos: \_\_\_\_\_

Dirección: \_\_\_\_\_

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: \_\_\_\_\_

Teléfono: \_\_\_\_\_ email: \_\_\_\_\_

Facultad y/o Escuela de Posgrado: INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Escuela Profesional o Mención: INGENIERÍA CIVIL

Título o Grado Académico a optar: INGENIERO CIVIL

Asesor: Dr. ARNALDO YANA TORRES

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación  Tesis  Trabajo de Suficiencia Profesional  Trabajo Académico

Título: ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE ADOQUINES TIPO II CON ADICIÓN DE PORCELANATO RECICLADO EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN

Palabras claves, (3 a 5 términos): Adoquines de concreto, porcelanato reciclado, resistencia a la compresión.

¿Esta obra se desarrolló en la UANCV <sup>1,2</sup>?

1, 2

<sup>1</sup> Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entre otros relacionados.

<sup>2</sup> Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.



2. Referencia de tesis:

Bachiller  Título  2da Especialidad  Maestría  Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.

Con la autorización de depósito de mi producción Intelectual, otorgo a la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" consignará el nombre del y/o los autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

Autorizo su publicación (marque con una X)

Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.  
 Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): \_\_\_\_\_  
 No autorizo.

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?

Sí: significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

No: significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

Sí autorizo  
 No autorizo



**Jurisdicción de su Licencia**

Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción “internacional” o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción “internacional” emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, **la opción “internacional” goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral.** Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.

Internacional

Nacional

Línea de investigación: TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P17

Firma de Autor



huella digital

24 - DICIEMBRE - 2025

Fecha