

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL  
CUSCO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y FLEXIÓN EN  
ADOQUINES DE POLIPROPILENO Y ARENA, COMO  
ALTERNATIVA TECNOLÓGICA, PARA PAVIMENTOS DE  
TRÁNSITO PEATONAL, EN LA REGIÓN DEL CUSCO, 2022**

**PRESENTADO POR:**

- Br. CLARA ROMAINVILLE ALVAREZ
- Br. GUSMARO LUCKY SANTOS PILARES,

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

**ASESOR:**

Ing. NIETO PALOMINO, Luz Marlene

**CUSCO – PERU**

**2024**

# INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada: ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y FLEXIÓN EN APOQUIMES DE POLIPROPILENO Y ARENA COMO ALTERNATIVA TECNOLÓGICA PARA PAVIMENTOS DE TRÁNSITO PEATONAL EN LA REGIÓN DEL CUSCO, 2022

presentado por: BACH CLARA DOMINVILLE ALVAREZ con DNI Nro.: 70761872

presentado por: BACH GUSTAVO LUCKY SANTOS PILARES con DNI Nro.: 70867490

para optar el título profesional/grado académico de INGENIERO CIVIL

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 01 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 02%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	—
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	—

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 12 de febrero de 2024



Firma

Post firma ING. LUZ MADELENE NIETO POLOMINO

Nro. de DNI 23849232

ORCID del Asesor 0000-0001-6820-2758

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: \_\_\_\_\_

<https://unsaac.turnitin.com/viewer/submissions/oid:27259:330118290?locale=es-MX>

NOMBRE DEL TRABAJO

**TESIS SANTOS ROMAINVILLE.pdf**

AUTOR

**CLARA, GUSMARO ROMAINVILLE, SANTOS**

RECUENTO DE PALABRAS

**27766 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**149488 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**185 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**11.4MB**

FECHA DE ENTREGA

**Feb 12, 2024 11:57 AM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Feb 12, 2024 11:59 AM GMT-5**

### ● 2% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 2% Base de datos de Internet
- Base de datos de contenido publicado de Crossref
- Base de datos de Crossref

### ● Excluir del Reporte de Similitud

- Base de datos de publicaciones
- Material bibliográfico
- Material citado
- Base de datos de trabajos entregados
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 30 palabras)

## **PRESENTACIÓN**

SEÑOR DECANO DE LA FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL,  
SEÑORES CATEDRÁTICOS MIEMBROS DEL JURADO:

De conformidad con las disposiciones del Reglamento de Grados y Títulos para Optar al Título Profesional de Ingeniero Civil, ponemos a vuestra consideración la Tesis colectiva titulada: **“ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y FLEXIÓN EN ADOQUINES DE POLIPROPILENO Y ARENA, COMO ALTERNATIVA TECNOLÓGICA, PARA PAVIMENTOS DE TRÁNSITO PEATONAL, EN LA REGIÓN DEL CUSCO, 2022”**.

El presente trabajo es el resultado de la investigación experimental que perenniza los conocimientos recibidos de parte de todos los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil.

Esperando que el presente trabajo sirva de consulta para los estudiantes de la carrera profesional y los interesados del tema.

Clara Romainville Alvarez

Gusmaro L. Santos Pilares

## DEDICATORIA

A Dios, por estar presente cuando sentía que decaía, y me daba fuerzas para continuar

A mi madre, Lina Maribel Alvarez Altamirano, por ser fuente inagotable de dedicación, paciencia y apoyo incondicional

A mi familia por la compañía y los consejos brindados a lo largo de mi vida.

A mis amigos, por estar en la buenas y en las malas conmigo, dedicando palabras de aliento para seguir con este proyecto.

Clara Romainville Alvarez

## DEDICATORIA

En primer lugar, a Dios por darme  
sabiduría, fortaleza y guiarme durante mi carrera  
profesional.

Esta tesis va dedicada a mi madre, mi  
padre y mis hermanos; quienes día a día me  
motivaron a la realización de este proyecto.

A todos mis amigos quienes nos  
ofrecieron su tiempo para poder llevar a cabo  
este trabajo de investigación.

Gusmaro L. Santos Pílares

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos en primer lugar a Dios por todas sus bendiciones y por darnos la fortaleza necesaria para poder culminar esta etapa.

De igual manera, un agradecimiento a los docentes de la Facultad de Ingeniería Civil de nuestra primera casa de estudios UNSAAC, por todos los conocimientos y experiencias brindadas a lo largo de la carrera.

Un agradecimiento especial a cada persona que nos brindó parte de su valioso tiempo y nos ayudaron en la realización de esta tesis.

Al Ing. Raúl Castro Ccoscco, quién en vida, nos incentivó y alentó para poder concluir nuestro proyecto, será recordado como un ejemplo de excelencia profesional.

Clara Romainville Alvarez

Gusmaro L. Santos Pílares

## INDICE GENERAL

PRESENTACIÓN.....	II
DEDICATORIA .....	III
DEDICATORIA .....	IV
AGRADECIMIENTOS .....	V
CAPITULO I: Aspectos Generales .....	1
1.1. Planteamiento del Problema.....	1
1.2. Formulación del Problema.....	1
1.2.1. Problema General .....	1
1.2.2. Problema Específico .....	2
1.3. Objetivos de la Investigación .....	2
1.3.1. Objetivo General .....	2
1.3.2. Objetivo Específico .....	2
1.4. Justificación de la Investigación.....	2
1.5. Sistema de Hipótesis.....	3
1.5.1. Hipótesis General.....	3
1.5.2. Hipótesis Específica .....	3
1.6. Variables e Indicadores .....	3
1.6.1. Identificación de las Variables .....	3
1.7. Operacionalización de Variables .....	4
1.8. Matriz de Consistencia .....	5
CAPITULO II: Marco Teórico Conceptual.....	6
2.1. Antecedentes de la Investigación .....	6
2.1.1. Antecedentes Internacionales .....	6
2.1.2. Antecedentes Nacionales.....	9

2.2. Marco Conceptual .....	11
2.2.1. Pavimentos .....	11
2.2.2. Tipos de Pavimentos.....	11
2.2.3. Pavimentos Articulados.....	12
2.2.4. Adoquines .....	15
2.2.5. Adoquines de Polipropileno.....	18
2.2.6. Componentes de Adoquines de Polipropileno.....	18
2.2.7. Fabricación de Adoquines de Polipropileno.....	27
2.2.8. Propiedades de Adoquines de Polipropileno .....	29
CAPITULO III: Metodología y procedimiento.....	34
3.1. Metodología de la Investigación .....	34
3.1.1. Tipo y Diseño de Investigación.....	34
3.1.2. Población de Estudio .....	35
3.1.3. Tamaño de Muestra .....	35
3.1.4. Procedimiento de Muestreo .....	37
3.2. Procedimiento del Trabajo de Investigación .....	38
3.3. Obtención y Reciclaje del PP.....	38
3.4. Obtención de la Arena .....	41
Cantera Cunyac:.....	41
Cantera vicho:.....	42
3.5. Procedimiento de Ensayos de Laboratorio Iniciales.....	43
3.5.1. Análisis Granulométrico .....	43
3.5.2. Contenido de Humedad .....	46
3.5.3. Peso Específico y Absorción de Agregados .....	48
3.5.4. Peso Específico del Plástico .....	50

3.5.5. Peso Unitario y Porcentaje de Vacíos .....	53
3.6. Proceso de Elaboración del Adoquín.....	55
a) Adoquín 50% PP - 50% A.....	56
b) Adoquín 60% PP - 40% A.....	56
c) Adoquín 70% PP - 30% A .....	56
3.7. Ensayos de Laboratorio Para Determinar el Porcentaje Óptimo de Polipropileno de la Mezcla.....	62
3.7.1. Resistencia a la Compresión.....	62
3.7.2. Resistencia a la Flexión .....	66
3.8. Ensayos Adicionales a las Muestras con Porcentaje Óptimo de Polipropileno de la Mezcla.....	69
3.8.1. Resistencia a la Abrasión.....	69
3.8.2. Absorción .....	71
3.8.3. Durabilidad.....	72
CAPITULO IV: Resultados de la Investigación.....	76
4.1. Resultados de Ensayos de los Agregados.....	76
4.1.1. Resultados del Análisis Granulométrico .....	76
4.1.2. Resultados del Contenido de Humedad .....	79
4.1.3. Resultados del Ensayo de Peso específico y Absorción .....	79
4.1.4. Resultados del Ensayo de Peso Unitario y Contenido de vacios.....	81
4.2. Resultados de Ensayos a los Adoquines .....	82
4.2.1. Resultados del Ensayo de Resistencia a la Compresión de los Adoquines.....	82
4.2.2. Resultados del Ensayo de Resistencia a la Flexión de los Adoquines .....	86
4.3. Resultados de Ensayos a los Adoquines con Porcentaje Óptimo de Polipropileno y Arena .....	89
4.3.1. Resultados del Ensayo de Desgaste del Adoquín con % Óptimo de Polipropileno y Arena .....	89

4.3.2. Resultados del Ensayo de Absorción del Adoquín con % Óptimo de Polipropileno y Arena .....	89
4.3.3. Resultados del Ensayo de Durabilidad del Adoquín con % Óptimo de Polipropileno y Arena .....	90
CAPITULO V: Análisis y Discusión .....	91
5.1. Análisis de resultados.....	91
5.1.1. Análisis de Resultados de Resistencia a la Compresión de los Adoquines .....	91
5.1.2. Análisis de Resultados de Resistencia a la Flexión de los Adoquines.....	92
5.1.3. Análisis de Coeficiente de Poisson y Módulo de Elasticidad Longitudinal del Adoquín con % Óptimo de Polipropileno. ....	93
5.1.4. Análisis del Desgaste del Adoquín con % Óptimo de Polipropileno y Arena.....	99
5.1.5. Análisis del Porcentaje de Absorción del Adoquín con % Óptimo de Polipropileno y Arena .....	100
5.1.6. Análisis del Durabilidad del Adoquín con % Óptimo de Polipropileno y Arena..	100
5.1.7. Análisis de Costos Unitarios de Adoquines. ....	101
5.2. Discusión.....	104
CAPITULO VI: Conclusiones y Recomendaciones .....	106
Conclusiones.....	106
Recomendaciones.....	110
CAPITULO VII: Bibliografía.....	112
CAPITULO VIII: Anexos.....	117

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Operacionalización de variables .....	4
<b>Tabla 2</b> Matriz de consistencia .....	5
<b>Tabla 3</b> Clasificación del plástico por el sistema de codificación SPI .....	20
<b>Tabla 4</b> Granulometría del agregado fino.....	26
<b>Tabla 5</b> Valores de coeficiente de confiabilidad .....	36
<b>Tabla 6</b> Total de muestras por ensayo y dosificaciones.....	37
<b>Tabla 7</b> Total de muestras por ensayos adicionales .....	37
<b>Tabla 8</b> Tabla resumen de pesos de materias primas por dosificación de adoquines.....	57
<b>Tabla 9</b> Resumen de resultados de ensayos de laboratorio.....	76
<b>Tabla 10</b> Análisis granulométrico "agregado corregido".....	77
<b>Tabla 11</b> Análisis granulométrico "polipropileno" .....	78
<b>Tabla 12</b> Contenido de humedad "agregado corregido".....	79
<b>Tabla 13</b> Peso específico y absorción "agregado corregido" .....	80
<b>Tabla 14</b> Peso específico "polipropileno" .....	80
<b>Tabla 15</b> Peso unitario suelto "agregado corregido" .....	81
<b>Tabla 16</b> Peso unitario compactado "agregado corregido".....	81
<b>Tabla 17</b> Contenido de vacíos "agregado corregido" .....	82
<b>Tabla 18</b> Resultados de la resistencia a la compresión de adoquines tipo P50-50A.....	83
<b>Tabla 19</b> Resultados de la resistencia a la compresión de adoquines tipo P60-40A.....	84
<b>Tabla 20</b> Resultados de la resistencia a la compresión de adoquines tipo P70-30A.....	85
<b>Tabla 21</b> Resultados de la resistencia a la flexión de adoquines tipo P50-50A.....	86
<b>Tabla 22</b> Resultados de la resistencia a la flexión de adoquines tipo P60-40A.....	87
<b>Tabla 23</b> Resultados de la resistencia a la flexión de adoquines tipo P70-30A.....	88
<b>Tabla 24</b> Resultados de prueba de desgaste en muestras de P60 – 40A.....	89

<b>Tabla 25</b> Resultados de ensayo de absorción en muestras de P60 – 40A.....	89
<b>Tabla 26</b> Resultados de durabilidad a temperatura baja extrema en muestras de P60 – 40A .....	90
<b>Tabla 27</b> Resultados de durabilidad a temperatura alta extrema en muestras de P60 – 40A .....	90
<b>Tabla 28</b> ANOVA de la proporción para la resistencia a la compresión .....	91
<b>Tabla 29</b> Media de resistencia a la compresión por porcentaje e Intervalos de Confianza..	92
<b>Tabla 30</b> Prueba de Tukey para la agrupación de medias de resistencia a la compresión .	92
<b>Tabla 31</b> ANOVA de la proporción para la resistencia a la flexión .....	93
<b>Tabla 32</b> Media de resistencia a la flexión por porcentaje e Intervalos de Confianza.....	93
<b>Tabla 33</b> Análisis de Módulos de Elasticidad Longitudinal y Coeficiente de Poisson del Adoquín del tipo P50-50A .....	94
<b>Tabla 34</b> Análisis Módulos de Elasticidad Longitudinal y Coeficiente de Poisson del Adoquín del tipo P60-40A .....	95
<b>Tabla 35</b> Análisis de Módulos de Elasticidad Longitudinal y Coeficiente de Poisson del Adoquín del tipo P70-30A .....	96
<b>Tabla 36</b> Porcentaje de pérdida de resistencia a la compresión de adoquines expuestos a temperaturas extremas .....	100

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Componentes del pavimento articulado.....	13
<b>Figura 2.</b> Dimensionamiento del adoquín de concreto.....	15
<b>Figura 3</b> Adoquín no biselado.....	16
<b>Figura 4.</b> Adoquín biselado.....	17
<b>Figura 5</b> Adoquín parcialmente biselado .....	17
<b>Figura 6</b> Estructura química del Polímero.....	19
<b>Figura 7</b> Estructura del Polipropileno.....	21
<b>Figura 8</b> Clasificación del Suelo .....	24
<b>Figura 9</b> Simbología de Suelos Granulares .....	25
<b>Figura 10</b> Curva Arena Gradada .....	25
<b>Figura 11</b> Máquina Trituradora .....	27
<b>Figura 12</b> Máquina Extrusora .....	28
<b>Figura 13</b> Máquina extrusora de adoquines .....	29
<b>Figura 14</b> Resistencia a la compresión.....	30
<b>Figura 15</b> Prueba de flexión en adoquines .....	31
<b>Figura 16</b> Diagrama de flujo del procedimiento para la obtención de los adoquines.....	38
<b>Figura 17</b> Clasificación del plástico por colores en chatarrerías. ....	39
<b>Figura 18</b> Trituración del plástico en una máquina trituradora. ....	40
<b>Figura 19</b> Lavado de plástico triturado .....	40
<b>Figura 20</b> Secado a temperatura ambiente, del plástico triturado limpio.....	41
<b>Figura 21</b> Ubicación de la cantera Cunyac.....	42
<b>Figura 22</b> Ubicación de la cantera Vicho .....	42
<b>Figura 23</b> Selección de muestra representativa del agregado fino para granulometría.....	44
<b>Figura 24</b> Tamizado manual de agregado fino. ....	44

<b>Figura 25</b> Granulometría de agregado fino - arena de Cunyac.....	45
<b>Figura 26</b> Granulometría de agregado fino - arena de Vicho.....	45
<b>Figura 27</b> Granulometría de agregado fino corregido - 60% arena de Vicho + 40% arena de Cunyac.....	46
<b>Figura 28</b> Granulometría de plástico polipropileno. ....	46
<b>Figura 29</b> Contenido de humedad de agregado fino corregido - 60% arena de Vicho + 40% arena de Cunyac.....	48
<b>Figura 30</b> Peso específico de agregado fino corregido - 60% arena de Vicho + 40% arena de Cunyac.....	50
<b>Figura 31</b> Ensayo para hallar el peso específico del plástico.....	52
<b>Figura 32</b> Determinación del peso total del alcohol desfasado del recipiente. ....	52
<b>Figura 33</b> Peso unitario suelto del agregado fino corregido - 60% arena de Vicho + 40% arena de Cunyac.....	54
<b>Figura 34</b> Peso unitario compactado del agregado fino corregido - 60% arena de Vicho + 40% arena de Cunyac.....	55
<b>Figura 35</b> Porcentaje en peso de los diferentes tipos de adoquines.....	57
<b>Figura 36.</b> Adoquines de prueba con proporciones de 30% PP - 70% arena y 40% PP - 60% arena. ....	58
<b>Figura 37</b> Colocación de mezcla en la tolva de la extrusora.....	59
<b>Figura 38</b> Extrusión de mezcla y llenado del molde.....	59
<b>Figura 39</b> Cerrado de molde y compactación de la mezcla. ....	60
<b>Figura 40</b> Colocación del molde de adoquín en pozo de agua, para su enfriamiento. ....	60
<b>Figura 41</b> Desmoldamiento del adoquín.....	61
<b>Figura 42</b> Adoquines elaborados.....	61
<b>Figura 43</b> Dimensiones del adoquín.....	62
<b>Figura 44</b> Perpendicularidad de las aristas del adoquín.....	63
<b>Figura 45</b> Planicidad de las caras del adoquín.....	63

<b>Figura 46</b> Peso de adoquines.....	64
<b>Figura 47</b> Capping de adoquines para ensayo de compresión.....	64
<b>Figura 48</b> Colocación de adoquines con diales de deformación en la prensa hidráulica - Parte Delante.....	65
<b>Figura 49</b> Colocación de adoquines con diales de deformación en la prensa hidráulica - Parte Trasera.....	66
<b>Figura 50</b> Medida de tres lecturas por lado de adoquines.....	67
<b>Figura 51</b> Perpendicularidad de adoquines.....	67
<b>Figura 52</b> Planicidad de adoquines.....	68
<b>Figura 53</b> Marcado para colocación en ejes de las varillas de acero en la Máquina Universal.....	68
<b>Figura 54</b> Colocación de adoquines a la Máquina Universal.....	69
<b>Figura 55</b> Colocación de adoquines en la Máquina de Los Ángeles.....	70
<b>Figura 56</b> Prueba de abrasión en adoquines.....	71
<b>Figura 57</b> Determinación del peso saturado de adoquines en ensayo de absorción.....	72
<b>Figura 58</b> Ensayo a compresión de adoquines a temperaturas bajas.....	74
<b>Figura 59</b> Ensayo a compresión de adoquines a temperaturas altas.....	75
<b>Figura 60</b> Curva granulométrica "agregado corregido".....	77
<b>Figura 61</b> Curva granulométrica "polipropileno".....	78
<b>Figura 62</b> Gráfico esfuerzo vs deformación de adoquines tipo P50-50A.....	97
<b>Figura 63</b> Gráfico esfuerzo vs deformación de adoquines tipo P60-40A.....	98
<b>Figura 64</b> Gráfico esfuerzo vs deformación de adoquines tipo P70-30A.....	99
<b>Figura 65</b> Análisis de Costos Unitarios de Adoquines P50-50A.....	101
<b>Figura 66</b> Análisis de Costos Unitarios de Adoquines P60-40A.....	102
<b>Figura 67</b> Análisis de Costos Unitarios de Adoquines P70-30A.....	102

## RESUMEN

*Actualmente uno de los problemas ambientales más importantes que aqueja a la ciudadanía cusqueña, así como al país, es la generación de residuos plásticos, que al no ser administrados de manera eficiente llegan a contaminar los ríos, lagos y mares; causando enfermedades, por lo tanto, la presente investigación busca una alternativa de reciclaje mediante la fabricación de adoquines de polipropileno y arena para su aplicación en pavimentos de tránsito peatonal en la región. En el presente trabajo de investigación se realizó la fabricación de los adoquines mediante una máquina extrusora, utilizando 3 distintos tipos de porcentaje de mezcla (70% PP- 30% Arena, 60% PP- 40% Arena, 50% PP- 50% Arena), posteriormente estos especímenes se sometieron a pruebas para analizar su resistencia a compresión y resistencia a la flexión, adicionalmente se realizaron ensayo de absorción, abrasión y durabilidad a climas extremos para el porcentaje de mezcla de 60% PP- 40% Arena.*

*Luego de analizar los resultados de este estudio, se determinó el porcentaje óptimo de polipropileno de la mezcla, estableciendo que el porcentaje compuesto por 60% PP - 40% Arena, presenta mejor desempeño en cuanto a su fabricación, resistencia a la flexión y resistencia a la compresión, la cual es de  $383.15 \text{ kg/cm}^2$ , esta resistencia a la compresión es la más indicada para un pavimento de tránsito peatonal. Por otro lado, la proporción compuesta por 70% PP- 30% Arena, llegó a una resistencia a la compresión de  $358.86 \text{ kg/cm}^2$ , a pesar de que la mezcla es más trabajable, finalmente la proporción de 50% PP- 50% arena nos ofrece una resistencia a la compresión de  $431.78 \text{ kg/cm}^2$ , sin embargo, este es el más rígido.*

*En el caso de la resistencia a la flexión, se tuvo los siguientes resultados, para la proporción de 50% PP- 50% Arena se tiene un módulo de rotura de  $142.83 \text{ kg/cm}^2$ , mientras que para la proporción de 60% PP - 40% Arena, el módulo de rotura es de  $126.76 \text{ kg/cm}^2$ , por último, para la proporción de 70% PP- 30% Arena, el módulo de rotura es de  $116.70 \text{ kg/cm}^2$ .*

*También se realizó el análisis de costo unitario para los adoquines, teniendo los siguientes costos para el adoquín tipo P50-50A, P60-40A y P70-30A de S/ 1.67, S/ 1.89 y S/ 2.11 respectivamente, siendo estos más costosas, en comparación con el costo unitario de un adoquín de concreto convencional que actualmente tiene un costo de S/ 1.20.*

**Palabras clave:** *Adoquín; arena fina; reciclado de polipropileno; propiedades mecánicas*

## ABSTRACT

*Currently one of the most important environmental problems that afflicts the citizens of Cusco, as well as the country, is the generation of plastic waste, which, when not managed efficiently, contaminates rivers, lakes and seas; causing diseases, therefore, this research seeks a recycling alternative by manufacturing polypropylene and sand pavers for application in pedestrian traffic pavements in the region. In this research work, the paving stones were manufactured using an extruder machine, using 3 different types of mixture percentage (70% PP- 30% Sand, 60% PP- 40% Sand, 50% PP- 50% Sand ), subsequently these specimens were tested to analyze their compressive strength and flexural strength. Additionally, absorption, abrasion and durability tests were carried out in extreme climates for the mixture percentage of 60% PP- 40% Sand.*

*After analyzing the results of this study, the optimal percentage of polypropylene in the mixture was determined, establishing that the percentage composed of 60% PP - 40% Sand, presents better performance in terms of its manufacturing, resistance to bending and resistance to compression, which is 383.15 kg/cm<sup>2</sup>, this compression resistance is the most suitable for a pedestrian traffic pavement. On the other hand, the proportion composed of 70% PP- 30% Sand, reached a compressive strength of 358.86 kg/cm<sup>2</sup>, despite the fact that the mixture is more workable, finally the proportion of 50% PP- 50% sand It offers us a compression resistance of 431.78 kg/cm<sup>2</sup>, however, this is the most rigid.*

*In the case of flexural resistance, the following results were obtained: for the proportion of 50% PP - 50% Sand there is a modulus of rupture of 142.83 kg/cm<sup>2</sup>, while for the proportion of 60% PP - 40 % Sand, the modulus of rupture is 126.76 kg/cm<sup>2</sup>, finally, for the proportion of 70% PP- 30% Sand, the modulus of rupture is 116.70 kg/cm<sup>2</sup>.*

*The unit cost analysis was also carried out for the pavers, having the following costs for the paver type P50-50A, P60-40A and P70-30A of S/ 1.67, S/ 1.89 and S/ 2.11 respectively,*

*these being more expensive, compared to the unit cost of a conventional concrete paver, which currently costs S/ 1.20.*

**Keywords:** *Cobblestone; fine sand; recycled polypropylene; mechanical properties*

# **CAPITULO I: Aspectos Generales**

## **1.1. Planteamiento del Problema**

En la actualidad uno de los principales problemas es el exceso de residuos plásticos por lo que existe la necesidad de darle un uso más adecuado y sostenible con la intención de buscar alternativas para reciclar y luego transformarlos para darle mejor uso y así evitar la contaminación. En el campo de la construcción se busca hacer uso de materiales alternativos que cumplan las exigencias estructurales y de resistencia estrictas dependiendo lo requerido. El plástico está cumpliendo un papel importante en el sector construcción ya que, al fundirlo y combinarlo con arena, podría llegar a cumplir estándares mínimos de resistencia a la compresión y flexión requeridos en la construcción de pavimentos.

El fin del prototipo del adoquín de polipropileno con arena consiste, aparte de ser una alternativa ecológica, duradera, de fácil instalación y eco amigable en verificar si existe una mejora en las propiedades mecánicas ante esfuerzos para posteriormente ser utilizada como una nueva alternativa en la construcción de pavimentos, pudiendo llegar a obtener resultados favorables respecto al ensayo de compresión y flexión. Los adoquines se pueden aplicar para varios casos como aceras, plazas públicas, jardines, acceso a viviendas, patios, exteriores, etc. Sus ventajas, respecto a otros pavimentos se debe por la facilidad de colocación, mantenimiento económico y reutilización, además porque resisten a grandes agentes atmosféricos y grandes cargas sobre su superficie (Hernandez Cepeda, 2018).

Según (Chaves Pabon et al., 2020), los adoquines elaborados con plástico reciclado, resisten en promedio una mayor carga a compresión, así como se observa que el Módulo de Rotura ( $M_r$ ) es mayor, en comparación a un adoquín de concreto hidráulico.

## **1.2. Formulación del Problema**

### **1.2.1. Problema General**

¿En qué medida mejoran las propiedades de resistencia del adoquín compuesto por polipropileno y arena, como alternativa tecnológica, para pavimentos de tránsito peatonal en la región del Cusco?

### **1.2.2. Problema Específico**

PE1: ¿Cómo varía la resistencia a la compresión de los adoquines para pavimentos de tránsito peatonal, con diferentes dosificaciones de polipropileno y arena?

PE2: ¿Cómo varía la resistencia a la flexión de los adoquines para pavimentos de tránsito peatonal, con diferentes dosificaciones de polipropileno y arena?

PE3: ¿Cuál será el costo unitario de los adoquines para pavimentos de tránsito peatonal, con diferentes dosificaciones de polipropileno y arena frente al adoquín de concreto?

### **1.3. Objetivos de la Investigación**

#### **1.3.1. Objetivo General**

Determinar en qué medida mejoran las propiedades de resistencia del adoquín compuesto por polipropileno y arena, como alternativa tecnológica, para pavimentos de tránsito peatonal en la región del Cusco

#### **1.3.2. Objetivo Específico**

O1. Determinar el porcentaje óptimo de polipropileno y arena en la elaboración de adoquines de tránsito peatonal, para obtener la mejor resistencia a la compresión.

O2. Determinar el porcentaje óptimo de polipropileno y arena en la elaboración de adoquines de tránsito peatonal, para obtener la mejor resistencia a la flexión.

O3. Cuantificar el costo unitario de los adoquines de tránsito peatonal, con diferentes dosificaciones de polipropileno y arena frente al adoquín convencional.

### **1.4. Justificación de la Investigación**

Desde el punto de vista práctico, la presente investigación busca darle un nuevo uso al polipropileno reciclado, para disminuir los problemas ambientales que nos aquejan hoy en día; y de esta manera demostrar que existen materiales reciclados que después de realizarse un proceso de transformación pueden ser nuevamente utilizados, otorgándoles un mejor uso y funcionamiento.

Esta investigación propone elaborar adoquines de polipropileno y arena que servirán para ser utilizados en pavimentos de uso peatonal y que cumplan con los requisitos

mínimos de resistencia en cuanto a compresión y flexión. Este estudio ayudará a darles un uso adicional a estos materiales, los cuales podrán ser utilizados por las entidades públicas como las alcaldías de distritos para realizar trabajos de mantenimiento en parques, veredas, etc.

Por otra parte, se buscan nuevos materiales que a la larga tengan un menor costo en cuanto a su utilización y que puedan ser accesibles para los usuarios de menores recursos económicos. Finalmente, ya que este es un material de reciente creación, se busca el planteamiento de nuevas normas y reglamentos adecuados para su utilización de manera industrial.

## **1.5. Sistema de Hipótesis**

### **1.5.1. Hipótesis General**

Los adoquines compuestos por polipropileno y arena, verifican mejores resultados en las propiedades de resistencia, como alternativa tecnológica para pavimentos de tránsito peatonal en la región del Cusco.

### **1.5.2. Hipótesis Específica**

H1. El porcentaje óptimo de polipropileno y arena en la elaboración de adoquines, arroja resultados favorables en la resistencia a la compresión.

H2. El porcentaje óptimo de polipropileno y arena en la elaboración de adoquines, arroja resultados favorables en la resistencia a la flexión.

H3. El costo unitario de los adoquines con diferentes dosificaciones de polipropileno y arena, para tránsito peatonal, es más económico frente al adoquín de concreto.

## **1.6. Variables e Indicadores**

### **1.6.1. Identificación de las Variables**

#### **Variable Independiente:**

Adoquines de polipropileno y arena.

#### **Variable Dependiente:**

Resistencia a la compresión y flexión.

## 1.7. Operacionalización de Variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
<b>Variable independiente:</b>	El polipropileno es ampliamente utilizado para la producción de plásticos moldeados debido a la excelente combinación de propiedades que presenta como peso ligero y resistencia al impacto.(Caicedo et al., 2017)	El porcentaje de polipropileno y arena en los adoquines a elaborar se medirán en base al volumen total del adoquín de dimensiones establecidas.	D1: Volumen Polipropileno	I1: Peso de polipropileno (gr)
Porcentaje de polipropileno y arena			D2: Volumen Arena	I2: Peso de arena (gr)
<b>Variable dependiente</b>	De todas las características mecánicas posibles de ser controladas en un material de construcción, en las normas técnicas de producto se seleccionan sólo algunas, debido a que determinados ensayos son difíciles de implementar.(Arango Londoño, 2006)	La resistencia a la compresión de adoquines, se define como la relación que existe entre la carga de rotura y su sección transversal horizontal. (NTP 399.611, 2017)  La resistencia a la flexión consiste en ejercer una fuerza sobre la cara superior del elemento que está apoyado en dos barras inferiores estáticos, mediante una barra superior transversal (NTG 41087 h1, 2012)	D1: Resistencia a compresión	I1: f'c (Mpa) (Kg/cm2)
Resistencia a la compresión y flexión.			D1: Resistencia a flexión	I2: Módulo de rotura (Mpa) (kg/cm2)

Fuente: Elaboración propia

## 1.8. Matriz de Consistencia

Tabla 2

Matriz de consistencia

Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variable Independiente	Indicadores	Metodología de investigación
¿En qué medida mejoran las propiedades de resistencia del adoquín compuesto por polipropileno y arena, como alternativa tecnológica, para pavimentos de tránsito peatonal en la región del Cusco?	Determinar en qué medida mejoran las propiedades de resistencia del adoquín compuesto por polipropileno y arena, como alternativa tecnológica, para pavimentos de tránsito peatonal en la región del Cusco.	Los adoquines compuestos por polipropileno y arena, verifican mejores resultados en las propiedades de resistencia, como alternativa tecnológica para pavimentos de tránsito peatonal en la región del Cusco.	% de polipropileno y arena	I1: Peso de polipropileno (gr)	<b>Enfoque:</b> Cuantitativo
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicos	Variable Dependiente		Orientación:
¿Cómo varía la resistencia a la compresión de los adoquines para pavimentos de tránsito peatonal, con diferentes dosificaciones de polipropileno y arena?	Determinar el porcentaje óptimo de polipropileno y arena en la elaboración de adoquines de tránsito peatonal, para obtener la mejor resistencia a la compresión	El porcentaje óptimo de polipropileno y arena en la elaboración de adoquines, arroja resultados favorables en la resistencia a la compresión		I2: Peso de arena (gr)	Aplicada.
¿Cómo varía la resistencia a la flexión de los adoquines para pavimentos de tránsito peatonal, con diferentes dosificaciones de polipropileno y arena?	Determinar el porcentaje óptimo de polipropileno y arena en la elaboración de adoquines de tránsito peatonal, para obtener la mejor resistencia a la flexión	El porcentaje óptimo de polipropileno y arena en la elaboración de adoquines, arroja resultados favorables en la resistencia a la flexión	Resistencia a la compresión y flexión	I1: f'c (Mpa) (Kg/cm2)	<b>Método:</b> Deductivo
¿Cuál será el costo unitario de los adoquines para pavimentos de tránsito peatonal, con diferentes dosificaciones de polipropileno y arena frente al adoquín de concreto?	Cuantificar el costo unitario de los adoquines de tránsito peatonal, con diferentes dosificaciones de polipropileno y arena frente al adoquín convencional.	El costo unitario de los adoquines con diferentes dosificaciones de polipropileno y arena, para tránsito peatonal, es más económico frente al adoquín de concreto.		I2: Módulo de rotura (Mpa) (kg/cm2)	<b>Tipo:</b> Descriptivo
					<b>Diseño:</b> Experimental.

Fuente: Elaboración propia

## **CAPITULO II: Marco Teórico Conceptual**

### **2.1. Antecedentes de la Investigación**

#### **2.1.1. Antecedentes Internacionales**

Según (Marín Parra, 2019) en la tesis titulada: “Dejando huella Pavimentos a partir de plásticos de fácil adquisición” fijó como objetivo: Desarrollar un modelo de baldosa, por medio de polietileno de Alta densidad (HDPE) reciclado que ayuden a optimizar los recursos para obtener un menor costo, se pueda autofabricar y cumplir con los requerimientos establecidos por la comunidad de El Guabal. Obteniendo los siguientes resultados, los adoquines son perfectamente compactos y resistentes; por otra parte, se evidenció que para una producción masiva se necesitaría una prensa hidráulica y una trituradora de plástico con una inversión inicial de 3 mil pesos.

Según (Chaves Pabon et al., 2020), en el artículo titulado: “Technical and economic comparison between recycled plastic and hydraulic concrete paver”, tiene como objetivo: Determinar la resistencia técnica - económica y la eficiencia de los adoquines hechos de plásticos recuperados en comparación con los de concreto hidráulico, para lo cual se trituró el plástico en pequeños trozos, luego se calentó hasta que se derritiera para posteriormente añadirle arena, y así depositarlo en los moldes hasta que lleguen a enfriarse. Se obtuvo los resultados: los costos de producción de los adoquines de plástico son económicamente ventajosos frente al de hormigón hidráulico en 90 pesos colombianos aproximadamente. Por otra parte, el tiempo de curado de los adoquines de concreto hidráulico es 28 días mientras que los adoquines de plástico reciclado se pueden utilizar en 24 horas o una vez que estén completamente fríos.

En cuanto a la resistencia a flexión los adoquines de plástico obtuvieron una carga máxima de 36.77 kN frente a los adoquines de hormigón que tienen 19.64 kN superándolo en un 53% de carga máxima. En la prueba de compresión los adoquines de plástico soportan una carga de 460 kN mientras que el valor máximo de los adoquines de hormigón tiene una carga de 340 kN registrados en la máquina universal.

Según (Valbuena Guevara, 2021), en la tesis titulada: "Diseño y prototipaje de adoquín de bajo tráfico vehicular tipo gramadoquín usando plástico de alta densidad reciclado tipo HDPE" fijó como objetivo: Comparar la resistencia de un adoquín gramadoquín elaborado con materiales plásticos HDPE con uno de concreto, realizando un análisis de impacto ambiental y costos; con el fin de obtener un diseño de un adoquín gramadoquín validado en laboratorio como nuevo producto en la construcción de vías a partir del reciclaje de un residuo altamente contaminante para nuestro planeta. El método de investigación para este proyecto fue experimental cuantitativo y obtuvo los siguientes resultados: Para la resistencia a la compresión se obtuvo un promedio de 13.82 MPa en el adoquín de HDPE con Polímero mientras que en el adoquín de HDPE con Concreto Hidráulico un promedio de 33.37 MPa. Para la resistencia a la flexotracción se obtuvo un promedio de 2.45 MPa en el adoquín de HDPE con Polímero mientras que en el adoquín de HDPE con Concreto Hidráulico un promedio de 2.61 MPa.

Según (Susila et al., 2019), en el artículo titulado: "The effect of composition of plastic waste low density polyethylene (LDPE) with sand to pressure strength and density of sand/LDPE composites" fija como objetivo que el propósito de este estudio es determinar el efecto del uso de residuos de LDPE en una mezcla de arena con proporciones de 1:3, 1:5 y 1:7 con temperatura de calentamiento de 200°C sobre la resistencia a la compresión y densidad de compuestos de arena/LDPE. Obtuvo los siguientes resultados: La mayor resistencia a la compresión promedio fue resultado de la muestra que tiene una proporción de 1:3 de plástico y arena con un grano de arena de 3 mm y una temperatura de calentamiento de 200°C que es igual a 32.7MPa. Mientras que la resistencia a la compresión promedio más baja fue obtenida por la muestra que tiene una proporción de 1:7 de plástico y arena, gránulos de 3 mm y temperatura 200°C con una resistencia a la compresión de 12,0 (MPa).

Según (Sanjeev Salvi et al., 2021), en el artículo titulado: "A study of waste plastic used in paving block", estableció como objetivos: Determinar idoneidad de los residuos plásticos en la elaboración de bloques, evaluar la resistencia a la compresión y la

durabilidad de adoquines de hormigón ordinario y adoquines de plástico y producir adoquines rentables y ecológicos que una persona común puede pagar fácilmente. Obteniendo los siguientes resultados: Para los ensayos de resistencia a la compresión, los adoquines tipo B1 compuestos de 40% de plástico alcanzaron una resistencia promedio de 24.49 MPa, mientras que los de tipo B2 con el 50 % de plástico, llegaron a una resistencia promedio de 21.08 MPa, por otro lado, el adoquín tipo B3 compuesto por el 60% de plástico solo llegó a una resistencia promedio de 16.43 MPa. En el caso del análisis de absorción, los adoquines de tipo B3 presentaron un mayor porcentaje de absorción (2.42%) mientras que los de tipo B2 y B1 tuvieron un porcentaje de absorción menor (0.73% y 0.55% respectivamente).

(Muigai, 2022), en su tesis de maestría titulada: “ Suitability of plastic paving blocks for construction of non-motorised transport facilities” establece como objetivo principal, evaluar la idoneidad de los adoquines de plástico para su uso en la construcción de instalaciones de transporte no motorizado en Kenia, para lo cual se investigó las propiedades físicas y mecánicas de los adoquines de plástico, así como también la diferencia del costo de compra de los adoquines de hormigón y plástico. De este estudio los resultados concluyeron en que los adoquines de plástico tienen una resistencia a la tracción promedio de 2,0 MPa, el cual está dentro del promedio recomendado por la norma SANS 1058:2021, por lo cual estos se pueden utilizar para pavimentos de bajo tráfico. Con referencia al ensayo de abrasión, los especímenes tienen una pérdida de masa promedio de 0.09gr, valor que no excede la pérdida de peso recomendada de 15gr, con lo cual se concluye que los adoquines de plástico pueden resistir el deterioro de la superficie debido a la alta acción abrasiva. En cuanto al costo, se concluyó que estos adoquines cuestan 40 \$ más en comparación con los adoquines fabricados con hormigón. Sin embargo, el uso de desechos plásticos tiene un impacto positivo en la contaminación ambiental, ayudando a reducirlo; por lo tanto, este estudio recomienda que los adoquines de plástico son adecuados para su uso en la construcción de instalaciones de transporte no motorizado.

### **2.1.2. Antecedentes Nacionales**

Según (Turpo Mamani, 2019), en la tesis titulada: “Reciclado de plástico (PET) para la elaboración de adoquín mediante el proceso de extrusión” fijó como objetivo: Reutilizar plástico (PET) en la elaboración de adoquín mediante el proceso de extrusión. El método de investigación fue cuantitativo, diseño experimental. Obtuvo los siguientes resultados: El adoquín con adición de PET y arena fina posee mejores resultados respecto al convencional, sin embargo, la muestra de adoquín con 30% PET y 70 % de arena trabaja mejor a esfuerzos de carga y esfuerzo, esta tiene mayor resistencia a compresión con 220.6 kg/cm<sup>2</sup> frente a los adoquines de 100% PET, 100%PET, 75%PET - 25%Arena fina y 50%PET - 50% Arena.

Según (Ambicho Aquino, 2022), en la tesis titulada “Polietileno fundido como material cohesivo de adoquines para pavimento articulado en zonas urbanas carentes de servicios básicos - Huancayo 2020”, los objetivos fueron: determinar la resistencia a compresión, peso específico y el costo del pavimento articulado de polietileno fundido. El nivel de investigación es correlacional con un diseño experimental donde se usó plástico PET, PVC y LDPE como materia prima con espesores de 4, 5, 6, 7 y 8 cm. Se concluye que los valores más altos de resistencia a compresión fueron de los adoquines de PVC llegando a 425.69 kg/cm<sup>2</sup> lo cual presenta una mejora en 25.20% de la resistencia de un adoquín convencional elaborado de concreto. Por otra parte, los adoquines de PET presentan una mejora de 3.78% y los adoquines de LDPE presentan un 1.64% por debajo de la resistencia del adoquín convencional.

También se concluye que los adoquines de PET, PVC y LDPE se ven alterados con el espesor reduciendo en 4.19% de la resistencia a la compresión a medida que se pierde 1 centímetro de espesor. En cuanto a la absorción disminuye en 21.51% a medida que se pierde 1 cm de espesor en el adoquín.

Los costos del adoquín de polietileno fundido son más económicos que un adoquín convencional, existiendo un ahorro del 9.55% para el adoquín de espesor 8 cm reduciendo progresivamente en un 9.12% a medida que pierde 1 centímetro de espesor.

Según (Belizario Mamani, 2022), en la tesis titulada: “Propuesta de utilización de adoquines de agregado fino y grueso con la adición de plástico reciclado para fines de pavimentación, Arequipa” tiene como objetivo: Mejorar las propiedades físicas y mecánicas de los adoquines de plástico reciclado con agregado fino y grueso. El estudio es del tipo experimental cuantitativo en el cual se tuvo 12 especímenes con diferentes tratamientos lo cual se usaron agregados fino y grueso con la adición de plásticos reciclados PET, PP y LDPE. Se obtuvo como resultados: Que el porcentaje de agregado fino y grueso incide en la resistencia a la compresión del adoquín de plástico reciclado mejorando las propiedades mecánicas. En cuanto al peso se observó que es menor al de un adoquín convencional y que la absorción es casi nula. Además, la investigación confirma que la proporción de 80% de plástico reciclado con 20% de agregado fino y grueso tienen una mejor resistencia a la compresión de 135 kg/cm<sup>2</sup>.

Según (Meza Puchoc & Navarro Lazo, 2023) en la tesis titulada “Diseño con plástico reciclado adicionando piedra chancada variable para elaboración de adoquines de pavimento, 2022”, el cual tiene como objetivo determinar cómo el diseño con polipropileno o polietileno tereftalato, adicionando piedra chancada variable influye en la elaboración de adoquines de tipo I. El enfoque fue cuantitativo, de nivel explicativo y diseño experimental puro. La muestra fue de 50 adoquines (3 adoquines con 50% de plástico reciclado fundido, 3 adoquines con 60% de plástico reciclado fundido, 3 adoquines con 70% de plástico reciclado fundido, 3 adoquines con 80% de plástico reciclado fundido, 3 adoquines con 90% de plástico reciclado fundido y 5 adoquines con 100% de plástico reciclado fundido), todo el proceso se realizó adicionando piedra chancada de  $\frac{3}{4}$ ”,  $\frac{1}{2}$ ” y  $\frac{3}{8}$ ”. Se obtuvo de resultado que el adoquín más resistente a la compresión fue con material de 80% plástico reciclado y piedra chancada de  $\frac{1}{2}$ ” al 20%, obteniéndose una resistencia de 253.9 kg/cm<sup>2</sup>, el cual no cumple con los parámetros de resistencia de la NTP 399.611 adoquines convencionales para pavimento. Además, se contrastó que el precio de elaboración para un metro cúbico de mezcla es de S/ 266.66 en comparación con los adoquines convencionales su precio se reduce en un 90%.

## **2.2. Marco Conceptual**

### **2.2.1. Pavimentos**

Según (Montejo Fonseca, 2002), el pavimento es un conjunto de capas superpuestas, las cuales se diseñan y construyen con materiales apropiados y compactados; estas se apoyan sobre la subrasante del camino y deben resistir los esfuerzos de las cargas de tránsito durante un periodo de diseño.

### **2.2.2. Tipos de Pavimentos**

Según el material que componen los pavimentos estos se clasifican en:

- Pavimentos de cerámica: son elementos fabricados a base de arcilla cocida, las cuales se usan en pavimentos de tránsito peatonal leve y moderado.
- Pavimentos de piedra: Estos pavimentos son fabricados a partir de piedra natural, los cuales son cortados para el tamaño adecuado para disponer de su uso, la mayoría son de piedra pizarra, arenisca, granito, calizas, mármol y alabastro.
- Pavimentos de concreto: Estos elementos son compactados, fabricados por compresión y vibración con una forma y espesor uniforme.
- Pavimentos de asfalto: Este tipo de pavimentos está conformado por agregados y el aglutinante de emulsión asfáltica.
- Pavimentos de plástico: Este tipo de pavimentos utiliza como material polímeros que tienen la función de aglutinante.

Según (Montejo Fonseca, 2002) los adoquines también se pueden clasificar según la transmisión de carga

- Pavimentos rígidos: Están compuestos por una losa de concreto hidráulico sobre una subrasante o sub-base; la distribución de los esfuerzos se da en una zona muy amplia debido al alto coeficiente de elasticidad y alta rigidez del concreto hidráulico.
- Pavimentos semirígidos: Tienen la misma estructura de un pavimento flexible, pero una de sus capas se encuentra rigidizada con un aditivo como asfalto, cemento, emulsión, cal y químicos; los cuales tienen la función de corregir o modificar

propiedades mecánicas de los materiales que no son aptos para la construcción de las capas del pavimento.

- Pavimentos flexibles: La capa superficial de este pavimento está conformada por una mezcla de material granular y bituminoso, la cual está apoyada sobre dos capas no rígidas (base y sub-base).
- Pavimentos articulados: Estos están compuestos por una capa de rodadura elaborada con bloques prefabricados llamados adoquines, de espesor uniforme e igual entre sí, los cuales van apoyados sobre una delgada capa de arena; a su vez sobre una capa granular o sobre la subrasante.

### **2.2.3. Pavimentos Articulados**

Los pavimentos articulados son aquellos que están compuestos por adoquines, los cuales están sobre una capa delgada de arena a modo de cama de apoyo y debajo de ella se ubica una capa de base granular o subrasante. (Higuera Sandoval & Pacheco Merchán, 2010)

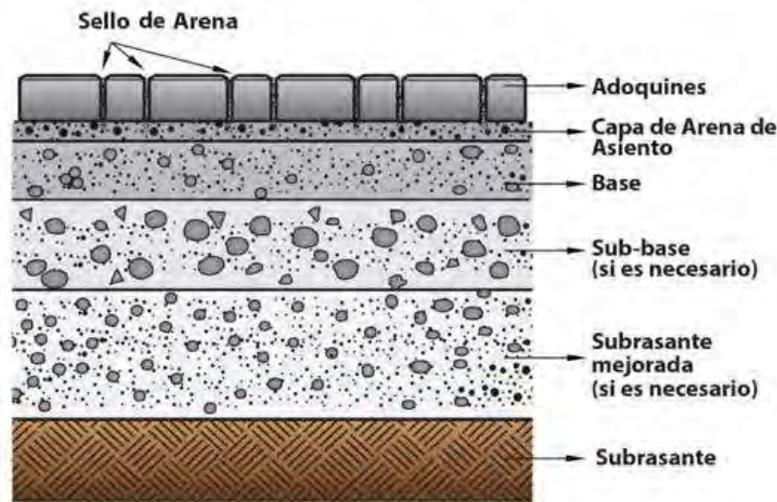
#### **Componentes.**

Según (Montejo Fonseca, 2002), el pavimento articulado está compuesto por 4 capas.

- La primera capa es conocida como la base, la cual se encuentra entre la subrasante y la capa de rodadura, tiene la función de proporcionar capacidad estructural al pavimento.
- El segundo componente es la capa de arena, constituida de arena gruesa limpia que se coloca sobre la base y sirve como filtro para el agua que penetra por las juntas entre los adoquines.
- El tercer componente son los adoquines, los cuales deben tener una resistencia adecuada para soportar las cargas de tránsito y el desgaste producido por estos.
- Por último, el sello de arena, compuesto por arena fina el cual se coloca entre las juntas de los adoquines y sirve como un sello, haciendo que todo funcione conjuntamente.

**Figura 1.**

*Componentes del pavimento articulado*



*Fuente:* (Montejo Fonseca, 2002)

### **Proceso Constructivo.**

(Nuñez Villalón, 2008) menciona las siguientes etapas en el proceso constructivo de un pavimento articulado.

- Preparación de la subrasante: La subrasante se construye de la misma manera que un pavimento tradicional, teniendo cuidado de mantener un adecuado tratamiento de aguas, compactación y capacidad suficiente para soportar las cargas de tránsito.
- Sub-base: Para la construcción de la sub-base igualmente se siguen las mismas consideraciones que de los pavimentos tradicionales, asegurando una compactación mínima y homogénea en toda la base.
- Restricción de borde: Es importante para evitar el desplazamiento lateral de los adoquines y la apertura de juntas. Los bordes pueden ser soleras tradicionales o bloques que se colocan luego de la base.
- Capa de arena: Es recomendable que la cama de arena tenga un espesor de 30mm la cual debe ser esparcida suavemente hasta el nivel de referencia.
- Colocación de adoquines: Teniendo cuidado en el traslado y acopio para no alterar la calidad y estado inicial, su instalación dependerá del aparejo de colocación, debiendo cortar los adoquines para así ocupar espacios en la superficie de rodado

que pudieran quedar libres. Al momento de la colocación se debe evitar pisar la cama de arena, y los adoquines deben colocarse de manera que quede una junta no mayor a 5 mm entre las caras laterales.

- Vibrado del pavimento: La compactación se realiza luego de la colocación de los adoquines manteniendo un metro de distancia con el borde, para proporcionar una superficie de rodadura plana y prevenir los asentamientos ante las cargas, se debe realizar 2 a 3 pasadas en la compactación.
- Sellado de arena: Con la ayuda de escobillones se esparce arena fina una vez que se haya realizado la compactación, aplicando 2 a 3 pasadas de compactación adicionales para llenar las juntas con arena. Por último, se retira el exceso de material.

#### **Ventajas del Pavimento Articulado.**

El (IECA, 2014), menciona algunas ventajas del pavimento articulado como:

- Escasos gastos de conservación: El mantenimiento de un pavimento de adoquines, que está sometido a la acción del medio ambiente y a cargas de servicio, se reduce a la eventual eliminación de la vegetación que se desarrolla entre las juntas de los bloques y el reemplazo de la arena de sello. En este pavimento se tiene la posibilidad de ser reutilizado con mayor facilidad, por lo tanto, tiene un mayor valor residual, y esto es aplicable en zonas donde aún no se cuenta con los servicios básicos instalados, o para zonas de rellenos susceptibles al asentamiento.
- Amplias posibilidades expresivas: Debido a su facilidad de diversificar su forma y la variedad de colores, los adoquines son piezas que admiten múltiples combinaciones en cuanto al diseño, por lo cual se consigue un importante efecto estético.
- Ventajas medioambientales: Independientemente del material con el cual es fabricado el adoquín, este presenta ciertas ventajas medioambientales, debido a la durabilidad del material y la posibilidad del uso de materiales locales para su fabricación, También se debe considerar la facilidad de transporte lo que disminuye los impactos medioambientales. Por otra parte, la característica de su reciclado

aumenta sus ventajas en cuanto al impacto ambiental que tienen otros tipos de pavimentos.

- Facilidad de instalación: Como anteriormente se señaló, los adoquines son de fácil transporte y colocación, debido a lo compacto de su forma y la factibilidad de maniobras con una sola mano al momento de su instalación.

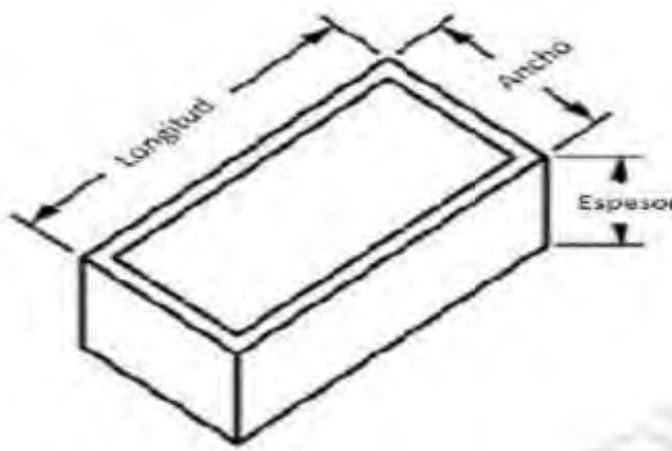
#### **2.2.4. Adoquines**

El (IECA, 2014), menciona que los adoquines son los elementos que forman parte del pavimento y que tiene mayor calidad, ya que recibe las cargas de tránsito de manera directa y las trasmite a las capas inferiores amortiguándolas, además de resistir la acción de los agentes atmosféricos.

Los adoquines son piezas que han pasado por un proceso de vibro compactación, asegurando un tránsito más rápido, confortable, seguro, además de ser económicos y tener un mejor comportamiento ante las lluvias. La norma (UNE-EN 1338, 2004), respecto al espesor de los adoquines indica si es inferior a 100 mm, el largo y ancho deberá ser de +/- 2 mm y el espesor de +/- 3 mm. En cambio, si el espesor del adoquín es igual o inferior a 100 mm, el largo y ancho será de +/- 3 mm y el espesor de +/- 4 mm.

#### **Figura 2.**

*Dimensionamiento del adoquín de concreto*



*Fuente:* NTP 399.611 (2017)

### **Clasificación de Adoquines.**

En el presente trabajo de investigación se toman en cuenta las normas técnicas: (NTG 41086, 2012), (NTC 2017, 2004), (NTP 399.611, 2017) y (NTE INEN 1 484, 1986).

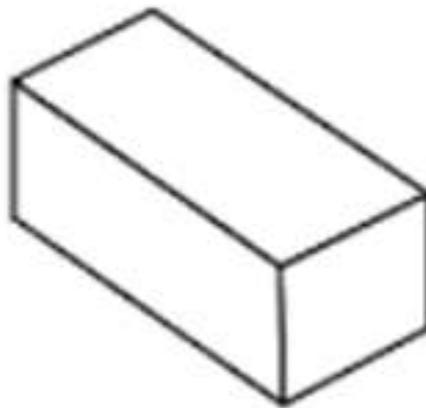
#### ***Clasificación de Adoquines Según Aristas.***

La Norma Técnica Colombiana (NTC 2017, 2004) - Adoquines de concreto para pavimento, define a los adoquines debido a sus aristas, dicha clasificación se puede aplicar a los adoquines elaborados con otros materiales como el plástico:

- a) Adoquín no biselado: También prismático, es el adoquín de perfil inclinado, que no tiene bisel ni tampoco otra modificación en las aristas que corresponde a la cara de desgaste.

#### **Figura 3**

*Adoquín no biselado*

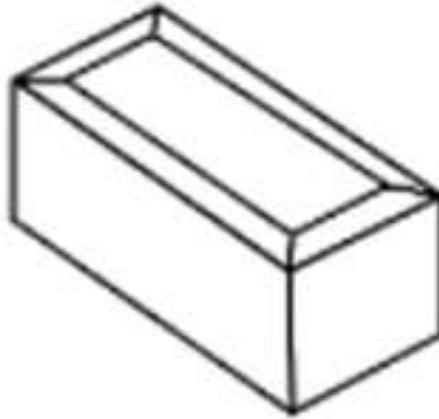


*Fuente:* (NTC 2017, 2004)

- b) Adoquín biselado: Es el adoquín que tiene la cara de desgaste limitada por un bisel en todas sus aristas.

**Figura 4.**

*Adoquín biselado*

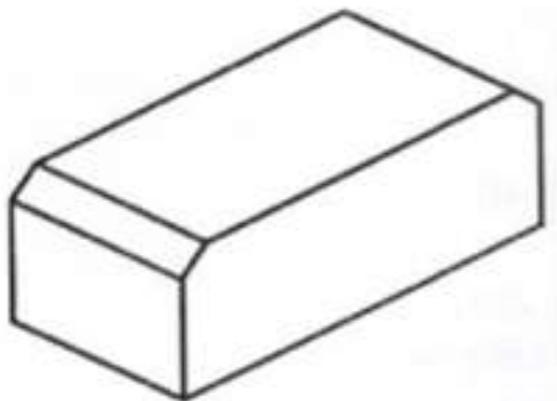


*Fuente:* (NTC 2017, 2004)

- c) Adoquín parcialmente biselado: Es el adoquín que tiene la cara de desgaste limitada por un bisel en alguna de sus aristas.

**Figura 5**

*Adoquín parcialmente biselado*



*Fuente:* (NTC 2017, 2004)

### ***Clasificación Según Tipo de Tránsito.***

Según la (NTP 399.611, 2017), los adoquines de concreto, se clasifican en tres tipos, Cabe precisar que esta clasificación se puede aplicar a los adoquines elaborados con otro tipo de materiales.

- a) Tipo I: Adoquines para pavimentos de uso peatonal.
- b) Tipo II: Adoquines para pavimentos de tránsito vehicular ligero.
- c) Tipo III: Adoquines para pavimentos de tránsito vehicular pesado, patios industriales y contenedores.

### ***2.2.5. Adoquines de Polipropileno***

Estos adoquines están compuestos por un tipo de polímero denominado polipropileno, los cuales tienen la función de aglutinante en la mezcla con arena, para que estos lleguen a unirse con la arena, pasan por un proceso de calentamiento para que puedan ser moldeados a una forma determinada.

### ***2.2.6. Componentes de Adoquines de Polipropileno***

Los componentes de los adoquines de polipropileno son:

#### ***2.2.6.1. Polímero***

Los polímeros son estructuras complejas formadas por la asociación de moléculas más pequeñas llamadas monómeros para formar grandes cadenas lineales, dando lugar a polímeros de alto peso molecular.

Según (Wulf Rodriguez, 2008), son sustancias con alto peso molecular formada por miles de moléculas pequeñas monómeros, estas moléculas gigantes toman formas diversas (compuestos químicos con moléculas simples).



**Tabla 3**

*Clasificación del plástico por el sistema de codificación SPI*

Icono	Descripción	Reciclaje
 <b>PET</b>	PET Tereftalato de Polietileno	Una vez reciclado el PET se puede utilizar en muebles, alfombras, fibras textiles, piezas de automóvil y ocasionalmente en nuevos envases de alimentos.
 <b>HDPE</b>	HDPE Polietileno de alta densidad	De muy diversas formas, como en tubos, botellas de detergentes y limpiadores, muebles de jardín, botes de aceite, etc
 <b>PVC</b>	PVC o vinilo Cloruro de polivinilo  <i>*Prohibido envasar productos alimenticios.</i>	No se recicla muy habitualmente. Se utiliza en paneles, tarimas, canalones de carretera, tapetes ... Puede soltar diversas toxinas (no hay que quemarlo ni dejar que toque alimentos).
 <b>LDPE</b>	LDPE Polietileno de baja densidad	Se puede utilizar de nuevo en contenedores y papeleras, sobres, paneles, tuberías o baldosas, ...
 <b>PP</b>	PP Polipropileno	Se pueden obtener señales luminosas, cables de batería, escobas, cepillos, raspadores de hielo, bastidores de bicicleta, rastrillos, cubos, paletas, bandejas, etc
 <b>PS</b>	PS Poliestireno Prohibido para envasar productos alimenticios	Se trata de un material difícil de reciclar y que puede emitir toxinas.
 <b>Otros</b>	otros Incluye materiales elaborados con más de una de las resinas de las categorías 1 a la 6.	Son materiales de difícil reciclaje (PCs,DVD, MP3, las gafas de sol, los materiales antibalas,...)

*Fuente: Sociedad de Industrias de Plástico (1980)*

### 2.2.6.2. Polipropileno.

El polipropileno pertenece al grupo de las poliolefinas, estos polímeros son muy utilizados, por la forma de su estructura molecular de cristalización y nivel de orientación tiene grandes propiedades mecánicas.

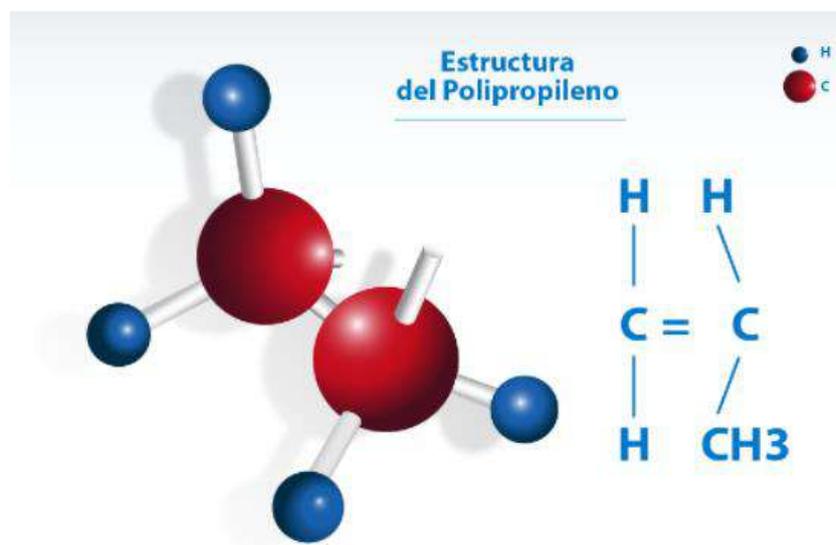
Según (Haruntun G., 2009) el polipropileno es ampliamente utilizado para la producción de plásticos moldeados debido a la excelente combinación de propiedades que presenta como peso ligero y resistencia al impacto.

(Papageorgiou et al., 2013) Por lo anterior, muchas compañías han ultimado la fase de construcción de plantas para la producción del PP. El copolímero al azar a base de polipropileno (polypropylene random copolymer, PP) a diferencia del homopolímero presenta una buena rigidez, una importante ductilidad, un aceptable límite elástico y una excelente resistencia química a un precio relativamente bajo.

(López et al., 2016) Señalan que el polipropileno es muy versátil y funciona como plástico y como fibra, este material se obtiene a partir del propileno extraído del gas petróleo. Es un plástico muy duro y resistente, opaco y con gran resistencia al calor pues se ablanda a una temperatura más elevada de los 150 °C.

#### Figura 7

*Estructura del Polipropileno*



Fuente: Petrocuyo.com

#### **2.2.6.2.1. Propiedades Mecánicas del Polipropileno a 23°C.**

- Peso específico de 0.91 a 0.93 gr/cm<sup>3</sup>
- La resistencia a la tracción (fluencia/rotura) es de 300 kg/cm<sup>2</sup>
- La resistencia a la flexión es de 230 kg/cm<sup>2</sup>
- El módulo de elasticidad (tracción) es de 11500 Kg/cm<sup>2</sup>

#### **2.2.6.2.2. Propiedades Físicas del Polipropileno.**

- Sólido sin olor.
- Color blanco-transparente.
- Apariencia física esférica o también llamada pallets.
- Punto de Ebullición de 160°C
- Punto de Fusión 173°C
- La densidad del polipropileno, está comprendida entre 0.89 y 0.91 gr/cm<sup>3</sup>. Es la más baja de los polímeros comerciales. Por ser tan baja permite la fabricación de productos ligeros debido a su relación masa/volumen.
- Es un material más rígido que la mayoría de los termoplásticos. Una carga de 25.5 kg/cm<sup>2</sup>, aplicada durante 24 horas no produce deformación apreciable a temperatura ambiente y resiste hasta los 70°C.
- Posee una gran capacidad de recuperación elástica. Es decir, recupera sus dimensiones originales luego de retirado un esfuerzo.

#### **2.2.6.2.3. Propiedades Químicas del Polipropileno.**

- Tiene naturaleza apolar, y por esto posee gran resistencia a agentes químicos. Es decir, se dificulta la interacción directa de este polímero con otros químicos. (ej. Ácidos)
- Presenta poca absorción de agua, por lo tanto, no presenta mucha humedad ya que tiene un bajo coeficiente de absorción de humedad (0.02 kg/m<sup>2</sup>. h0.5)
- El polipropileno tiene una buena resistencia química pero una resistencia débil a los rayos UV, generando degradación.
- El PP es resistente a disolventes orgánicos

- El PP es insoluble en el agua.

### **2.2.6.3. Arena.**

Según (Delestrac, 2012), es un material utilizado en la fabricación de hormigón, concreto y mortero, está compuesta de rocas trituradas que van desde las más pequeñas hasta las de gran tamaño. Las arenas finas son mayormente usadas en mampostería y las gruesas para la fabricación de cimentaciones. Las canteras son aptas para extraer este material ya que también se pueden obtener del proceso de trituración de rocas por medios mecánicos, estas son seleccionadas de acuerdo a normativa destinada para la construcción que no sean perjudiciales para obtener muestras libres de arcilla, limos, materiales orgánicos, etc.

#### **2.2.6.3.1. Clasificación de las Arenas.**

##### **Por su Procedencia:**

- Arena de pozo: Más conocida como “arena de cantera”, esta arena es filosa, porosa, angular y no contiene sales nocivas.
- Arena de río: Se encuentra en el lecho de ríos, es fina y redondeada, debido a la fricción por las corrientes de agua.
- Arena de mar: Esta arena está compuesta por muchas sales, lo cual no es recomendable su uso para trabajos de ingeniería ya que la sal marina retarda la acción del fraguado del cemento.
- Arena volcánica: Esta es de color oscuro y a veces se encuentra carbón en su composición.

##### **Por su Composición Química:**

- Cuarzosas: El material predominante en estas arenas es el cuarzo
- Silíceas: Son aquellas que están compuestas predominantemente por silicatos o feldespatos.
- Calcáreas: En estas, predomina la caliza.

##### **Por el Tamaño de sus Granos**

- Arenas gruesas: Son aquellas que pasan la malla de 5mm y son retenidas por las de 2mm.

- arenas medias: Aquellas que pasan la malla de 2mm, pero son retenidas por la malla de 0.5mm
- Arenas fina: Estas arenas, pasan la malla de 0.5mm, pero se retienen en la de 0.02mm

### 2.2.6.3.2. Propiedades Físicas de la Arena.

**Peso específico ( $\gamma_m$ ):** El peso específico relaciona el peso de la sustancia en estudio, con su respectivo volumen (Juarez Badillo & Rico Rodriguez, 2005). El peso específico de la arena varía entre 1600 daN/m<sup>3</sup> a 2100 daN/m<sup>3</sup> (Gómez, s/f).

**Contenido de humedad ( $\omega$ ):** El contenido de humedad representa la proporción de agua existente en un elemento de suelo. Y se expresa como la relación entre la masa del agua del elemento y la masa de las partículas sólidas (Universidad Tecnológica de Chile, 2019)

**Relación de vacíos ( $e$ ):** Conocido también como índice de vacíos, representa la proporción de vacíos de un suelo, Se expresa como la relación del volumen de vacíos de un suelo entre el volumen de sólidos (Universidad Tecnológica de Chile, 2019).

**Granulometría:** (Das, 2013) Señala que, respecto al tamaño del grano en mm, la arena según el sistema de clasificación unificado tiene un tamaño entre 4.75 mm a 0.075mm y según AASHTO tiene un tamaño de 2mm a 0.05 mm.

**Figura 8**

*Clasificación del Suelo*

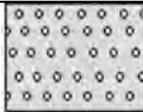
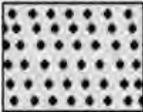
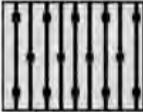
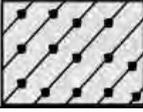
Arenas	Arenas limpias Menos de 5% finos	$C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3$	SW	Arena bien graduada
		$C_u < 6$ y/o $1 > C_c > 3$	SP	Arena mal graduada
50% o más de la fracción gruesa pasa la malla N°4	Arenas con finos Mas de 12% finos	Los finos se clasifican como ML o MH	SM	Arena limosa
		Los finos se clasifican como CL o CH	SC	Arena arcillosa

*Fuente:* Unified Soil Classification (según la ASTM, 2009)

Según se describen arena fina limpia libre de finos de color gris y capacidad media a densa, también considera arena limosa con grava de color café de tamaño máximo de 2" y la arena de alta plasticidad de color amarillo de consistencia media a blanda.

**Figura 9**

*Simbología de Suelos Granulares*

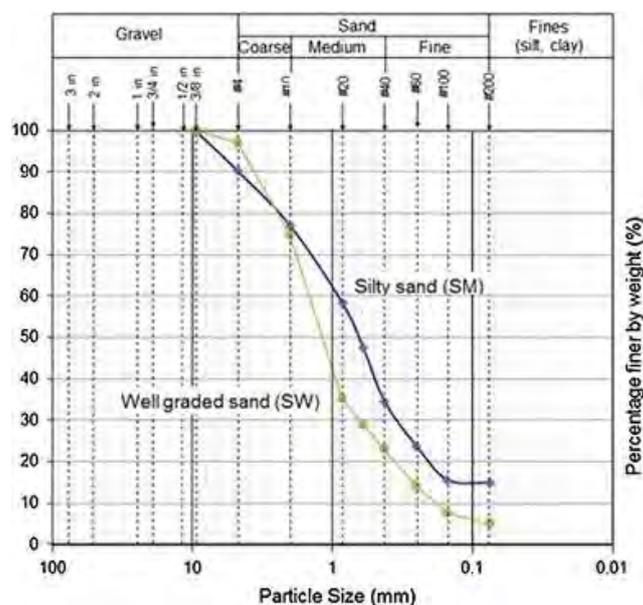
ARENA Y SUELOS ARENOSOS	SW		ARENA BIEN GRADUADA
	SP		ARENA MAL GRADUADA
	SM		ARENA LIMOSA
	SC		ARENA ARCILLOSA

*Fuente:* Norma E.050

Aquella que presenta una distribución equilibrada de partículas en un amplio rango de tamaños; una arena es calificada como bien gradado cuando tiene un coeficiente de uniformidad mayor de 6 y un coeficiente de curvatura entre 1 y 3 (Hoyos, 2016)

**Figura 10**

*Curva Arena Gradada*



*Fuente:* Diccionegeotecnica.online

Señala (Pérez Valcárcel, 2017), que sus partículas tienen tamaños que varían entre 0.06 y 2 mm, son no plásticas, se erosionan a causa del viento, además los granos de arena se unen cuando están húmedas por las tensiones capilares en su composición, además no producen flujo turbulento cuando el gradiente hidráulico es mayor a 1.

Para obtener una mayor compacidad las partículas que conforman el agregado fino deben tener la forma y distribución de tamaños adecuados con el objetivo que se acomoden lo más densamente posible (Chan Yam et al., 2003).

**Módulo de finura:** El módulo de finura es igual a la suma de los porcentajes retenidos acumulados hasta la malla N° 100. considerando los tamices mencionados en la tabla siguiente, dividido por 100 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016).

**Tabla 4**

*Granulometría del agregado fino*

<b>Tamiz</b>	<b>Abertura</b>	<b>Porcentaje que pasa</b>
3/8 pulg	9.5 mm	100
N° 4	4.75 mm	95 – 100
N° 8	2.36 mm	80 – 100
N° 16	1.18 mm	50 – 85
N° 30	0.60 mm	25 – 60
N° 50	0.30 mm	10 – 30
N° 100	0.15 mm	2 – 10

*Fuente:* MTC (2016)

**Forma de las partículas:** Dependiendo el origen de la arena, sus partículas tienen una forma y textura determinada, y para la evaluación de estas características se han desarrollado diversos métodos; según (Positieri, López, Baronetto, & Gonz, 2016) si el porcentaje de vacíos es menor a 30% entonces las partículas de la arena tienen una forma redondeada, si el porcentaje de vacíos se encuentra entre el 31% y 33% entonces las partículas tienen una forma media, y si el porcentaje de vacíos es mayor al 35% entonces las partículas tienen una forma angular.

### **2.2.7. Fabricación de Adoquines de Polipropileno**

Según (Suárez Puentes, 2020) describe el proceso de fabricación que incluye diferentes maquinarias y equipos necesarios para la fabricación de los adoquines.

**Paso 1:** Se realiza la trituración del plástico de manera que se alcance un tamaño de la partícula de 10mm para luego ser mezclado con la arena.

**Figura 11**

*Máquina Trituradora*



*Fuente:* Suárez (2020)

**Paso 2:** Luego de la trituración, se prosigue con el lavado del plástico, con la finalidad de limpiar los excesos de aceites y polvo que pueda tener el material, seguidamente, se extiende el plástico triturado para el secado a temperatura ambiente.

**Paso 3:** Realizada la mezcla del plástico con la arena, con su debida proporción se procede a insertarla en la tolva de la extrusora, donde el tornillo sin fin y el calor la transforman en un material sólido bituminoso que fuerza su salida por la boquilla.

**Paso 4:** Luego de que la mezcla sale de la boquilla de la extrusora, se disponen en la parte inferior de la misma los moldes de los adoquines, de manera que se vierta la mezcla en todo el espacio disponible.

## Figura 12

*Máquina Extrusora*



*Fuente:* Suárez (2020)

**Paso 5:** Después se realiza el llenado de los moldes, se desplazan a la prensa mecánica, para que se realice el trabajo de moldeo por compresión y se logre uniformidad en el adoquín moldeado.

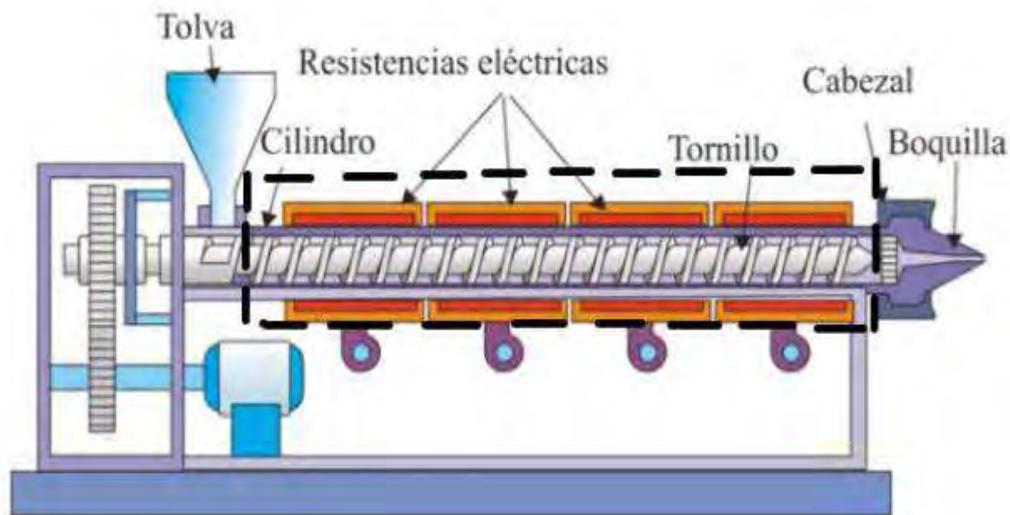
**Paso 6:** Por último, se coloca el molde en una poza de agua por 15 minutos, para que este se enfríe e inicie el proceso de endurecimiento, similar al proceso de curado en las mezclas cementantes.

### **2.2.7.1. Máquina Extrusora.**

La máquina extrusora se encarga de la extrusión de polímeros a través de la acción de prensado, fusión, moldeo, presión y empuje de los materiales. El resultado al combinarlo es un molde nuevo que tendrá la forma deseada según la forma y diseño del husillo utilizado en la máquina. La extrusora permite obtener el molde de manera rápida y continua, agilizando el proceso industrial de reciclado y aprovechando al máximo la materia prima.

**Figura 13**

*Máquina extrusora de adoquines*



*Fuente:* Beltrán & Marcilla

## **2.2.8. Propiedades de Adoquines de Polipropileno**

### **2.2.8.1. Propiedades Físicas.**

#### ***Forma y Dimensión:***

Las dimensiones de los adoquines pueden variar en cuanto a su espesor según el tipo de tránsito que van a soportar, ya sea peatonal, vehicular ligero y vehicular pesado. Los espesores oscilan entre 4 a 6cm para tránsito peatonal y tránsito vehicular ligero, mientras que para tránsito vehicular pesado los espesores pueden ser mayores a 8cm. La tolerancia dimensional en largo y ancho tienen un máximo de  $\pm 1.6\text{mm}$  mientras que en el espesor es  $\pm 3.2\text{mm}$  (NTP 399.611, 2017). Cabe señalar que estos datos son para adoquines de concreto, pero también pueden ser aplicables para adoquines de polipropileno.

#### ***Color:***

La coloración de un adoquín se da por razones estéticas, en el caso de los adoquines de polipropileno, la coloración depende del mismo material polímero reciclado.

### **Absorción:**

La absorción se expresa como porcentaje de la masa seca, y se refiere al incremento en masa del material debido a la penetración del agua en los poros de ésta, después de haberla sumergido en agua durante un tiempo establecido.

### **Densidad:**

La densidad también conocida como peso unitario, se define como la masa del mismo por unidad de volumen.

La densidad se refiere a la masa presente en el adoquín por unidad de volumen, tomando como referencia la masa en una balanza y el volumen, resultado de la medición de las dimensiones del adoquín, se expresa en kg/m<sup>3</sup>.

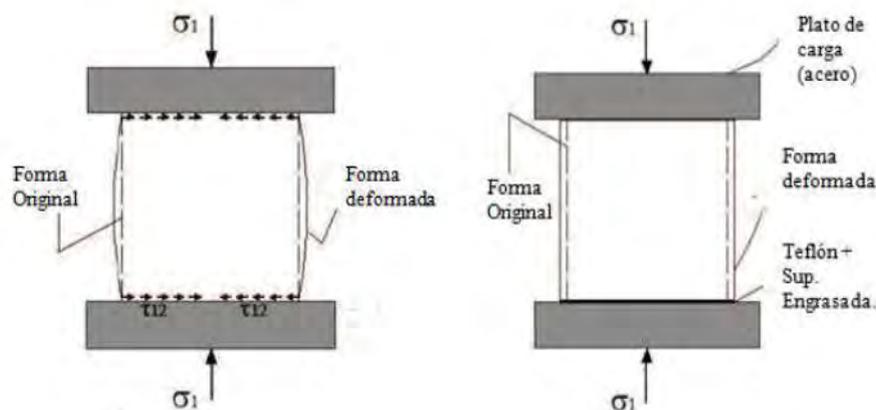
### **2.2.8.2. Propiedades Mecánicas.**

#### **Resistencia a la Compresión (kg/cm<sup>2</sup>).**

Es la propiedad mecánica más importante que puede poseer una unidad de albañilería, considerada como la capacidad de resistir una carga dada por una unidad de área. Esta resistencia puede ser diseñada dependiendo del uso que se requiera, para así presentar una durabilidad necesaria. Está asociado no solo con su durabilidad, sino con su impermeabilidad, rigidez y dureza para determinar su calidad (Nuñez Villalón, 2008).

**Figura 14**

*Resistencia a la compresión*



Fuente: Villa y Pereyra (2017)

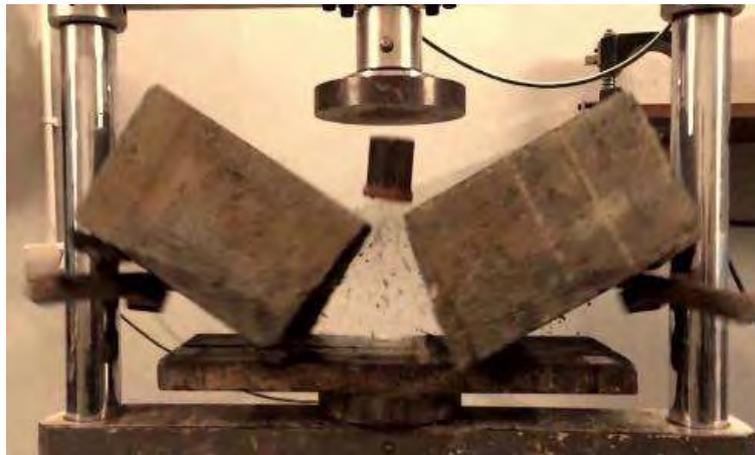
Respecto a la resistencia a la compresión de adoquines, la (NTP 399.611, 2017), menciona que es la relación entre la carga de rotura a compresión de un adoquín y su sección.

### ***Resistencia a la Flexión (kg/cm<sup>2</sup>)***

Es la capacidad de un material de soportar fuerzas aplicadas perpendicularmente a su eje longitudinal. El objetivo del ensayo de flexión es determinar las propiedades mecánicas de los materiales relacionadas con los esfuerzos y flechas (deformaciones) en los puntos máximo y de rotura, y módulo elástico en flexión teniendo en cuenta la separación entre apoyos calculada a partir del espesor de la probeta. La resistencia a la flexión podría considerarse una medida indirecta de la resistencia a la tracción. Es una medida de la resistencia a la falla por momento de una viga o losa del material.

#### **Figura 15**

*Prueba de flexión en adoquines*



*Fuente:* AConstructoras.com

Para calcular el módulo de rotura, se tomará como referencia la norma COGUANOR NTG 41087 h1 (NTG 41087 h1, 2012), para evaluar la resistencia a la flexión de los adoquines elaborados.

En dicha norma se define que el módulo de rotura se determina mediante la siguiente fórmula:

$$MR = \frac{3 * P * L}{2 * B * H^2}$$

Donde:

MR = Módulo de rotura, en Kg/cm<sup>2</sup>

P = carga máxima aplicada, en Kgf

L = distancia entre los ejes de los apoyos, expresado en cm.

B = Longitud del eje menor del rectángulo inscrito, expresado en cm.

H = Espesor del adoquín, expresado en cm.

### ***Durabilidad.***

Se entiende por durabilidad a aquel efecto que se desea darle al material mediante un proceso físico, químico o mecánico para mejorar sus propiedades, de tal manera que este material pueda mantener esas propiedades a lo largo de la vida útil o periodo de servicio. Y el concepto de durabilidad en pavimentos se encuentra estrechamente relacionado al desgaste y degradación de las partículas individuales del material bajo la acción de condiciones climáticas y las repetidas cargas del tráfico. (Fano Descalzi & Chávez Céspedes, 2017).

Para determinar la durabilidad del adoquín se evaluará la resistencia a la compresión cuando la muestra está sometida a temperaturas extremas del ambiente.

### ***Resistencia a la Abrasión***

Los pavimentos de tránsito están sometidos a gran desgaste superficial. En este ensayo se simula la acción abrasiva del tráfico sobre la superficie de rodadura del pavimento. Está directamente relacionada con la resistencia a la compresión, así mismo al tipo de agregado (Becerra Salas, 2012).

### ***Módulo de Elasticidad Longitudinal (E)***

Es la relación entre el incremento de fuerza y el cambio de la deformación unitaria. Si el esfuerzo es una tensión o compresión, el módulo es llamado "Modulo de Young", por consiguiente, tiene un mismo valor para una tensión que para una compresión. Este valor es diferente para tipo de material, siempre que no exceda el "límite elástico", este valor será una constante independiente del esfuerzo aplicado (Martínez & Azuaga, 1997).

### ***Coefficiente de Poisson ( $\nu$ )***

Proporciona una medida del estrechamiento de sección de un prisma, cuando se estira longitudinalmente y adelgaza en la dirección perpendicular al estiramiento. Es la relación entre la deformación transversal y longitudinal.

## **CAPITULO III: Metodología y procedimiento**

### **3.1. Metodología de la Investigación**

#### **3.1.1. Tipo y Diseño de Investigación**

##### **Enfoque de la Investigación**

Según la información analizada, el enfoque cuantitativo, se apoya en la medición numérica y la estadística para establecer patrones de comportamiento con exactitud en una población, a través de la recolección y análisis de datos respondiendo preguntas de la investigación y demostrando las hipótesis (Borja S., 2012).

Por lo tanto, nuestra investigación tiene un enfoque cuantitativo, ya que, a través de la recolección de datos y el análisis de estos, busca responder las preguntas de la investigación y probar las hipótesis.

##### **Orientación de Investigación.**

De acuerdo al fin que persigue, la investigación aplicada, busca conocer, actuar, construir y modificar una problemática, la mayoría de proyectos de ingeniería civil se ubican en este tipo, ya que solucionan alguna situación problemática planteada (Borja S., 2012).

De tal modo, en este estudio se pretende demostrar los esfuerzos aptos de los adoquines con polipropileno y arena ante las necesidades generadas por mejorar sus propiedades mecánicas, por ende, se plantea la elaboración de adoquines con las diferentes dosificaciones, por lo cual esta investigación se clasifica de orientación aplicada.

##### **Método de la Investigación**

Una investigación deductiva, es un método de investigación en el cual se parte de teorías o hipótesis generalizadas, los cuales se ponen a prueba mediante observaciones y recolección de datos para aplicar a casos particulares y llegar a conclusiones específicas, usando un proceso lógico que comienza en lo general para llegar a lo particular.

Por lo tanto, nuestra investigación sigue un método deductivo, ya que parte de una hipótesis general que es el efecto del porcentaje de polipropileno y arena en la resistencia a la

compresión y flexión, para probarla en casos específicos que son los diferentes porcentajes de polipropileno y arena.

### **Tipo de Investigación:**

Una investigación de tipo descriptiva tiene como propósito describir características o fenómenos, sin buscar establecer relaciones causales.

Nuestra investigación busca describir y analizar las propiedades de resistencia del adoquín con diferentes porcentajes de polipropileno y arena, por lo tanto, nuestra investigación es de tipo descriptiva.

### **Diseño de Investigación**

Según (Borja S., 2012), considerando la metodología para demostrar la hipótesis, en la investigación experimental el investigador manipula “deliberadamente” las variables para verificar la hipótesis planteada, esta investigación determina la relación causa - efecto de un fenómeno físico o social.

En este caso se manipuló la variable independiente, con las siguientes dosificaciones: 50% PP + 50% Arena, 40% PP + 60% Arena, 30% PP + 70% Arena, donde los resultados serán contrastados con las hipótesis.

Según este análisis, el diseño a aplicar en la presente investigación será experimental.

#### **3.1.2. Población de Estudio**

Según (Borja S., 2012), define que, “Desde un punto de vista estadístico, se denomina población o Universo al conjunto de elementos o sujetos que serán motivo de estudio.”. (p.30)

Por lo tanto, nuestra población la conforman los adoquines de propileno y arena en las dosificaciones ya indicadas, aplicados para pavimentos de tránsito peatonal.

#### **3.1.3. Tamaño de Muestra**

(Borja S., 2012) menciona que un estudio a la población, resultaría muy costoso y extenso, por lo cual se debe usar la estadística para extraer una parte de la población, denominada muestras, la cual cumpla con el siguiente enunciado: “Con una probabilidad P, las conclusiones que se puedan obtener de ella, tengan validez para todo el universo”

Para hallar el tamaño de muestra, se debe analizar, si la población de estudio es infinita o tiene un número finito de elementos. En nuestro caso, la población de estudio (adoquines elaborados con polipropileno y arena) es una población infinita. De acuerdo a (Borja S., 2012), existe una fórmula para hallar el tamaño de muestra en este tipo de poblaciones.

$$n = \frac{Z^2 * p * q}{e^2}$$

donde:

n: Tamaño de muestra

p: Probabilidad que la hipótesis sea verdadera

q: (-p) Probabilidad de no ocurrencia de la hipótesis

e: error estimado por estudiar una muestra en lugar de toda la población

Z: coeficiente de confiabilidad

**Tabla 5**

*Valores de coeficiente de confiabilidad*

Nivel de confianza	Coef. de confiabilidad (z)
99%	2.575
98%	2.325
97%	2.170
96%	2.055
95%	1.960
90%	1.645
85%	1.435
80%	1.285
50%	0.675

*Fuente:* Borja (2012).

Aplicando la fórmula, tendremos lo siguiente; consideraremos un nivel de confianza del 85% ya que se trata de una investigación nueva, la probabilidad de ocurrencia de la hipótesis es del 50% y consideraremos un error estimado del 15%.

Entonces:

$$n = \frac{(1.435)^2 * 0.5 * 0.5}{(0.15)^2} = 22.88$$

Por lo tanto, consideraremos un tamaño de muestra de 24 unidades (para cada tipo de proporción de polipropileno con arena), haciendo un total de 144 unidades de adoquines para los ensayos de compresión y flexión.

**Tabla 6**

*Total de muestras por ensayo y dosificaciones*

<b>Ensayo</b>	<b>PP 50% y arena 50%</b>	<b>PP 40 % y arena 60 %</b>	<b>PP 30 % y arena 70 %</b>
Resistencia a compresión	24	24	24
Resistencia a flexión	24	24	24
Sub total	48	48	48
Total		144	

*Fuente:* Elaboración propia

Posteriormente para los ensayos adicionales del adoquín con el % óptimo de polipropileno y arena, usaremos 3 muestras por cada ensayo propuesto.

**Tabla 7**

*Total de muestras por ensayos adicionales*

<b>Ensayo</b>	<b>Adoquines de % óptimo de PP y arena</b>
Resistencia al desgaste	3
Absorción	3
Durabilidad a T° extremas	6
Total	12

*Fuente:* Elaboración propia

### **3.1.4. Procedimiento de Muestreo**

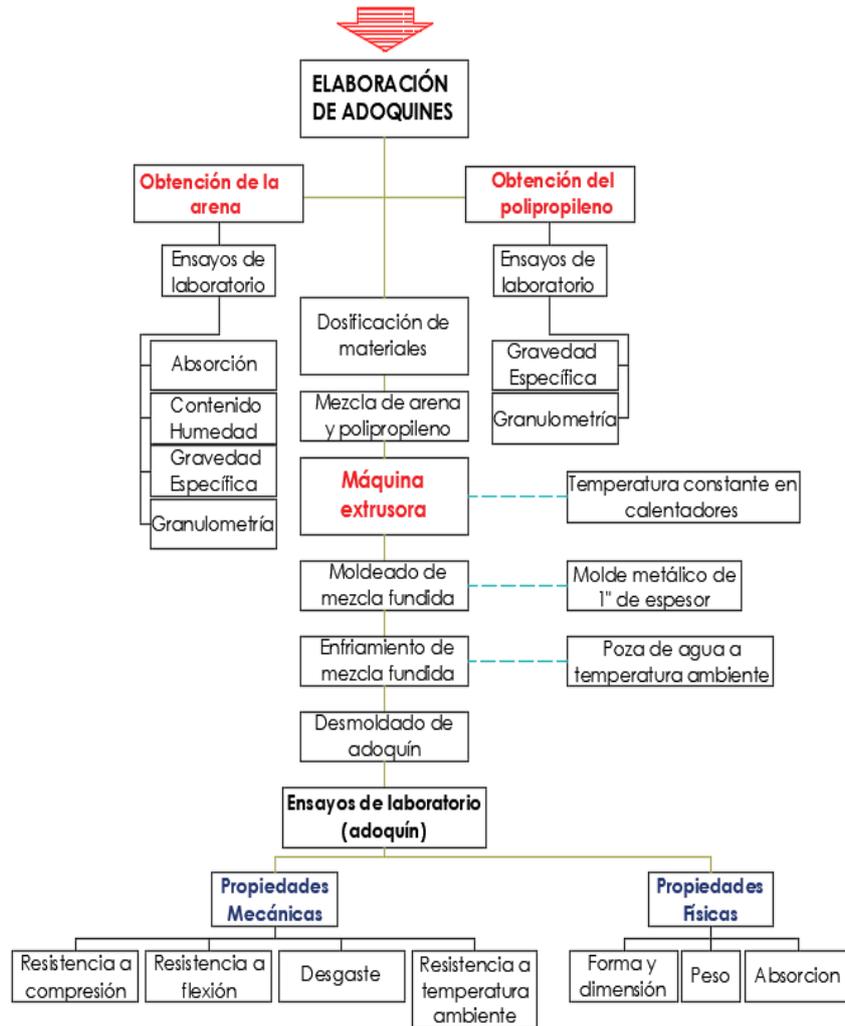
Para esta investigación se realizó un muestreo probabilístico aleatorio simple, ya que todas las unidades tenían la misma probabilidad de ser seleccionadas. Está conformada por 144 muestras de adoquines hechos de propileno y arena.

### 3.2. Procedimiento del Trabajo de Investigación

En la siguiente imagen, se presenta el diagrama de flujo del procedimiento realizado durante el proyecto de investigación sobre los adoquines de polipropileno y arena.

**Figura 16**

Diagrama de flujo del procedimiento para la obtención de los adoquines.



Fuente. Elaboración propia

### 3.3. Obtención y Reciclaje del PP

Para poder obtener el polipropileno utilizado para esta investigación, se hizo un recorrido por las chatarrerías de los alrededores de la ciudad del Cusco. Todas las chatarrerías que fueron visitadas, presentan el mismo procedimiento de recolección, clasificación y procesamiento para obtener el polipropileno triturado. A continuación, se detalla dicho proceso.

Las empresas chatarrerías, obtienen los envases de plásticos de diferentes tipos, por parte del acopio de los recicladores, posteriormente, estos plásticos son clasificados de acuerdo al tipo de termoplástico según la codificación del SPI y luego se agrupan por colores.

**Figura 17**

*Clasificación del plástico por colores en chatarrerías.*



*Fuente: Propia*

Cabe destacar que se debe de retirar las etiquetas de los envases, con la finalidad de no mezclar el tipo de polímero, ya que en la mayoría de casos las etiquetas son polietileno.

Luego de la clasificación por tipo y color de los materiales plásticos, estos son introducidos a una tolva trituradora, por donde se disminuye el tamaño del plástico y posteriormente es envasado en sacos para su posterior almacenamiento y transporte. Cabe precisar que este material no tiene un lavado previo.

### Figura 18

*Trituración del plástico en una máquina trituradora.*



*Fuente: Propia*

Para la utilización de este material, se hace la compra directamente de la empresa chatarrera, quien realiza la venta por sacos de 80 kilos aproximadamente.

Como ya se mencionó anteriormente, el material que se obtiene de las chatarrerías es un material sucio, por lo cual se debe realizar un lavado con detergente, para eliminar la suciedad, grasas u objetos extraños que puedan estar presentes en este.

### Figura 19

*Lavado de plástico triturado*



*Fuente: Propia*

Finalmente, se realiza el secado del polipropileno a temperatura ambiente para de esta manera conseguir el material adecuado para poder realizar la mezcla con la arena y elaborar los adoquines propuestos.

**Figura 20**

*Secado a temperatura ambiente, del plástico triturado limpio.*



*Fuente: Propia*

### **3.4. Obtención de la Arena**

Inicialmente se obtuvo arena de las canteras de Cunyac, Vicho, Calca, Pisac, Huambutio, San Salvador; con estas muestras se realizó el ensayo de granulometría para verificar la mejor gradación y módulo de fineza. Luego de estos ensayos los resultados arrojados nos llevaron a la conclusión de que la mejor gradación de la arena, de acuerdo al método gráfico, se consigue con la mezcla de 40% arena de Cunyac y 60% arena de Vicho.

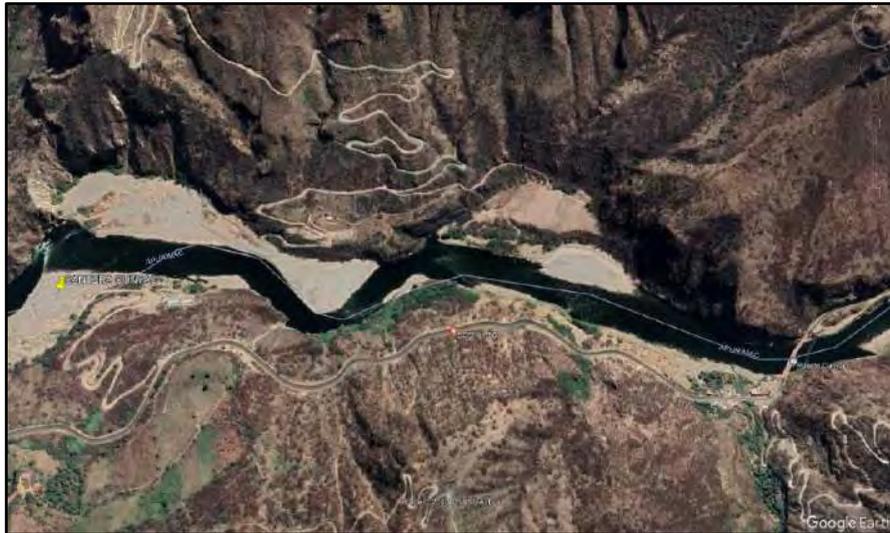
En el Anexo N° 1 se observa los resultados obtenidos del ensayo de granulometría de cada cantera.

#### **Cantera Cunyac:**

Está ubicada en el departamento de Apurímac en el Km 867.5 de la carretera Abancay-Cusco, este agregado es extraído del río Apurímac, por lo tanto, se le considera como arena fina, pese a su costo elevado, es muy utilizado en la construcción ya que posee propiedades óptimas para la elaboración de concreto.

**Figura 21**

*Ubicación de la cantera Cunyac*



*Fuente: Google Earth*

**Cantera vicho:**

Está ubicada en el departamento del Cusco, en el Km 9 de la carretera Huambutio - San Salvador, este agregado es extraído de mina por la desintegración de rocas sedimentarias (areniscas), es de grano fino a grueso. La cantera de Vicho es una de las principales proveedoras de agregados para la ciudad del Cusco.

**Figura 22**

*Ubicación de la cantera Vicho*



*Fuente: Google Earth*

Para la utilización de la arena de esta cantera, se realiza el lavado del mismo, debido a que, al ser proveniente de mina, contiene demasiado material fino que pasa la malla N° 200, lo que sería un obstáculo para la elaboración de los adoquines.

Tenemos que tener en cuenta que el agregado utilizado para elaborar los adoquines tiene que pasar por la abertura del husillo de la extrusora, por lo tanto, se utilizó solo arena que pasa por la malla N° 10 y se retiene en la malla N° 200, la cual es considerada como arena media a fina.

### **3.5. Procedimiento de Ensayos de Laboratorio Iniciales.**

Los ensayos iniciales fueron realizados teniendo como referencia los requerimientos de la Norma Técnica Peruana NTP 399.611-2017 (NTP 399.611, 2017) y según el Manual de Ensayo de Materiales (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016).

#### **3.5.1. Análisis Granulométrico**

Este ensayo tiene como objetivo determinar la distribución de partículas de agregados gruesos y finos de una muestra seca de peso conocido, utilizando una serie de tamices de diferentes tamaños de abertura cuadrada. Tiene como referencia normativa la NTP 400.012 y se realizó según el MTC E 204

#### **Materiales y equipos**

- Tamices (ELE International) de 3/8", N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100 y N° 200
- Balanza (marca Ohaus) de aproximación de 0.1g y sensibilidad a 0.1%
- Recipientes plásticos
- Cucharones metálicos
- Escobas y Escobillas

#### **Procedimiento:**

- Secar el agregado a una temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ , hasta un peso constante.
- Utilizando el método de cuarteo, escoger una muestra representativa tal como se ve en la Figura 23

**Figura 23**

*Selección de muestra representativa del agregado fino para granulometría.*



*Fuente. Propia*

- Seleccionar la serie de tamices para el agregado fino, de los siguientes tamaños: 3/8", N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100 y N° 200 y anotar el peso inicial de cada uno de estos. Los tamices se colocan uno sobre otro en forma decreciente, por tamaño de abertura. Con la ayuda de un cucharón metálico colocar la muestra sobre el tamiz superior, evitando la sobrecarga de material.
- Realizar el tamizado manual, girando el tamiz 1/6 de vuelta por cada 25 golpes aproximadamente y efectuando un movimiento rotacional de manera que las partículas traspasen por el tamiz, pero sin forzar su pase.

**Figura 24**

*Tamizado manual de agregado fino.*



*Fuente. Propia*

- Posteriormente en una balanza, pesar la muestra retenida en cada tamiz.
- Verificar el peso luego del tamizado con el peso original de la muestra al inicio del ensayo, esta diferencia no debe exceder el 0.3% del peso seco original a fin de ser aceptado.

En las siguientes figuras se observa el resultado del tamizado, material retenido en las mallas de 3/8", N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100, N° 200 y la cazuela de los agregados de Cunyac (Figura 25), Vicho (Figura 26), Agregado corregido (Figura 27) y del polipropileno PP (Figura 28).

**Figura 25**

*Granulometría de agregado fino - arena de Cunyac.*



*Fuente: Propia.*

**Figura 26**

*Granulometría de agregado fino - arena de Vicho.*



*Fuente: Propia.*

**Figura 27**

*Granulometría de agregado fino corregido - 60% arena de Vicho + 40% arena de Cunyac.*



*Fuente: Propia.*

**Figura 28**

*Granulometría de plástico polipropileno.*



*Fuente: Propia.*

Para el cálculo del módulo de fineza se aplica la fórmula siguiente con una aproximación de 0.01%.

$$M.F. = \frac{\% \text{ retenidos acumulados (tamices } 3/8", N^{\circ} 4, N^{\circ} 8, N^{\circ} 16, N^{\circ} 30, N^{\circ} 50 \text{ y } N^{\circ} 100)}{100}$$

### **3.5.2. Contenido de Humedad**

Este ensayo tiene como objetivo determinar el porcentaje total de humedad evaporable en una muestra de agregado por secado. Tiene como referencia normativa la NTP 339.185 y se realizó según el MTC E 215

### **Materiales y equipos**

- Balanza (marca Ohaus) de aproximación de 0.1g y sensibilidad a 0.1%
- Estufa (marca Humboldt)
- Cápsulas metálicas de acero inoxidable
- Cucharones metálicos

### **Procedimiento:**

- Determinar el peso inicial de las cápsulas metálicas e identificarlas.
- Posteriormente colocar una muestra representativa en estado natural dentro de las cápsulas y determinar su peso inicial en una balanza con una aproximación de 0.1 g.
- Colocar las cápsulas con la muestra dentro en un horno de temperatura controlada, para proceder al secado de la misma hasta que la humedad se evapore por completo.
- Luego de un mínimo de 24 horas aproximadamente, se retiran las muestras del horno y se procede a determinar su peso seco.

Para el cálculo del contenido de humedad total evaporable se utiliza la siguiente fórmula.

$$P = \frac{(W - D) \times 100}{D}$$

Donde:

P= Contenido de humedad total evaporable de la muestra en porcentaje (%)

W= Masa de la muestra húmeda al inicio del ensayo (gr)

D= Masa de la muestra seca, luego de sacarla del horno (gr)

**Figura 29**

Contenido de humedad de agregado fino corregido - 60% arena de Vicho + 40% arena de Cunyac



Fuente: Propia.

### **3.5.3. Peso Específico y Absorción de Agregados**

Este ensayo tiene como objetivo determinar el peso específico seco, peso específico saturado con superficie seca, peso específico aparente y la absorción luego de 24 horas de sumergida en agua la muestra de agregado. Tiene como referencia normativa la NTP 400.022 y se realizó según el MTC E 205

#### **Materiales y equipos**

- Balanza (marca Ohaus) de aproximación de 0.1g y sensibilidad a 0.1%
- Estufa (marca Humboldt)
- Frasco volumétrico de 500ml (marca Euro Lab Germany)
- Molde cónico metálico
- Varilla metálica para apisonado.

#### **Procedimiento:**

- Realizar el muestreo del agregado según el MTC E 201, y reducir por cuarteo, hasta un 1 kg aproximadamente de muestra. Secar la muestra por medio de un horno (estufa) con temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ , hasta obtener un peso constante en la muestra.

- Luego de secada la muestra, colocarla en un recipiente y cubrir con agua, dejándola reposar por 24 horas.
- Posteriormente, decantar el exceso de agua, evitando la pérdida de finos, colocar la muestra en una bandeja y dejar expuesta a una corriente de aire tibio, también es posible el uso de una secadora de cabello, remover constantemente la muestra para el secado uniforme, hasta que las partículas no se adhieran marcadamente entre sí.
- Colocar una parte de la muestra en el molde cónico y con la varilla de apisonado golpear la superficie 25 veces, seguidamente levantar el molde cónico, si la muestra mantiene su forma, seguir secando, hasta que la muestra se derrumbe  $\frac{3}{4}$  partes luego de retirar el molde, lo que indicará que el material tiene la condición de superficie seca.
- Colocar 500 g de material preparado en un frasco volumétrico y llenar con agua hasta la marca de 500 ml, seguidamente agitar el frasco vigorosamente con la intención de eliminar las burbujas de aire, este proceso se puede hacer manual o mecánicamente.
- Luego de eliminar las burbujas de aire, verificar que el agua llegue hasta la marca indicada. Pesar el total del frasco, junto con el espécimen y el agua.
- Remover la muestra del frasco y secar hasta un peso constante a una temperatura de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ , posteriormente determinar el peso seco.

Los cálculos a realizar son los siguientes:

**a) Peso específico de masa ( $Pe_m$ )**

$$Pe_m = \frac{W_o * 100}{(V - V_a)}$$

Donde:

$Pe_m$  = Peso específico de masa

$W_o$  = Peso en el aire de la muestra secada en el horno (gr)

$V$  = Volumen del frasco en  $\text{cm}^3$

$V_a$  = Peso en gramos o volumen en  $\text{cm}^3$  del agua añadida al frasco

**b) Peso específico de masa saturada con superficie seca ( $Pe_{sss}$ )**

$$Pe_{sss} = \frac{500 * 100}{(V - V_a)}$$

**c) Peso específico aparente ( $Pe_a$ )**

$$Pe_a = \frac{W_o * 100}{(V - V_a) - (500 - W_o)}$$

**d) Absorción ( $Ab$ )**

$$Pe_a = \frac{(500 - W_o) * 100}{W_o}$$

**Figura 30**

*Peso específico de agregado fino corregido - 60% arena de Vicho + 40% arena de Cunyac*



*Fuente: Propia.*

**3.5.4. Peso Específico del Plástico**

Este ensayo tiene como objetivo determinar el peso específico seco, peso específico saturado con superficie seca, peso específico aparente y la absorción luego de 24 horas de sumergida la muestra de plástico (polipropileno) en alcohol. En este caso se utilizó el alcohol de 90% debido a que su peso específico es menor al del agua por lo tanto el plástico no flota sobre esta.

### **Materiales y equipos**

- Balanza (marca Ohaus) de aproximación de 0.1g y sensibilidad a 0.1%
- Recipiente volumétrico de 500ml (marca Euro Lab Germany)
- Recipiente de volumen conocido

### **Procedimiento:**

- En este ensayo se utiliza alcohol al 90%, y para hallar su densidad se usa un recipiente volumétrico de 500ml.
- Determinar el peso inicial del recipiente volumétrico, llenar con alcohol hasta la marca de 500ml y volver a pesar.
- Para hallar la densidad del alcohol se usa la siguiente ecuación:

$$D_{OH} = \frac{P_{OH}}{V}$$

Donde:

$D_{OH}$  = Densidad del alcohol (gr/cm<sup>3</sup>)

$P_{OH}$  = Peso del alcohol (gr)

$V$  = Volumen (cm<sup>3</sup>)

- Posteriormente, se pesa aproximadamente 1 kg de muestra de polipropileno triturado.
- En un recipiente especial con una pequeña abertura, se llena de alcohol al 90% y se sumerge sobre esta, la muestra de plástico.
- En una probeta, se recolecta el alcohol que, por medio del orificio, va siendo desfasado del recipiente. Tal como se muestra en la Figura 31.

**Figura 31**

*Ensayo para hallar el peso específico del plástico.*



*Fuente: Propia*

- Determinar el peso total del alcohol desfasado.

Los cálculos a realizar son los siguientes:

$$Pe_{PP} = \frac{P_{PP} * D_{OH}}{P_{OH}}$$

Donde:

$P_{ePP}$  = Peso específico del plástico (gr/cm<sup>3</sup>)

$P_{OH}$  = Peso del alcohol desfasado (gr)

$P_{PP}$  = Peso inicial del plástico (gr)

**Figura 32**

*Determinación del peso total del alcohol desfasado del recipiente.*



*Fuente: Propia*

### **3.5.5. Peso Unitario y Porcentaje de Vacíos**

Este ensayo tiene como objetivo determinar el peso unitario suelto y compactado, así como también el porcentaje de vacíos de los agregados. Tiene como referencia normativa la NTP 400.017 y se realizó según el MTC E 203.

#### **Materiales y equipos:**

- Balanza (marca Ohaus) de aproximación de 0.1g y sensibilidad a 0.1%
- Recipiente de medida metálico (Proctor modificado marca Soil Test)
- Varillar compactadora de acero de 5/8" con punta semiesférica
- Cucharón metálico
- Recipientes de plástico

#### **Procedimiento:**

- La muestra a ensayar debe ser 125 a 200% aproximadamente, de la cantidad requerida para llenar el recipiente de medida. el agregado se debe secar a peso constante en un horno de temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$

#### **a) Peso unitario suelto**

- Determinar el peso del recipiente metálico
- Con ayuda de un cucharón metálico, llenar el recipiente de medida con la muestra desde una altura no mayor a los 5 cm (2") hasta el rebose. Posteriormente enrasar la superficie con ayuda de una regla y/o varilla metálica, limpiando los excedentes y eliminando el material sobrante.
- Pesar el recipiente de medida junto con la muestra con una aproximación de 0.05 Kg.

**Figura 33**

*Peso unitario suelto del agregado fino corregido - 60% arena de Vicho + 40% arena de Cunyac*



Fuente: Propia

**b) Peso unitario compactado**

- Determinar el peso del recipiente metálico
- Con ayuda de un cucharón metálico, llenar hasta 1/3 del recipiente de medida con la muestra y apisonar con 25 golpes con una varilla compactadora de punta semiesférica de manera uniforme, seguidamente llenar hasta los 2/3 del recipiente y volver a apisonar con otros 25 golpes, posteriormente llenar completamente el recipiente hasta el rebose y volver a apisonar. Finalmente enrasar la superficie con ayuda de una regla y/o varilla metálica, limpiando los excedentes y eliminando el material sobrante.
- Pesar el recipiente de medida junto con la muestra con una aproximación de 0.05 Kg.
- Para el cálculo del peso unitario suelto o compactado, se utiliza la siguiente ecuación:

$$M = \frac{(G - T)}{V}$$

Donde:

M = Peso unitario del agregado (kg/m)

G = Peso del recipiente de medida más el agregado (kg)

T = Peso del recipiente de medida (kg)

V = Volumen del recipiente de medida (m<sup>3</sup>)

**Figura 34**

*Peso unitario compactado del agregado fino corregido - 60% arena de Vicho + 40% arena de Cunyac*



*Fuente: Propia*

### **3.6. Proceso de Elaboración del Adoquín**

Para la dosificación de la muestra, se realizó en proporción al volumen de la unidad de adoquín de 10x20x6cm, utilizando los resultados de los pesos específicos de los materiales (polipropileno y arena).

El cálculo realizado para hallar la dosificación de cada material, por cada tipo de proporción es como continua:

Para estos cálculos tenemos los siguientes datos

Volumen adoquín =  $20 \times 10 \times 6 = 1200 \text{ cm}^3$

Peso específico PP =  $0.95 \text{ gr/cm}^3$

Peso específico arena =  $2.596 \text{ gr/cm}^3$

**a) Adoquín 50% PP - 50% A**

Peso polipropileno

$$P = V * Pe * 0.5$$

$$P = 1200 * 0.95 * 0.5$$

$$P = 570 \text{ gr}$$

Peso arena

$$Pa = V * Pe * 0.5$$

$$P = 1200 * 2.596 * 0.5$$

$$P = 1557.65 \text{ gr}$$

**b) Adoquín 60% PP - 40% A**

Peso polipropileno

$$P = V * Pe * 0.6$$

$$P = 1200 * 0.95 * 0.6$$

$$P = 684 \text{ gr}$$

Peso arena

$$Pa = V * Pe * 0.4$$

$$P = 1200 * 2.596 * 0.4$$

$$P = 1,246.08 \text{ gr}$$

**c) Adoquín 70% PP - 30% A**

Peso polipropileno

$$P = V * Pe * 0.5$$

$$P = 1200 * 0.95 * 0.7$$

$$P = 798 \text{ gr}$$

Peso arena

$$Pa = V * Pe * 0.5$$

$$P = 1200 * 2.596 * 0.3$$

$$P = 934.56 \text{ gr}$$

Para la elaboración de los adoquines se consideró un desperdicio del 2%, ya que parte de la mezcla tiende a quedarse dentro de la máquina

Los pesos finales de cada proporción sin desperdicio, se presentan en el siguiente cuadro:

**Tabla 8**

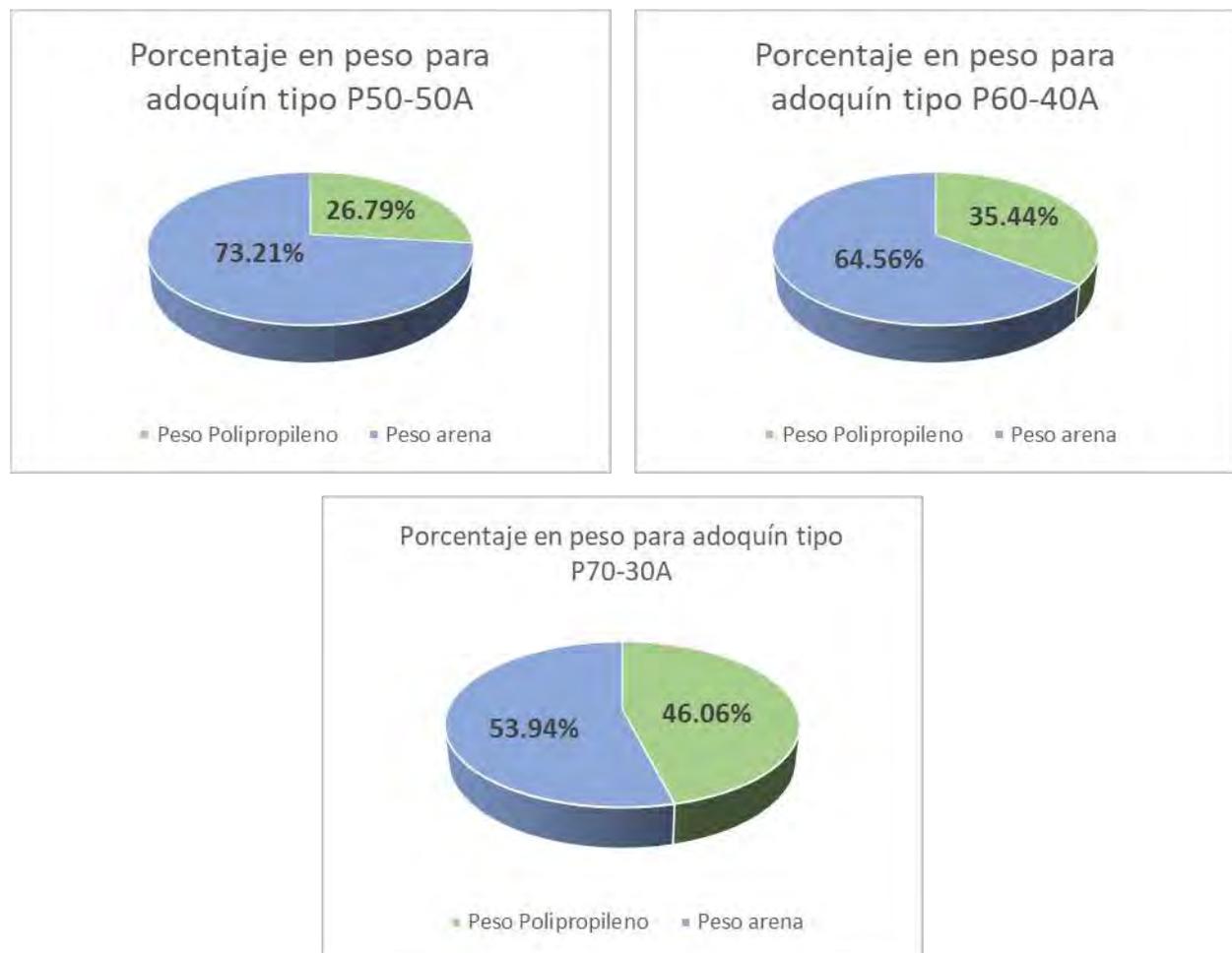
*Tabla resumen de pesos de materias primas por dosificación de adoquines*

Dosificación	Peso PP (gr)	Peso arena (gr)
50PP - 50A	570.00	1,557.65
60PP - 40A	684.00	1,246.12
70PP - 30A	798.00	934.56

*Fuente: Propia*

**Figura 35**

*Porcentaje en peso de los diferentes tipos de adoquines*



*Fuente: Propia*

Adicionalmente se elaboraron adoquines de prueba con las proporciones de 30% PP - 70% arena y 40% PP - 60% arena, los cuales no poseían una buena trabajabilidad de mezcla, debido al exceso de arena, tal como se observa en la Figura 36, razón por la cual se concluyó realizar las proporciones anteriormente mencionadas en la Tabla 8.

**Figura 36.**

*Adoquines de prueba con proporciones de 30% PP - 70% arena y 40% PP - 60% arena.*



*Fuente: Propia*

Luego de tener las proporciones correctas, se coloca la mezcla en la tolva de la extrusora, y esta por medio de un husillo lo transporta por un conducto que se calienta por medio de planchas metálicas, llegando a la temperatura requerida de aproximadamente 300°C, la cual derrite el plástico y lo combina con la arena, esta mezcla sale por la boquilla de la extrusora y se almacena en un segundo calentador el cual mantiene la temperatura de la mezcla constante hasta obtener la cantidad requerida para el adocquín.

### Figura 37

*Colocación de mezcla en la tolva de la extrusora.*



*Fuente: Propia*

Quando ya se tiene la cantidad requerida de mezcla, se abre el segundo calentador y se procede al llenado del molde metálico del adocquín, luego de llenarlo, se coloca la tapa del molde y mediante presión con tornillos se consigue compactar la mezcla.

### Figura 38

*Extrusión de mezcla y llenado del molde.*



*Fuente: Propia*

**Figura 39**

*Cerrado de molde y compactación de la mezcla.*



*Fuente: Propia*

Luego de atornillar el molde metálico del adoquín, este se transporta a un pozo de agua para su posterior enfriamiento.

**Figura 40**

*Colocación del molde de adoquín en pozo de agua, para su enfriamiento.*



*Fuente: Propia*

Transcurrido el tiempo aproximado de 10 a 15 minutos, el molde se extrae del pozo y está apto para el desmoldamiento.

**Figura 41**

*Desmoldamiento del adoquín.*



*Fuente: Propia*

**Figura 42**

*Adoquines elaborados.*



*Fuente: Propia*

### 3.7. Ensayos de Laboratorio Para Determinar el Porcentaje Óptimo de Polipropileno de la Mezcla

#### 3.7.1. Resistencia a la Compresión

Para el trabajo de investigación se ensayaron aleatoriamente 72 unidades de adoquín de 10x20x6cm, (24 adoquines con dosificación de 50PP-50A, 24 adoquines con dosificación de 60PP-40A y 24 adoquines con dosificación de 70PP-30A).

#### Materiales y equipos:

- Máquina prensa de concreto (marca ELE International)
- Diales (marca Baker)
- Calibrador Vernier (marca Uyustools)
- Platinas metálicas de 1"
- Yeso tipo IV marca Rubimix

#### Procedimiento:

- El procedimiento empieza midiendo la superficie de contacto con la prensa hidráulica, haciendo tres lecturas de largo y tres lecturas en ancho con un calibrador Vernier, se obtiene un promedio de las dimensiones para hallar el área efectiva.

Figura 43

Dimensiones del adoquín.

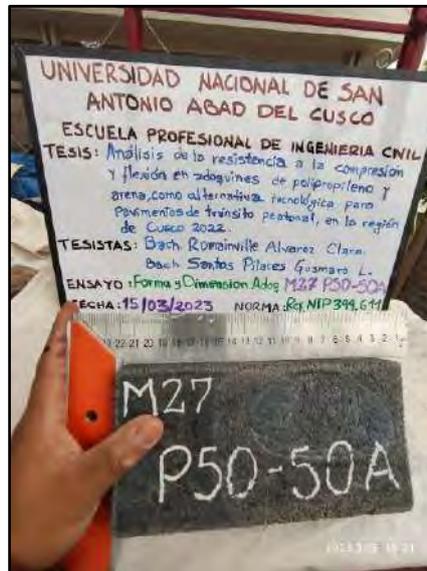


Fuente: Propia

- Luego se pasa a comprobar la perpendicularidad y planicidad de cada adoquín con el uso de una escuadra y el calibrador Vernier.

**Figura 44**

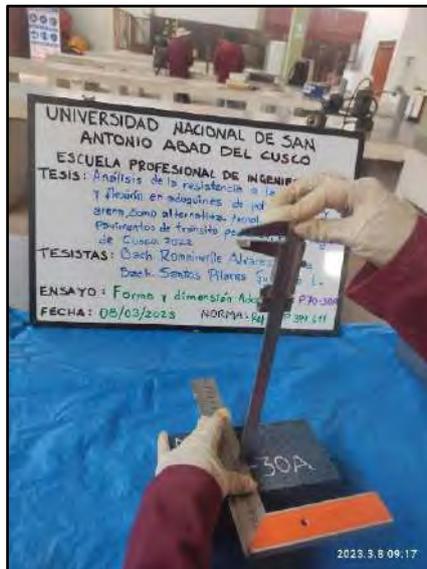
*Perpendicularidad de las aristas del adoquín.*



*Fuente: Propia*

**Figura 45**

*Planicidad de las caras del adoquín.*

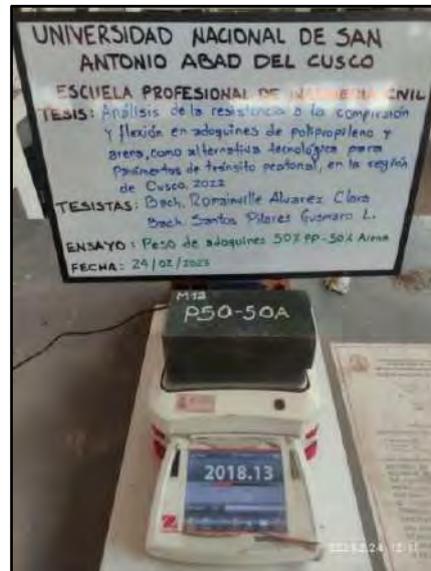


*Fuente: Propia*

- Se registró el peso de cada adoquín para posteriores cálculos como se ve en la Figura 46

**Figura 46**

*Peso de adoquines.*

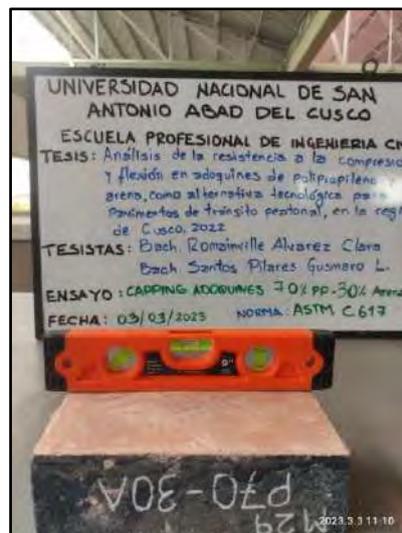


*Fuente: Propia*

- Después de verificar la planicidad, se vio algunas pequeñas irregularidades por lo que se optó por hacer el capping o refrentado de muestras; para lo cual se usó yeso tipo IV, para hacer el capping en ambas caras del adoquín.

**Figura 47**

*Capping de adoquines para ensayo de compresión.*



*Fuente: Propia*

- Una vez terminado alistar la muestra procedemos a la colocación en la prensa hidráulica del laboratorio; para lo cual se acondicionó 4 diales de deformación (2 diales en pulgadas y 2 diales en milímetros), de los cuales el dial en pulgadas que se encuentra en la placa base que sube de la prensa en la dirección de la aplicación del esfuerzo es la deformación para determinar el módulo de elasticidad y se usó como la guía para medir las deformaciones transversales y las cargas o esfuerzos en la prensa hidráulica, cada 0.005 pulgadas. Por otro parte se observa en la Figura 48 que existen dos deformímetros en el sentido transversal del adoquín y un dial de deformación en el sentido longitudinal del adoquín con el fin de medir las deformaciones y hallar el coeficiente de Poisson y el módulo de Young.

**Figura 48**

*Colocación de adoquines con diales de deformación en la prensa hidráulica - Parte Delante.*



*Fuente: Propia*

**Figura 49**

*Colocación de adoquines con diales de deformación en la prensa hidráulica - Parte Trasera.*



*Fuente:* Propia

- Para efectos de medición se tuvo que grabar la variación de cada deformímetro usando 3 cámaras de grabación, y una cámara de grabación para la carga o esfuerzo y ya en gabinete ver cada grabación de cada dial de deformación y la carga cada 0.005 pulgadas. El ensayo a compresión se manejó con una velocidad de carga de 600 Kg/seg.

### **3.7.2. Resistencia a la Flexión**

Para el trabajo de investigación se ensayaron aleatoriamente 72 unidades de adoquín de 10x20x6cm, (24 adoquines con dosificación de 50PP-50A, 24 adoquines con dosificación de 60PP-40A y 24 adoquines con dosificación de 70PP-30A).

#### **Materiales y equipos:**

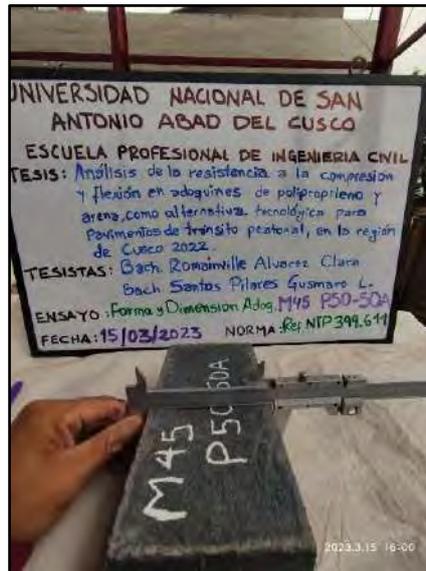
- Máquina de ensayo universal (marca INSTRON 600DX)
- Calibrador Vernier (marca Uyustools)

#### **Procedimiento:**

- Previo al ensayo se midió con un calibrador Vernier, tres lecturas en cada cara del adoquín.

**Figura 50**

*Medida de tres lecturas por lado de adoquines.*

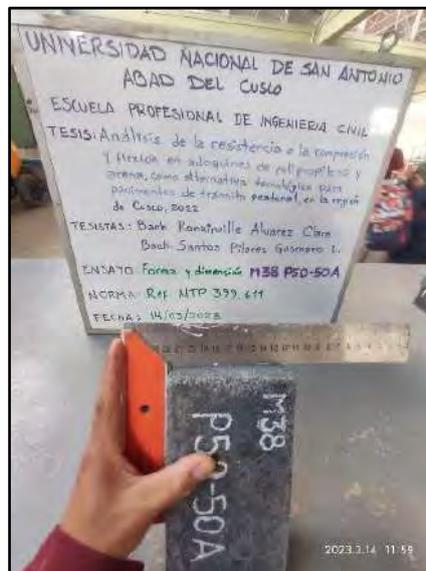


*Fuente: Propia*

- Luego se pasa a comprobar la perpendicularidad y planicidad de cada adoquín con el uso de una escuadra y el calibrador Vernier.

**Figura 51**

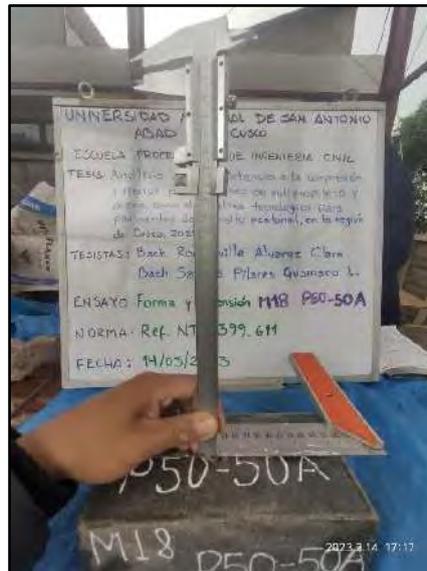
*Perpendicularidad de adoquines.*



*Fuente: Propia*

**Figura 52**

*Planicidad de adoquines*



*Fuente: Propia*

- Se prosiguió al marcado tomando como referencia la norma NTG 41087 h1, apoyado en tres ejes para poder ubicarlo en la Máquina de Ensayo Universal. Cabe recalcar que la superficie de apoyo de los adoquines para las varillas era totalmente plana y no era necesario el uso de capping.

**Figura 53**

*Marcado para colocación en ejes de las varillas de acero en la Máquina Universal.*



*Fuente: Propia*

- Finalmente, la colocación en la Máquina de Ensayos Universal aplicado con una velocidad de carga de 20 Kg/seg.

#### **Figura 54**

*Colocación de adoquines a la Máquina Universal.*



*Fuente: Propia*

### **3.8. Ensayos Adicionales a las Muestras con Porcentaje Óptimo de Polipropileno de la Mezcla**

Posteriormente a la realización de los ensayos de compresión y flexión de los adoquines, se realizó el análisis de los resultados, con lo cual se llegó a la conclusión de que el porcentaje óptimo de mezcla fue el de 60% polipropileno - 40% arena para un pavimento de tránsito peatonal.

Seguidamente se realizaron ensayos adicionales a esta proporción, con la finalidad de verificar la durabilidad del elemento propuesto.

#### **3.8.1. Resistencia a la Abrasión**

(Tempa et al., 2022), afirma que la prueba de Abrasión de Los Ángeles se realiza con la finalidad de encontrar la dureza y carácter de abrasión de los bloques de adoquín, en este ensayo, la muestra se somete a pruebas de impacto, rotación, abrasión y trituración en un tambor giratorio de acero conocido como Máquina de Los Ángeles, que contiene esferas de acero denominadas cargas.

Se tiene como referencia normativa la NTP 400.019 y se sigue el procedimiento de la MTC E 207.

**Materiales y equipos:**

- Máquina de abrasión de Los Ángeles
- Esferas metálicas
- Cronómetro

**Procedimiento:**

- Pesar los especímenes a ensayar en una balanza con una aproximación mínima de 0.1g y sensibilidad al 0.1% de peso
- Para este ensayo se utilizó la mayor carga posible siendo esta la de 12 esferas; se introduce dicha carga en la Máquina de Los Ángeles, junto con la muestra de adoquín y se inicia la rotación a una velocidad entre 30 y 33 rpm, por un total de 500 revoluciones.

**Figura 55**

*Colocación de adoquines en la Máquina de Los Ángeles*



*Fuente:* Propia

- Luego se descarga la muestra y se realiza y se procede a pesarla.

**Figura 56**

*Prueba de abrasión en adoquines*



*Fuente:* Propia

- Finalmente se calcula el desgaste o pérdida de material. como un porcentaje del peso inicial de la muestra. Para ello se utiliza la siguiente ecuación.

$$\% \text{ Desgaste} = \frac{(P_i - P_f) * 100}{P_f}$$

Donde:

P<sub>i</sub> = Peso inicial del adoquín de muestra

P<sub>f</sub> = Peso final del adoquín de muestra

### **3.8.2. Absorción**

Este ensayo tiene como objetivo determinar el porcentaje de absorción de las muestras de adoquines.

#### **Materiales y equipos**

- Balanza (marca Ohaus) de aproximación de 0.1g y sensibilidad a 0.1%
- Depósito de agua.

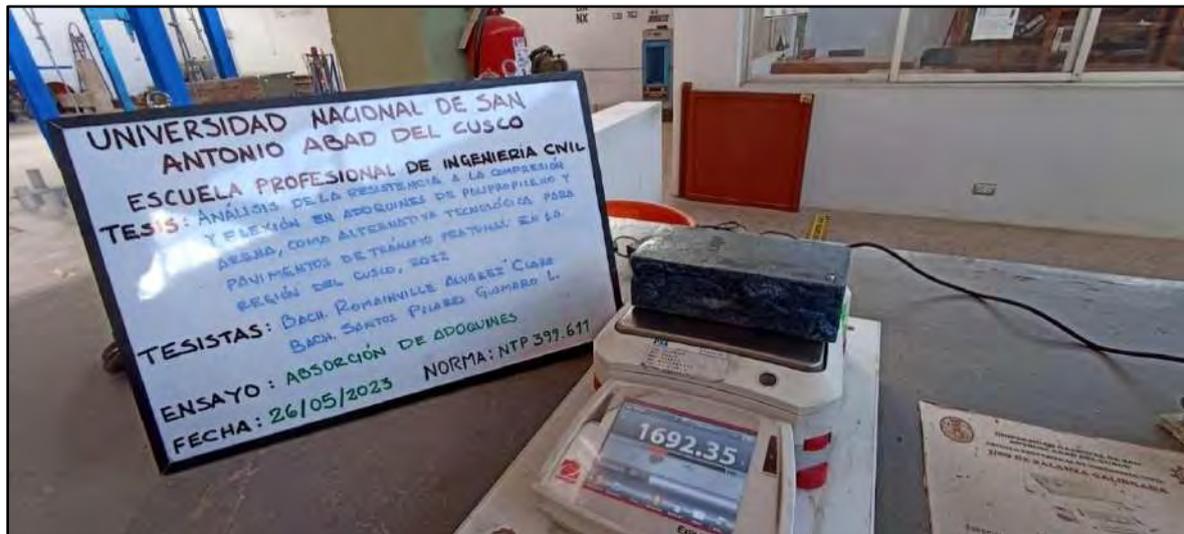
#### **Procedimiento:**

- Pesar las muestras y sumergirlas en agua a una temperatura entre 15.6°C y 26,7°C por 24 horas.

- Pasado el tiempo correspondiente, sacar las muestras del agua, dejar drenar por un minuto aproximadamente y secar el exceso de agua superficial con un paño húmedo, posteriormente determinar su peso saturado.

**Figura 57**

*Determinación del peso saturado de adoquines en ensayo de absorción*



*Fuente: Propia*

- Luego de la saturación, las muestras se llevan a secar en un horno de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  de temperatura constante, por alrededor de 24 horas, para finalmente registrar el peso seco de la muestra.
- Los cálculos a realizar son los siguientes:

$$\text{Absorción, \%} = \frac{W_s - W_d}{W_d} \times 100$$

Donde:

$W_s$  = Peso saturado del adoquín (Kg)

$W_d$  = Peso seco del adoquín (Kg)

### **3.8.3. Durabilidad**

(Tempa et al., 2022)), afirma que existe degradación térmica en adoquines de plástico a altas y bajas temperaturas, debido al bajo ablandamiento y módulo de elasticidad, lo cual prevé que las muestras tengan propiedades frágiles a temperaturas bajas y propiedades dúctiles a temperaturas altas. Por lo tanto, cuando consideramos al plástico

como material aglutinante debemos tener en consideración que el contenido de este no sea muy alto o muy bajo para que no afecte en sus propiedades mecánicas.

Para este ensayo, se colocan las muestras en ambientes que simulen las temperaturas extremas históricas que se registran en la región del Cusco según estudios por parte del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI, por un periodo de 24hr, posteriormente las muestras son sometidas a compresión en la prensa hidráulica del Laboratorio de Ensayos y Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil.

**Materiales y equipos:**

- Máquina prensa de concreto (marca ELE International)
- Calibrador Vernier (marca Uyustools)
- Platinas metálicas de 1"

**Procedimiento:**

- Para las pruebas simuladas a temperaturas bajas de  $-15^{\circ}\text{C}$ , el procedimiento empieza midiendo la superficie de contacto con la prensa hidráulica, haciendo tres lecturas de largo y tres lecturas en ancho con un calibrador Vernier, se obtiene un promedio de las dimensiones para hallar el área efectiva. Luego se pasa a comprobar la perpendicularidad y planicidad de cada adoquín con el uso de una escuadra y el calibrador Vernier, por condiciones de humedad dentro de la congeladora y la casi planicidad de los adoquines no era necesario el uso de capping.
- Luego se colocan en una congeladora a  $-15^{\circ}\text{C}$ , para luego de 24 horas someterlos inmediatamente a compresión simple.

**Figura 58**

*Ensayo a compresión de adoquines a temperaturas bajas*

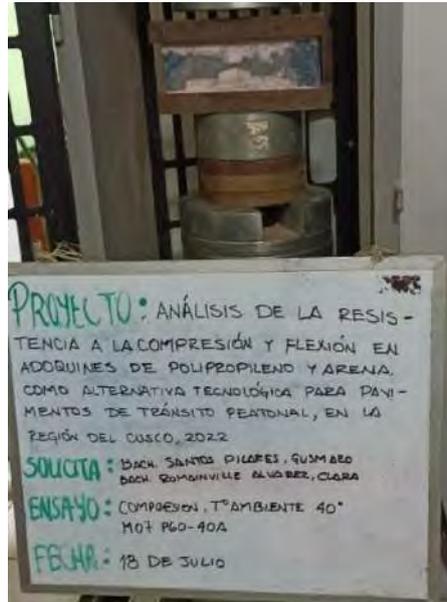


Fuente: Propia

- Para las pruebas simuladas a temperaturas altas de 40°C, el procedimiento es similar a las pruebas a temperaturas bajas, en este caso se usó el capping para poder obtener mejores resultados.
- Luego se colocan en el horno a 40°C, para luego de 24 horas someterlos inmediatamente a compresión simple.

**Figura 59**

*Ensayo a compresión de adoquines a temperaturas altas*



Fuente: Propia

## CAPITULO IV: Resultados de la Investigación

### 4.1. Resultados de Ensayos de los Agregados

En la Tabla 9 se muestra el resumen de resultados obtenidos durante la presente investigación, de los ensayos que se realizaron a los agregados tanto a la arena como al polipropileno.

**Tabla 9**

*Resumen de resultados de ensayos de laboratorio*

<b>Agregado</b>	<b>Ensayo</b>	<b>Und</b>	<b>Resultado</b>
Agregado Corregido	Análisis Granulométrico (MF)		3.08
	Contenido de humedad	%	0.57
	Peso Específico	gr/cm <sup>3</sup>	2.596
	Absorción	%	2.12
	Peso Unitario Suelto	kg/cm <sup>3</sup>	1.48
	Peso Unitario Compactado	kg/cm <sup>3</sup>	1.60
	Contenido de vacíos	%	41.50
Polipropileno	Análisis Granulométrico (MF)		2.32
	Peso Específico	gr/cm <sup>3</sup>	0.95

*Nota:* Elaboración Propia

#### **4.1.1. Resultados del Análisis Granulométrico**

A continuación, se presenta los resultados obtenidos al realizar el ensayo de granulometría para el agregado corregido, que está compuesto por 40% de la cantera de Cunyac y 60% de la cantera de Vicho, así como también se puede verificar los resultados del ensayo de granulometría realizado al polipropileno reciclado triturado.

En la Tabla 10 se observa el análisis granulométrico del agregado corregido, el cual presenta un módulo de fineza de 3.08, lo que indica es una arena adecuada para elaborar los adoquines de polipropileno y arena.

**Tabla 10**

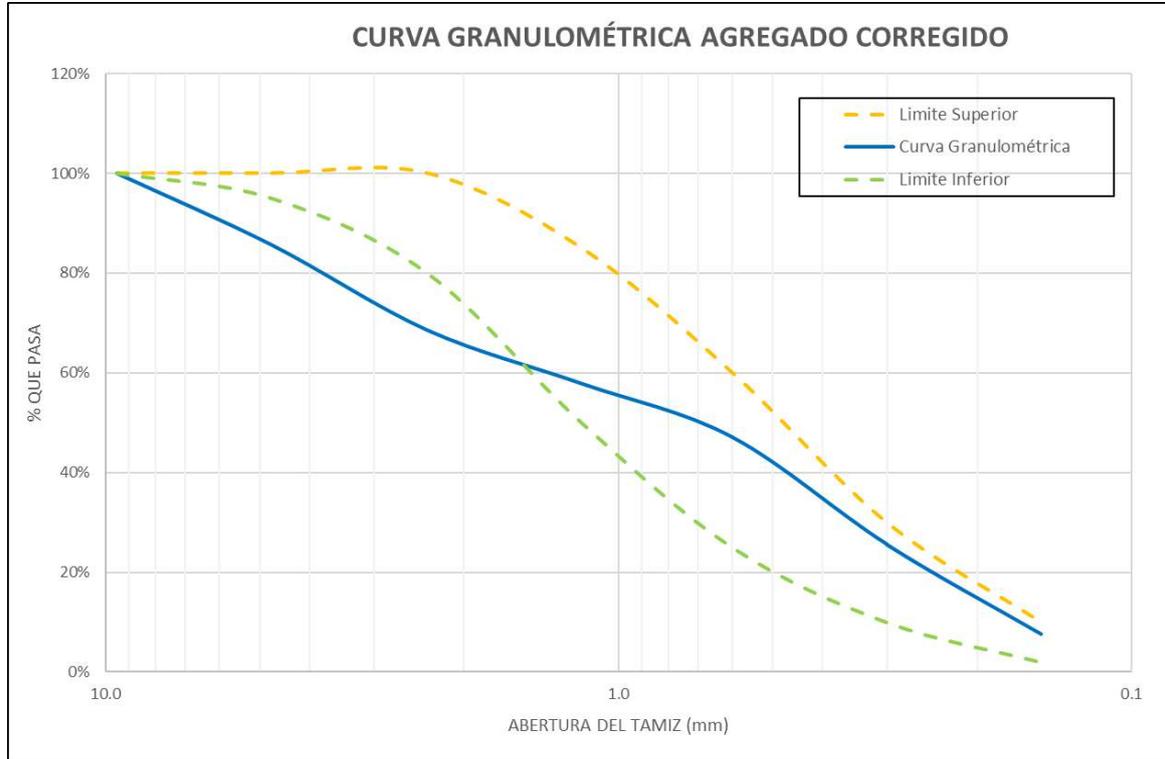
*Análisis granulométrico "agregado corregido"*

TAMIZ		Peso Retenido (Kg)	Peso Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante Acumulado (%)	Límites ASTM C 33		Verific
Pulg.	mm					Límite Inferior	Límite Superior	
3/8"	9.500	0.00	0.00%	0.00%	100%	100%	100%	OK
N° 04	4.750	143.11	14.31%	14.31%	85.69%	95%	100%	NO
N° 08	2.360	171.04	17.10%	31.41%	68.59%	80%	100%	NO
N° 16	1.180	107.21	10.72%	42.13%	57.87%	50%	85%	OK
N° 30	0.600	107.39	10.74%	52.87%	47.13%	25%	60%	OK
N° 50	0.300	215.41	21.54%	74.41%	25.59%	10%	30%	OK
N° 100	0.150	179.56	17.96%	92.37%	7.63%	2%	10%	OK
N° 200	0.075	62.32	6.23%	98.60%	1.40%	--	--	
<b>FONDO</b>		14.00	1.40%	100.00%	0.00%	--	--	
<b>TOTAL</b>		1000.00	100.00%	-	-			

**MODULO DE FINEZA = 3.08**

**Figura 60**

*Curva granulométrica "agregado corregido"*



Nota: Elaboración Propia

**Tabla 11**

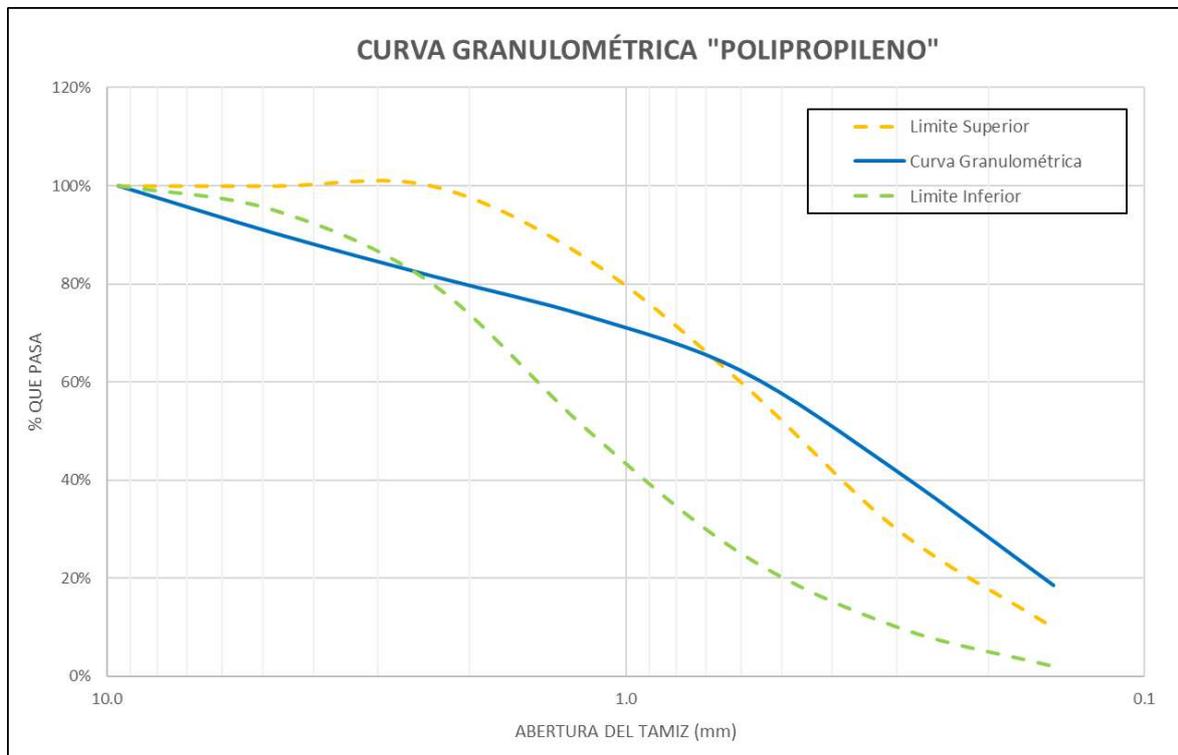
*Análisis granulométrico "polipropileno"*

TAMIZ		Peso Retenido (Kg)	Peso Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante Acumulado (%)	Límites ASTM C 33		Verific
Pulg.	mm					Límite Inferior	Límite Superior	
3/8"	9.500	0.00	0.00%	0.00%	100%	100%	100%	OK
N° 04	4.750	39.92	9.67%	9.67%	90.33%	95%	100%	NO
N° 08	2.360	36.06	8.73%	18.40%	81.60%	80%	100%	OK
N° 16	1.180	34.04	8.24%	26.65%	73.35%	50%	85%	OK
N° 30	0.600	45.52	11.02%	37.67%	62.33%	25%	60%	NO
N° 50	0.300	84.97	20.58%	58.25%	41.75%	10%	30%	NO
N° 100	0.150	95.81	23.21%	81.46%	18.54%	2%	10%	NO
N° 200	0.075	59.41	14.39%	95.84%	4.16%	--	--	
<b>FONDO</b>		17.16	4.16%	100.00%	0.00%	--	--	
<b>TOTAL</b>		412.86	100.00%	-	-			

**MODULO DE FINEZA = 2.32**

**Figura 61**

*Curva granulométrica "polipropileno"*



Nota: Elaboración Propia

En la Tabla 11 se observa el análisis granulométrico del polipropileno, el cual presenta un módulo de fineza de 2.32.

#### **4.1.2. Resultados del Contenido de Humedad**

Para hallar el contenido de humedad de los agregados, se realizaron tres tomas de muestras, tal como se puede verificar en la Tabla 12, para el agregado corregido se tiene un contenido de humedad de 0.57%.

**Tabla 12**

*Contenido de humedad "agregado corregido"*

<b>Descripción</b>	<b>Unid</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso de tara	gr	56.64	55.09	56.63
Peso de tara + Muestra húmeda	gr	239.71	234.71	230.09
Peso muestra húmeda	gr	183.07	179.62	173.46
Peso de tara + Muestra seca	gr	238.42	233.9	229.12
Peso muestra seca	gr	181.78	178.81	172.49
Contenido de humedad	%	0.71%	0.45%	0.56%
<b>Contenido de humedad promedio</b>	<b>%</b>		<b>0.57%</b>	

*Nota:* Elaboración Propia

#### **4.1.3. Resultados del Ensayo de Peso específico y Absorción**

Para determinar el peso específico y absorción de agregados, también se realizaron tres tomas de muestras, se pueden observar en la Tabla 13 que el peso específico de masa (Pem) del agregado corregido es de 2.596 gr/cm<sup>3</sup> y el porcentaje de absorción es 2.12%, en el caso del polipropileno reciclado el peso específico obtenido fue de 0.95 gr/cm<sup>3</sup>, tal como se aprecia en la Tabla 14.

**Tabla 13***Peso específico y absorción "agregado corregido"*

<b>Descripción</b>	<b>Und</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso de material saturado superficialmente seco (SSS)	gr	500.1	500.15	500.31
Peso frasco + agua	gr	640.5	640.68	676.43
Peso frasco + muestra SSS + agua	gr	951.6	952.36	988.1
Volumen de masa + volumen de vacíos (V-Va)	cm3	188.9	188.5	188.6
Peso de material secado al horno (Wo)	gr	489.1	490.3	490.1
Volumen de masa (NETO)	cm3	178.0	178.7	178.7
<b>Peso específico de masa (Pem)</b>	<b>gr/cm3</b>	2.59	2.60	2.60
			<b>2.60</b>	
<b>Peso específico de masa saturada con superficie seca (Pesss)</b>	<b>gr/cm3</b>	2.65	2.65	2.65
			<b>2.65</b>	
<b>Peso específico aparente (Pea)</b>	<b>gr/cm3</b>	2.75	2.74	2.74
			<b>2.74</b>	
<b>Absorción</b>	<b>%</b>	2.24	2.02	2.09
			<b>2.12</b>	

*Nota: Elaboración Propia***Tabla 14***Peso específico "polipropileno"*

<b>Descripción</b>	<b>Und</b>	<b>Blanco</b>	<b>Verde</b>	<b>Azul</b>	<b>Negro</b>
peso PP	gr	600.56	700.16	700.38	700.95
peso probeta	gr	749.06	746.45	746.45	746.45
probeta +oh	gr	1267.41	1342.21	1343.54	1338.93
peso oh	gr	518.35	595.76	597.09	592.48
vol oh form	cm3	641.98	737.85	739.49	733.78
Pe plas	gr/cm3	0.9355	0.9489	0.9471	0.9553
<b>Promedio PE PP</b>	<b>gr/cm3</b>		<b>0.95</b>		

*Nota: Elaboración Propia*

#### 4.1.4. Resultados del Ensayo de Peso Unitario y Contenido de vacíos

En la Tabla 15 se muestran los resultados del peso unitario suelto del agregado corregido, el cual es de 1.48 gr/cm<sup>3</sup>, mientras que el peso unitario compactado del agregado corregido es de 1.60 gr/cm<sup>3</sup> tal como se aprecia en la Tabla 16.

Para el contenido de vacíos, se tiene un porcentaje de 41.50%, tal como se observa en la Tabla 17.

**Tabla 15**

*Peso unitario suelto "agregado corregido"*

Descripción	Unid	1	2	3
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	943.69	943.69	943.69
Peso del molde	gr	4235.22	4235.2	4235.21
Peso molde + Peso muestra suelta	gr	5619.46	5625.72	5641.16
Peso muestra suelta	gr	1384.24	1390.52	1405.95
Peso unitario suelto	gr/cm <sup>3</sup>	1.47	1.47	1.49
<b>Peso unitario suelto promedio</b>	<b>gr/cm<sup>3</sup></b>		<b>1.48</b>	

*Nota:* Elaboración Propia

**Tabla 16**

*Peso unitario compactado "agregado corregido"*

Descripción	Unid	1	2	3
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	943.69	943.69	943.69
Peso del molde	gr	4235.22	4235.22	4235.22
Peso molde + Peso muestra compactada	gr	5749.47	5755.63	5736.23
Peso muestra compactada	gr	1514.25	1520.41	1501.01
Peso unitario compactado	gr/cm <sup>3</sup>	1.60	1.61	1.59
<b>Peso unitario compactado promedio</b>	<b>gr/cm<sup>3</sup></b>		<b>1.60</b>	

*Nota:* Elaboración Propia

**Tabla 17***Contenido de vacíos "agregado corregido"*

<b>Descripción</b>	<b>Unid</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso específico aparente	gr/cm <sup>3</sup>	2.748	2.743	2.742
Peso unitario compactado	gr/cm <sup>3</sup>	1.60	1.61	1.59
Densidad del agua	gr/cm <sup>3</sup>	0.998	0.998	0.998
<b>Porcentaje de vacíos</b>	<b>%</b>	41.48%	41.15%	41.88%
		<b>41.50%</b>		

*Nota:* Elaboración Propia

## **4.2. Resultados de Ensayos a los Adoquines**

### **4.2.1. Resultados del Ensayo de Resistencia a la Compresión de los Adoquines**

En la Tabla 18, Tabla 19 y Tabla 20 se presentan los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión realizados en los tres tipos de adoquines, para el adoquín tipo P50-50A, el promedio de la resistencia a la compresión fue de 431.78 kg/cm<sup>2</sup>, para el tipo P60-40A el promedio llegó a 383.15 kg/cm<sup>2</sup> y por último, para el adoquín de tipo P70-30A la resistencia a la compresión fue de 358.86 kg/cm<sup>2</sup>. Cabe precisar que los datos arrojados por la prensa hidráulica fueron calibrados utilizando el respectivo certificado de calibración.

**Tabla 18***Resultados de la resistencia a la compresión de adoquines tipo P50-50A*

<b>Muestra</b>	<b>Carga (Kgf)</b>	<b>Carga Calibrada (Kgf)</b>	<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>f'c (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
M12	86530	86703.06	198.717	436.31
M13	95600	95600.00	197.168	484.87
M16	86310	86482.62	199.416	433.68
M17	76360	76540.52	198.072	386.43
M19	91710	91710.00	199.664	459.32
M21	82960	83125.92	196.956	422.05
M22	89790	89969.58	195.961	459.12
M25	87340	87514.68	198.137	441.69
M27	84000	84168.00	198.456	424.11
M28	85340	85510.68	199.956	427.65
M29	86080	86252.16	201.119	428.86
M30	88770	88947.54	200.928	442.68
M31	81960	82123.92	199.653	411.33
M33	78560	78728.43	199.136	395.35
M35	88200	88376.40	200.642	440.47
M36	84720	84889.44	201.015	422.30
M38	89190	89368.38	200.056	446.72
M39	85200	85370.40	201.060	424.60
M40	84120	84288.24	202.294	416.66
M41	87000	87174.00	199.473	437.02
M43	90460	90460.00	200.018	452.26
M44	88630	88807.26	199.226	445.76
M45	89010	89188.02	199.846	446.28
M46	75590	75774.52	200.937	377.11
<b>Promedio</b>		<b>86128.07</b>	<b>199.496</b>	<b>431.78</b>
<b>Varianza</b>				<b>567.69</b>
<b>Desv. estándar</b>				<b>23.83</b>
<b>Coef. Variación</b>				<b>0.06</b>

*Nota: Elaboración Propia*

**Tabla 19***Resultados de la resistencia a la compresión de adoquines tipo P60-40A*

<b>Muestra</b>	<b>Carga (Kgf)</b>	<b>Carga Calibrada (Kgf)</b>	<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>f'c (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
M02	75030	75217.35	198.114	379.67
M03	51680	51886.72	197.392	262.86
M06	85370	85540.74	197.268	433.63
M10	76300	76480.83	197.249	387.74
M11	79800	79961.20	199.458	400.89
M13	87060	87234.12	197.632	441.40
M17	78220	78390.36	198.077	395.76
M20	76640	76819.03	197.483	388.99
M21	78420	78589.23	196.976	398.98
M22	71800	72002.48	198.073	363.52
M23	73280	73475.80	198.292	370.54
M25	59950	60189.80	198.383	303.40
M28	81310	81472.62	197.570	412.37
M29	70340	70548.63	198.108	356.11
M31	82620	82785.24	198.091	417.92
M34	85540	85711.08	197.136	434.78
M39	83000	83166.00	197.346	421.42
M43	84510	84679.02	197.278	429.24
M46	76810	76988.12	197.401	390.01
M47	80860	81021.72	195.933	413.52
M50	71260	71464.80	198.221	360.53
M53	72600	72798.92	198.866	366.07
M54	74380	74570.56	196.040	380.38
M58	56140	56364.56	197.200	285.82
<b>Promedio</b>		<b>75723.29</b>	<b>197.649</b>	<b>383.15</b>
<b>Varianza</b>				<b>2104.63</b>
<b>Desv. Estándar</b>				<b>45.88</b>
<b>Coef. Variación</b>				<b>0.12</b>

*Nota: Elaboración Propia*

**Tabla 20***Resultados de la resistencia a la compresión de adoquines tipo P70-30A*

<b>Muestra</b>	<b>Carga (Kgf)</b>	<b>Carga Calibrada (Kgf)</b>	<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>f'c (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
M04	84900	85069.80	197.019	431.79
M07	64750	64978.24	195.654	332.11
M09	78020	78191.49	195.770	399.40
M13	80270	80430.54	197.592	407.05
M14	63690	63921.26	196.009	326.11
M18	79900	80060.60	195.489	409.54
M21	73510	73704.73	195.379	377.24
M25	80100	80260.20	194.878	411.85
M26	80580	80741.16	195.448	413.11
M27	78970	79136.07	195.015	405.80
M30	75470	75655.13	195.526	386.93
M31	70720	70927.07	195.945	361.97
M32	81800	81963.60	197.086	415.88
M33	67790	68008.35	193.809	350.90
M38	65320	65546.53	195.482	335.31
M39	74350	74540.71	195.578	381.13
M40	70360	70568.55	194.375	363.05
M41	60070	60309.86	196.133	307.49
M42	70400	70608.38	195.501	361.17
M44	52080	52288.32	195.496	267.47
M46	52180	52388.72	195.572	267.88
M47	46200	46367.24	197.816	234.40
M48	65450	65676.13	197.429	332.66
M52	65480	65706.04	197.666	332.41
<b>Promedio</b>	<b>70098.333</b>	<b>70293.70</b>	<b>195.903</b>	<b>358.86</b>
<b>Varianza</b>				<b>2750.66</b>
<b>Desv. Estándar</b>				<b>52.45</b>
<b>Coef. Variación</b>				<b>0.15</b>

*Nota: Elaboración Propia*

#### 4.2.2. Resultados del Ensayo de Resistencia a la Flexión de los Adoquines

En la Tabla 21, Tabla 22 y Tabla 23 se presentan los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión realizados en los tres tipos de adoquines, para el adoquín tipo P50-50A, el promedio del módulo de rotura  $142.83 \text{ kg/cm}^2$ , para el tipo P60-40A fue de  $126.76 \text{ kg/cm}^2$  y para el tipo P70-30A fue de  $116.70 \text{ kg/cm}^2$ . También cabe precisar que los datos arrojados por la máquina universal se corrigieron de acuerdo a su respectivo certificado de calibración.

**Tabla 21**

*Resultados de la resistencia a la flexión de adoquines tipo P50-50A*

Muestra	Ancho (cm)	Altura (cm)	Longitud (cm)	Carga (kgf)	Carga calibrada (kgf)	MR $\text{kg/cm}^2$
M01	10.014	5.800	17.500	732.10	732.10	57.05
M02	10.078	5.785	17.500	300.73	300.73	23.41
M03	10.003	5.637	17.500	471.74	471.74	38.96
M04	10.036	5.873	17.500	1272.78	1272.78	96.52
M05	9.986	6.095	17.500	1361.23	1361.23	96.32
M06	9.973	6.047	17.500	2031.64	2041.60	146.99
M07	10.017	5.705	17.500	2565.07	2574.14	207.26
M08	9.924	5.714	17.500	1750.87	1750.87	141.87
M09	10.056	6.034	17.500	2744.69	2753.47	197.45
M10	9.984	5.922	17.500	1926.86	1926.86	144.46
M11	9.932	6.136	17.500	2777.35	2786.07	195.59
M14	9.965	5.869	17.500	2698.88	2707.73	207.12
M15	10.080	6.115	17.500	3142.04	3150.15	219.39
M16	10.097	6.241	17.500	2032.09	2042.06	136.31
M18	10.058	6.096	17.500	3236.84	3244.80	227.88
M20	10.133	6.041	17.500	2245.74	2255.34	160.10
M23	10.066	5.919	17.500	2214.44	2224.10	165.56
M24	9.795	5.787	17.500	1805.30	1805.30	144.47
M26	10.020	5.872	17.500	969.78	969.78	73.68
M32	10.080	5.966	17.500	2501.11	2510.29	183.67
M34	10.092	6.143	17.500	2241.65	2251.27	155.20
M37	10.125	6.233	17.500	2168.17	2177.91	145.37
M42	10.106	6.321	17.500	2103.31	2113.15	137.40
M47	10.095	6.152	17.500	1831.15	1831.15	125.81
<b>Promedio</b>	<b>10.030</b>	<b>5.979</b>	<b>17.50</b>	<b>1963.56</b>	<b>1968.94</b>	<b>142.83</b>
<b>Varianza</b>						<b>3116.14</b>
<b>Desv. Estándar</b>						<b>55.82</b>
<b>Coef. Variación</b>						<b>0.39</b>

Nota: Elaboración Propia

**Tabla 22**

*Resultados de la resistencia a la flexión de adoquines tipo P60-40A*

<b>Muestra</b>	<b>Ancho (cm)</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>Longitud (cm)</b>	<b>Carga (kgf)</b>	<b>Carga calibrada (kgf)</b>	<b>MR kg/cm2</b>
M01	9.997	5.941	17.500	1430.63	1430.63	106.45
M08	10.002	6.054	17.500	1514.09	1514.09	108.43
M09	10.012	5.905	17.500	1625.68	1625.68	122.26
M12	10.021	5.766	17.500	2167.72	2177.46	171.57
M15	10.017	5.981	17.500	1501.85	1501.85	110.04
M16	10.095	6.078	17.500	777.00	777.00	54.69
M24	10.016	5.943	17.500	1754.50	1754.50	130.22
M27	10.019	5.984	17.500	2190.85	2200.55	161.01
M32	9.986	5.857	17.500	1983.56	1983.56	152.00
M33	10.014	5.966	17.500	1695.53	1695.53	124.87
M37	9.947	5.964	17.500	1385.27	1385.27	102.80
M38	9.897	5.837	17.500	1992.18	1992.18	155.09
M40	10.020	6.091	17.500	1324.49	1324.49	93.53
M41	9.988	6.087	17.500	1242.84	1242.84	88.16
M42	9.947	5.876	17.500	1532.24	1532.24	117.12
M45	9.992	6.101	17.500	3098.94	3107.13	219.31
M48	9.938	5.792	17.500	1794.41	1794.41	141.32
M49	9.978	5.988	17.500	1789.88	1789.88	131.31
M51	9.955	5.717	17.500	1475.08	1475.08	119.01
M52	9.946	5.975	17.500	1917.79	1917.79	141.78
M55	9.987	5.992	17.500	1648.36	1648.36	120.67
M56	9.944	6.023	17.500	1312.24	1312.24	95.51
M57	9.950	5.923	17.500	1570.34	1570.34	118.11
M59	9.938	5.692	17.500	1925.95	1925.95	157.05
<b>Promedio</b>	<b>9.983</b>	<b>5.939</b>	<b>17.50</b>	<b>1693.81</b>	<b>1694.96</b>	<b>126.76</b>
<b>Varianza</b>						<b>1096.93</b>
<b>Desv. Estándar</b>						<b>33.12</b>
<b>Coef. Variación</b>						<b>0.26</b>

*Nota: Elaboración Propia*

**Tabla 23***Resultados de la resistencia a la flexión de adoquines tipo P70-30A*

<b>Muestra</b>	<b>Ancho (cm)</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>Longitud (cm)</b>	<b>Carga (kgf)</b>	<b>Carga calibrada (kgf)</b>	<b>MR kg/cm2</b>
M01	10.044	5.756	17.500	866.82	866.82	68.37
M05	9.937	5.799	17.500	2145.95	2155.72	169.35
M08	9.986	6.055	17.500	1632.93	1632.93	117.08
M10	9.780	6.086	17.500	1493.23	1493.23	108.20
M17	9.937	6.015	17.500	1657.88	1657.88	121.05
M22	9.914	6.051	17.500	2243.02	2252.63	162.89
M23	9.900	6.066	17.500	2036.18	2046.13	147.43
M24	9.908	5.883	17.500	2676.65	2685.54	205.62
M28	9.987	6.028	17.500	1358.51	1358.51	98.28
M35	9.809	6.024	17.500	3308.96	3316.80	244.65
M36	9.921	6.044	17.500	1956.80	1956.80	141.74
M37	9.963	6.120	17.500	2647.17	2656.11	186.85
M43	9.866	5.862	17.500	1767.20	1767.20	136.83
M45	10.014	6.003	17.500	957.53	957.53	69.66
M49	10.026	6.218	17.500	687.19	687.19	46.53
M50	9.995	6.117	17.500	1399.79	1399.79	98.27
M51	10.110	6.151	17.500	307.54	307.54	21.10
M53	9.986	6.223	17.500	1352.61	1352.61	91.83
M54	9.894	5.929	17.500	2418.56	2427.88	183.24
M55	10.019	6.228	17.500	1973.13	1973.13	133.29
M57	9.920	5.978	17.500	989.29	989.29	73.25
M58	10.046	6.248	17.500	1211.09	1211.09	81.07
M59	10.063	6.135	17.500	151.95	151.95	10.53
M60	10.015	6.005	17.500	1152.13	1152.13	83.74
<b>Promedio</b>	<b>9.960</b>	<b>6.043</b>	<b>17.50</b>	<b>1599.67</b>	<b>1602.35</b>	<b>116.70</b>
<b>Varianza</b>						<b>3317.34</b>
<b>Desv. Estándar</b>						<b>57.60</b>
<b>Coef. Variación</b>						<b>0.49</b>

*Nota: Elaboración Propia*

### 4.3. Resultados de Ensayos a los Adoquines con Porcentaje Óptimo de Polipropileno y Arena

#### 4.3.1. Resultados del Ensayo de Desgaste del Adoquín con % Óptimo de Polipropileno y Arena

En la Tabla 24, se muestran los resultados de la prueba de desgaste realizado con la máquina de abrasión de Los Ángeles para el adoquín tipo P60-40A, más adelante se verá el análisis por el cual consideramos que esta proporción es la más adecuada para un pavimento de tránsito peatonal. Según dicha tabla observamos que el porcentaje promedio de desgaste es de 0.94%

**Tabla 24**

*Resultados de prueba de desgaste en muestras de P60 – 40A*

Descripción	Und	M14	M18	M35
Peso inicial	gr	1712.68	1740.65	1742.08
peso final	gr	1693.86	1725.98	1726.93
Pérdida de masa	gr	18.82	14.67	15.15
% desgaste	%	1.10	0.84	0.87
<b>Promedio % desgaste</b>	<b>%</b>		<b>0.94</b>	

*Nota: Elaboración Propia*

#### 4.3.2. Resultados del Ensayo de Absorción del Adoquín con % Óptimo de Polipropileno y Arena

En la Tabla 25 se muestran los resultados del ensayo de absorción realizado para muestras del adoquín tipo P60-40A, se aprecia que el promedio del porcentaje de absorción es de 030%.

**Tabla 25**

*Resultados de ensayo de absorción en muestras de P60 – 40A*

Descripción	Und	M36	M04	M19
Peso saturado	gr	1692.39	1772.97	1798.78
Peso seco	gr	1690.94	1766.89	1790.61
% absorción	%	0.09%	0.34%	0.46%
<b>Promedio % absorción</b>	<b>%</b>		<b>0.30%</b>	

*Nota: Elaboración Propia*

### 4.3.3. Resultados del Ensayo de Durabilidad del Adoquín con % Óptimo de Polipropileno y Arena

En la Tabla 26 y Tabla 27 se muestran los resultados de resistencia a compresión para el ensayo de durabilidad del adoquín tipo P60-40A, para temperaturas bajas extremas y temperaturas altas extremas respectivamente.

**Tabla 26**

*Resultados de durabilidad a temperatura baja extrema en muestras de P60 – 40A*

Descripción	Peso	Largo	Ancho	Altura	Carga	Área	f'c
M04	1769.55	19.762	9.978	6.027	91000	197.170	461.53
M19	1792.77	19.788	9.937	6.139	20400	196.618	103.75
M26	1773.50	19.878	9.944	6.080	11500	197.657	58.18
<b>Promedio</b>	<b>1778.61</b>	<b>19.81</b>	<b>9.95</b>	<b>6.08</b>	<b>40966.67</b>	<b>197.15</b>	<b>207.82</b>

*Nota: Elaboración Propia*

**Tabla 27**

*Resultados de durabilidad a temperatura alta extrema en muestras de P60 – 40A*

Descripción	Peso	Largo	Ancho	Altura	Carga	Área	f'c
M07	1762.66	19.725	10.006	6.028	69262	197.368	350.9276
M30	1811.92	19.800	9.968	6.241	64000	197.357	324.2863
M44	1813.91	19.746	9.944	6.095	58145	196.339	296.1454
<b>Promedio</b>	<b>1796.16</b>	<b>19.76</b>	<b>9.97</b>	<b>6.12</b>	<b>63802.33</b>	<b>197.02</b>	<b>323.79</b>

*Nota: Elaboración Propia*

## CAPITULO V: Análisis y Discusión

### 5.1. Análisis de resultados

#### 5.1.1. Análisis de Resultados de Resistencia a la Compresión de los Adoquines

El primer objetivo específico busca determinar el porcentaje óptimo de polipropileno y arena en la elaboración de adoquines de tránsito peatonal, para obtener la mejor resistencia a la compresión. Para ello se aplicó la técnica de Análisis de Varianza de un factor (ANOVA) para poder determinar el nivel de diferencia entre porcentaje de polipropileno y arena.

De acuerdo a la técnica ANOVA, se plantearon las siguientes hipótesis:

- Hipótesis nula: Todas las medias de compresión son iguales para los porcentajes de mezcla de polipropileno y arena
- Hipótesis alterna: No todas las medias de compresión son iguales

En la Tabla 28 se muestra los resultados de la prueba ANOVA para determinar si existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de resistencia a la compresión, para cada uno de los tres porcentajes de polipropileno y arena en la elaboración de adoquines. Dado que se ha obtenido un p-valor  $< 0.05$ , se puede rechazar la hipótesis nula, y se puede afirmar que en efecto las medias de resistencia a la proporción son estadísticamente diferentes entre sí, para un 95% nivel de confianza.

**Tabla 28**

*ANOVA de la proporción para la resistencia a la compresión*

Fuente de variación	Suma Cuadrados	GL	Cuadrados medios	F0	Ft	Valor p	
Tratamientos	66172.17	2	33086.09	18.30	>	3.13	0.000
Error	124728.52	69	1807.66	Si hay diferencias significativas			
<b>Total</b>	<b>190900.69</b>	<b>71</b>					

*Nota:* Elaboración Propia

En la Tabla 29 se muestra las estimaciones de las medias de resistencia a la compresión, y los intervalos de confianza correspondientes.

**Tabla 29**

*Media de resistencia a la compresión por porcentaje e Intervalos de Confianza*

<b>Porcentaje</b>	<b>n</b>	<b>Media</b>	<b>Desv.Est.</b>
P50-50A	24	431.78	23.83
P60-40A	24	383.15	45.88
P70-30A	24	358.86	52.45

*Nota:* Elaboración Propia

Finalmente, en la Tabla 30 se muestra los resultados de la prueba de Tukey, que indica que el porcentaje P50-50A se diferencia estadísticamente de los demás, teniendo una media de resistencia superior, mientras que no existe diferencia estadísticamente significativa entre los porcentajes P60-40A y P70-30A.

**Tabla 30**

*Prueba de Tukey para la agrupación de medias de resistencia a la compresión*

<b>Porcentaje</b>	<b>n</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
P50-50A	24	431.78	A
P60-40A	24	383.15	B
P70-30A	24	358.86	B

*Nota:* Elaboración Propia

### **5.1.2. Análisis de Resultados de Resistencia a la Flexión de los Adoquines**

Para el segundo objetivo específico, que busca determinar el porcentaje óptimo de polipropileno y arena en la elaboración de adoquines de tránsito peatonal, para obtener la mejor resistencia a la flexión. De acuerdo a la técnica ANOVA, se plantearon las siguientes hipótesis:

- Hipótesis nula: Todas las medias de flexión son iguales para los porcentajes de mezcla de polipropileno y arena
- Hipótesis alterna: No todas las medias de flexión son iguales

En la Tabla 31 se muestra los resultados de la prueba ANOVA para determinar si existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de resistencia a la

compresión, para cada uno de los tres porcentajes de polipropileno y arena en la elaboración de adoquines. Dado que se ha obtenido un p-valor  $> 0.05$ , no se puede rechazar la hipótesis nula, y por tanto se afirma que en efecto las medias de resistencia a la flexión, son estadísticamente iguales entre sí, para un 95% nivel de confianza. Por lo tanto, realizar la prueba de Tukey sobre esos datos, ya no es relevante.

En la Tabla 32 se muestra las estimaciones de las medias de resistencia a la flexión, y los intervalos de confianza correspondientes.

**Tabla 31**

*ANOVA de la proporción para la resistencia a la flexión*

Fuente de variación	Suma Cuadrados	GL	Cuadrados medios	F0	Ft	Valor p
Tratamientos	8014.45	2	4007.22	1.66	<	3.13
Error	166564.96	69	2413.98	NO hay diferencias significativas		
<b>Total</b>	<b>174579.40</b>	<b>71</b>				

Nota: Elaboración Propia

**Tabla 32**

*Media de resistencia a la flexión por porcentaje e Intervalos de Confianza*

Porcentaje	n	Media	Desv. Est.
P50-50A	24	140.06	54.74
P60-40A	24	124.31	32.48
P70-30A	24	114.45	56.48

Nota: Elaboración Propia

### **5.1.3. Análisis de Coeficiente de Poisson y Módulo de Elasticidad Longitudinal del Adoquín con % Óptimo de Polipropileno.**

En las siguientes tablas se muestran los datos obtenidos de las pruebas realizadas en el laboratorio y el cálculo analítico del Coeficiente de Poisson y Modulo de Young, para las tres proporciones presentadas.

Según la Tabla 33, se observa que las muestras del tipo P50-50A tienen un promedio de 0.116 mm/mm en Poisson 1 y 0.294 mm/mm en Poisson 2, lo que indica que

tiene una mayor tendencia a ensancharse en comparación a los otros tipos, con respecto al módulo de elasticidad longitudinal indica que el tipo P50-50A, tiene un promedio de 6873.14 Kg/cm<sup>2</sup>, lo que indica que tiene una mayor rigidez por lo tanto es menos propenso a la deformación por el efecto de una carga, en comparación a los otros tipos.

**Tabla 33**

*Análisis de Módulos de Elasticidad Longitudinal y Coeficiente de Poisson del Adoquín del tipo P50-50A*

<b>Nro Muestra</b>	<b>Resistencia kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Poisson 1 (mm/mm)</b>	<b>Poisson 2 (mm/mm)</b>	<b>Young (Kgf/cm<sup>2</sup>)</b>
M12	436.31	0.113	0.285	5011.743
M13	484.87	0.125	0.369	5778.221
M16	433.68	0.102	0.288	6265.263
M17	386.43	0.147	0.250	5151.815
M19	459.32	0.163	0.327	3861.388
M21	422.05	0.138	0.265	5567.967
M22	459.12	0.118	0.373	6565.624
M25	441.69	0.114	0.344	5718.266
M27	424.11	0.087	0.208	5817.942
M28	427.65	0.114	0.295	8316.258
M29	428.86	0.104	0.316	8234.140
M30	442.68	0.132	0.274	8242.639
M31	411.33	0.119	0.279	6790.767
M33	395.35	0.114	0.296	6918.353
M35	440.47	0.129	0.350	7786.754
M36	422.30	0.112	0.285	6730.602
M38	446.72	0.120	0.327	7667.033
M39	424.60	0.111	0.309	8062.909
M40	416.66	0.102	0.297	6618.475
M41	437.02	0.098	0.271	7248.853
M43	452.26	0.091	0.200	10595.158
M44	445.76	0.108	0.328	7854.670
M45	446.28	0.104	0.258	7280.624
M46	377.11	0.111	0.252	6869.815
<b>PROMEDIO</b>	<b>431.78</b>	<b>0.116</b>	<b>0.294</b>	<b>6873.137</b>

*Nota:* Elaboración Propia

La Tabla 34 muestra los resultados para el adoquín tipo P60-40A, el cual tiene un promedio de 0.104 en Poisson 1 y 0.228 en Poisson 2, lo que indica que tiene una menor tendencia a ensancharse en comparación a los otros tipos; con respecto al módulo de Young indica que el tipo P60-40A, tiene un promedio de 6347.814 Kg/cm<sup>2</sup>, lo que indica que tiene una menor rigidez por lo tanto es más flexible bajo el efecto de una carga, en comparación con el adoquín de tipo P50-50A, pero más rígido en comparación con el adoquín tipo P70-30A.

**Tabla 34**

*Análisis Módulos de Elasticidad Longitudinal y Coeficiente de Poisson del Adoquín del tipo P60-40A*

<b>Nro Muestra</b>	<b>Resistencia kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Poisson 1 (mm/mm)</b>	<b>Poisson 2 (mm/mm)</b>	<b>Young (Kgf/cm<sup>2</sup>)</b>
M02	379.67	0.153	0.307	6494.326
M03	262.86	0.091	0.231	4929.052
M06	433.63	0.053	0.214	5657.068
M10	387.74	0.111	0.112	6707.521
M11	400.89	0.118	0.276	7397.672
M13	441.40	0.102	0.149	7094.197
M17	395.76	0.117	0.249	6761.231
M20	388.99	0.073	0.241	5557.980
M21	398.98	0.081	0.237	7057.158
M22	363.52	0.115	0.318	7111.983
M23	370.54	0.112	0.215	6310.695
M25	303.40	0.076	0.267	4083.980
M28	412.37	0.032	0.193	7740.773
M29	356.11	0.099	0.290	6428.187
M31	417.92	0.098	0.247	8351.473
M34	434.78	0.101	0.278	6440.869
M39	421.42	0.109	0.274	6985.531
M43	429.24	0.087	0.218	8088.012
M46	390.01	0.141	0.219	5301.482
M47	413.52	0.140	0.229	4687.592
M50	360.53	0.108	0.172	6355.020
M53	366.07	0.123	0.205	5566.787
M54	380.38	0.135	0.170	5959.853
M58	285.82	0.123	0.152	5279.093
<b>PROMEDIO</b>	<b>383.15</b>	<b>0.104</b>	<b>0.228</b>	<b>6347.814</b>

*Nota: Elaboración Propia*

De la Tabla 35 se puede afirmar que el tipo P70-30A tiene un promedio de 0.140 en Poisson 1 Y 0.291 en Poisson 2, lo que indica que tiene una menor tendencia a ensancharse en comparación con el tipo P50-50A, pero mayor al adoquín tipo P60-40A; con respecto al módulo de Young indica que el tipo P70-30A, tiene un promedio de 4000.274 Kg/cm<sup>2</sup>, lo que significa que tiene mayor capacidad de deformación por el efecto de una carga, sin llegar a deformarse permanentemente, es decir que es mucho más flexible que los otros tipos de adoquines.

**Tabla 35**

*Análisis de Módulos de Elasticidad Longitudinal y Coeficiente de Poisson del Adoquín del tipo P70-30A*

<b>Nro Muestra</b>	<b>Resistencia kg/cm2</b>	<b>Poisson 1 (mm/mm)</b>	<b>Poisson 2 (mm/mm)</b>	<b>Young (Kgf/cm2)</b>
M04	431.79	0.189	0.298	4565.539
M07	332.11	0.122	0.204	3950.242
M09	399.40	0.154	0.242	3650.116
M13	407.05	0.107	0.174	6061.195
M14	326.11	0.120	0.373	3084.364
M18	409.54	0.185	0.246	2127.457
M21	377.24	0.170	0.382	2017.726
M25	411.85	0.142	0.303	3010.095
M26	413.11	0.171	0.281	2222.558
M27	405.80	0.165	0.298	2818.024
M30	386.93	0.148	0.359	3684.867
M31	361.97	0.112	0.164	5722.443
M32	415.88	0.121	0.170	5200.158
M33	350.90	0.150	0.374	3175.278
M38	335.31	0.146	0.398	3053.958
M39	381.13	0.134	0.354	4582.194
M40	363.05	0.151	0.339	4277.310
M41	307.49	0.181	0.335	4363.820
M42	361.17	0.130	0.252	6387.728
M44	267.47	0.129	0.212	3438.841
M46	267.88	0.102	0.317	4329.943
M47	234.40	0.085	0.264	4204.442
M48	332.66	0.145	0.337	5928.194
M52	332.41	0.109	0.308	4150.073
<b>PROMEDIO</b>	<b>358.86</b>	<b>0.140</b>	<b>0.291</b>	<b>4000.274</b>

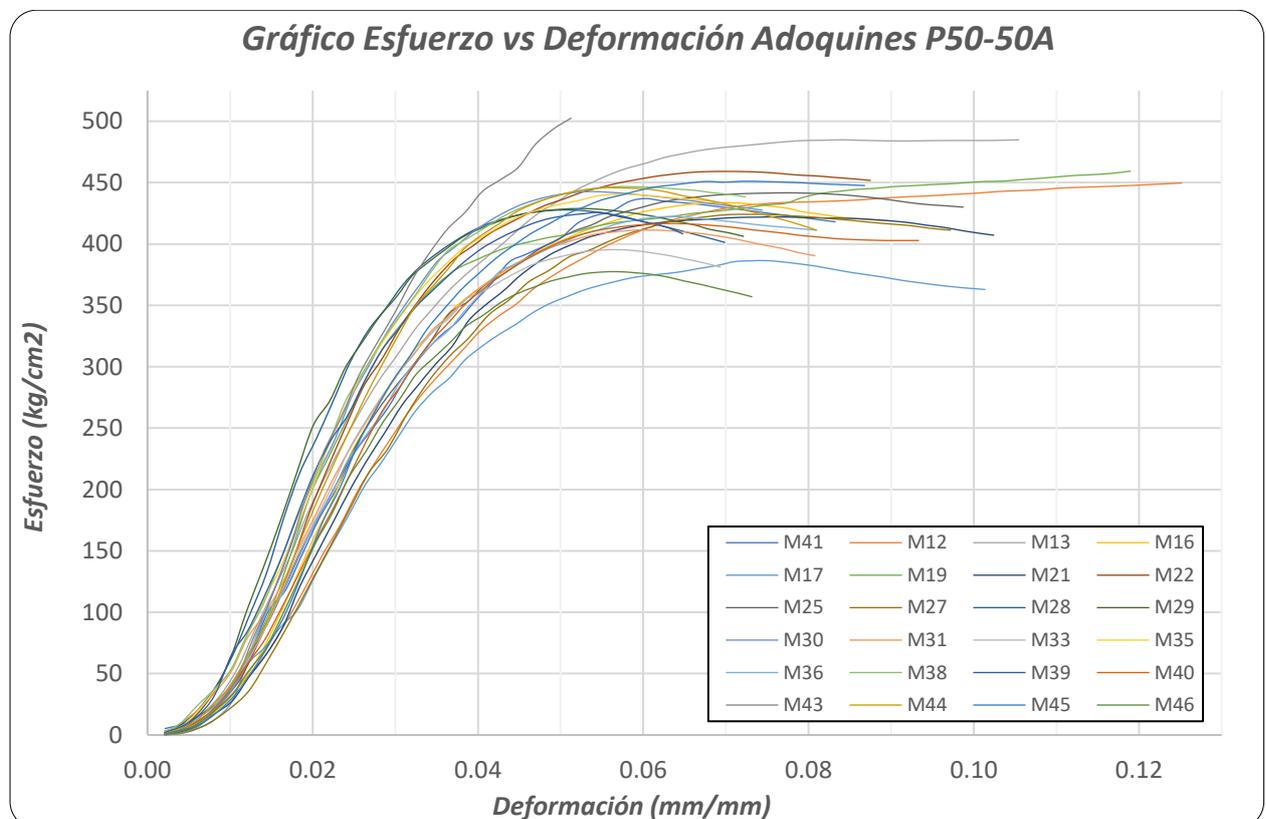
*Nota:* Elaboración Propia

Como se aprecia en los resultados obtenidos, se puede deducir que el adoquín tipo P70-30A, presenta una mayor deformación elástica en comparación a las otras proporciones, lo cual concuerda con la lógica, ya que este contiene mayor cantidad de plástico.

A continuación, se muestran los gráficos de las curvas esfuerzo – deformación de todas las muestras ensayadas de acuerdo al tipo de proporción usado.

**Figura 62**

*Gráfico esfuerzo vs deformación de adoquines tipo P50-50A*

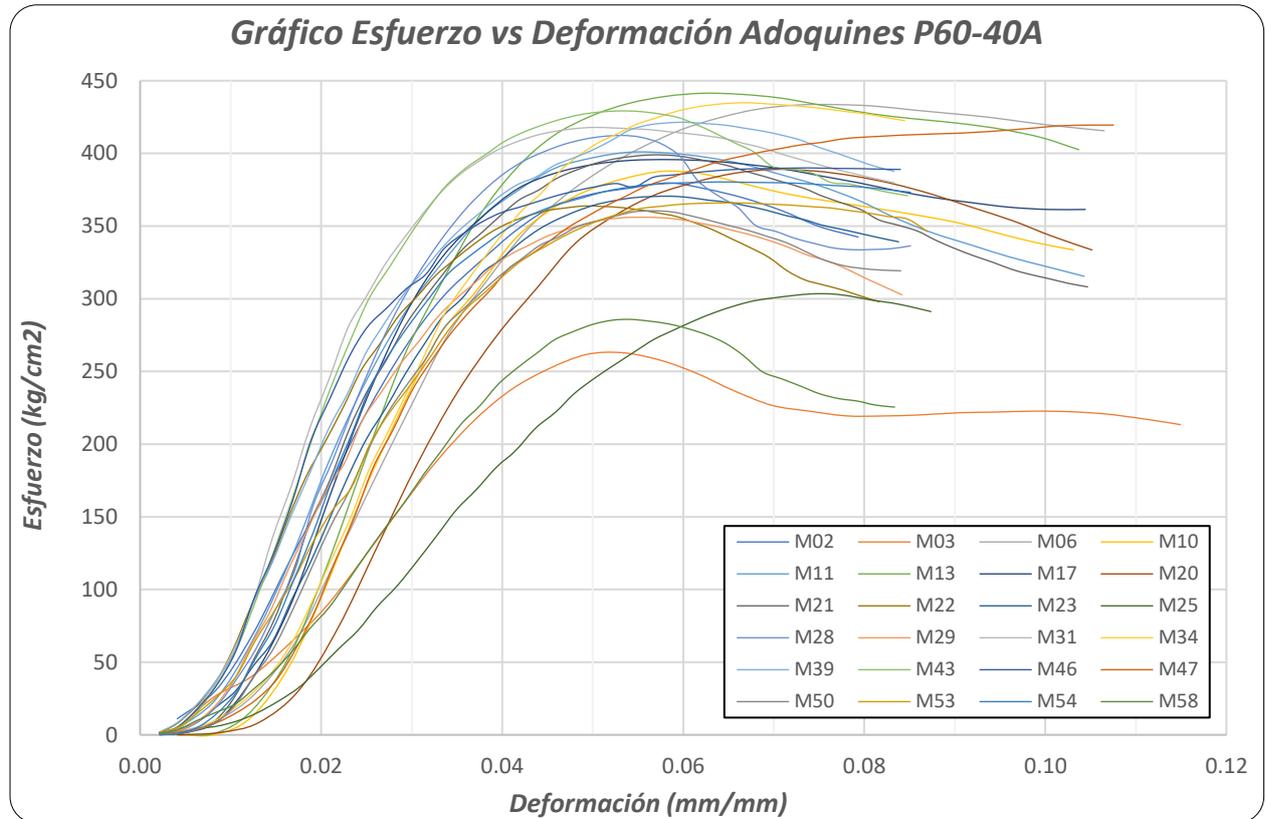


Nota: Elaboración Propia

En la Figura 62 se puede observar el gráfico de esfuerzo vs deformación de las 24 muestras de los adoquines tipo P50-50A.

**Figura 63**

Gráfico esfuerzo vs deformación de adoquines tipo P60-40A

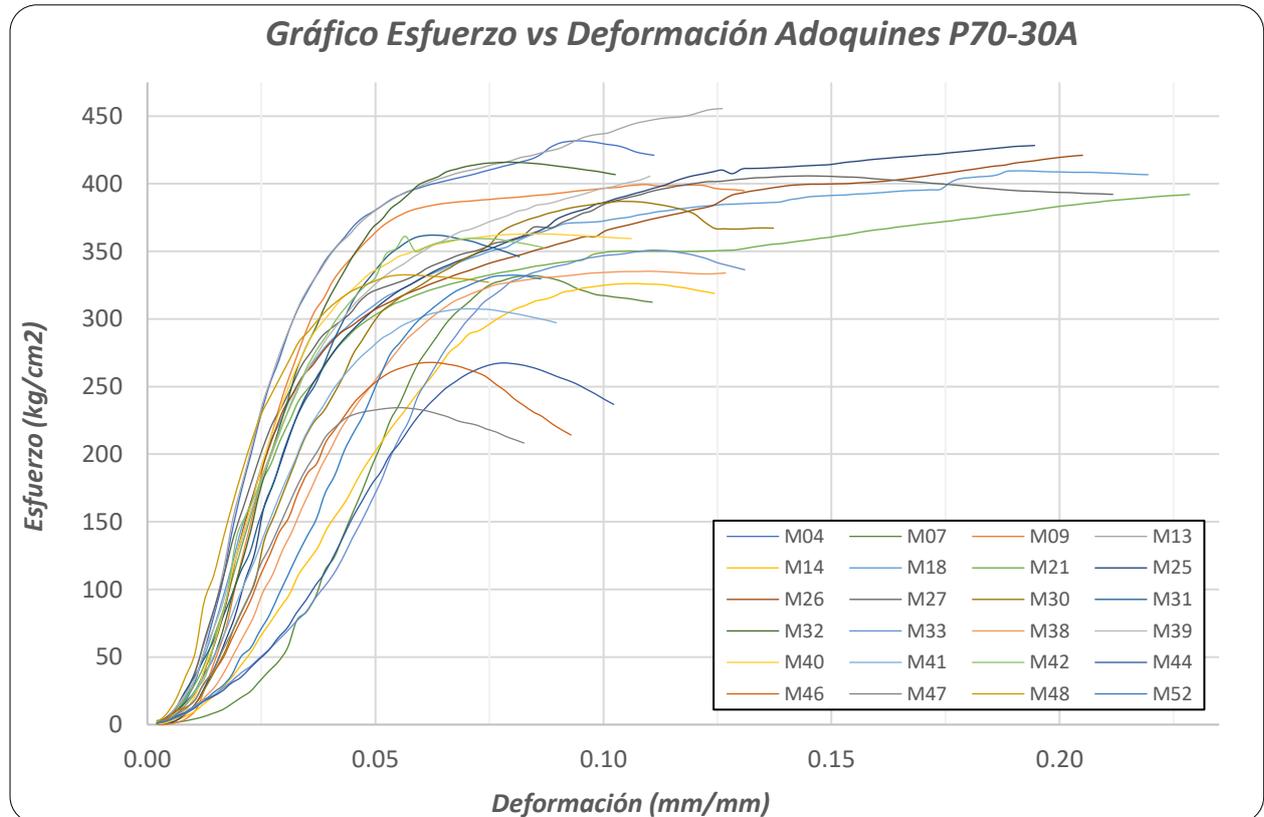


Nota: Elaboración Propia

En la Figura 63 se puede observar el gráfico de esfuerzo – deformación de las 24 muestras de los adoquines tipo P60-40A.

**Figura 64**

Gráfico esfuerzo vs deformación de adoquines tipo P70-30A



Nota: Elaboración Propia

En la Figura 64 se puede observar el gráfico de esfuerzo – deformación de las 24 muestras de los adoquines tipo P70-30A.

#### **5.1.4. Análisis del Desgaste del Adoquín con % Óptimo de Polipropileno y Arena**

Luego de verificar los resultados de la prueba de desgaste, se observó que la pérdida de masa promedio para 3 muestras de adoquines tipo P60-40A, es de 16.21 gr, lo que corresponde a un desgaste promedio de 0.94%.

Según (Tempa et al., 2022), la pérdida de masa y el porcentaje de desgaste disminuye en relación al aumento del contenido de plástico, cabe decir que, a mayor cantidad de polipropileno en la muestra, se tiene un menor porcentaje de desgaste.

### **5.1.5. Análisis del Porcentaje de Absorción del Adoquín con % Óptimo de Polipropileno y Arena**

Luego de verificar los resultados de la prueba para hallar el porcentaje de absorción se verifica que el adoquín tipo P60-40A, es de 0.30%, por conocimiento general se sabe que un bajo porcentaje de absorción indica que el adoquín es menos susceptible a daños por congelación y descongelación.

Según (NTP 399.611, 2017), se recomienda que el porcentaje de absorción de los adoquines no supere el 7.5% por cada espécimen, con lo cual se garantiza la impermeabilidad y la resistencia al congelamiento y descongelamiento.

### **5.1.6. Análisis del Durabilidad del Adoquín con % Óptimo de Polipropileno y Arena**

En la Tabla 36 se presenta en porcentajes la disminución de la resistencia a la compresión de los adoquines, expuestos a temperaturas extremas con respecto al promedio normal del adoquín P60-40A

**Tabla 36**

*Porcentaje de pérdida de resistencia a la compresión de adoquines expuestos a temperaturas extremas*

	<b>f'c</b>	<b>% de pérdida de resistencia a la compresión</b>
Adoquin a T° normal	383.15	
Adoquin a T° baja extrema	207.82	46%
Adoquin a T° alta extrema	323.79	15%

*Nota:* Elaboración Propia

Se observó que el porcentaje de pérdida en la resistencia a la compresión de un adoquín expuesto a temperatura baja extrema llega al 46% con respecto al f'c del adoquín a temperatura normal P60-40A, mientras que para una temperatura alta extrema la pérdida de la resistencia a la compresión es de 15%. Por lo tanto, de acuerdo a los resultados se verifica que un adoquín expuesto a temperaturas extremas ya sean mayores o menores tiende a presentar una menor resistencia a la compresión en comparación a uno expuesto a temperaturas normales.

### 5.1.7. Análisis de Costos Unitarios de Adoquines.

El tercer objetivo específico busca determinar el costo unitario de los adoquines con diferentes dosificaciones de polipropileno y arena, para tránsito peatonal, y definir cuál es más económico frente al adoquín de concreto. Para ello se aplicó el análisis de costo unitario por cada tipo de adoquín:

De acuerdo a la Figura 65 se muestra el análisis de costo unitario por unidad de adoquín de tipo P50-50A, el cual indica que se tendría un costo unitario de S/. 1.67

**Figura 65**

#### Análisis de Costos Unitarios de Adoquines P50-50A

Presupuesto	ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y FLEXIÓN EN ADOQUINES DE POLIPROPILENO Y ARENA, COMO ALTERNATIVA TECNOLÓGICA, PARA PAVIMENTOS DE TRÁNSITO PEATONAL, EN LA REGIÓN DEL CUSCO 2022						
Subpresupuesto	001	Adoquines de Polipropileno y Arena				Fecha presupuesto	20/09/2023
Partida		ADOQUINES DE POLIPROPILENO Y ARENA 50%-50%					
Rendimiento	und/DIA	MO.	300.0000	EQ.	300.0000	Costo unitario directo por : und	1.67
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	PrecioS/.	Parcial S/.	
	Mano de Obra						
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.0267	10.06	0.27	
0101010005	PEON	hh	1.0000	0.0267	7.10	0.19	
						0.46	
	Materiales						
0207020001	ARENA CUNYAC	m3		0.0002	160.00	0.04	
0207020002	ARENA VICHO	m3		0.0004	80.00	0.03	
0210050003	POLIPROPILENO	kg		0.5700	2.00	1.14	
						1.21	
	Equipos						
0301000020	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		2.0000	0.46	0.01	
						0.01	

Nota: Elaboración Propia

De acuerdo a la Figura 66 se muestra el análisis de costo unitario por unidad de adoquín de tipo P60-40A el cual indica que se tendría un costo unitario de S/. 1.89.

**Figura 66****Análisis de Costos Unitarios de Adoquines P60-40A**

Presupuesto	ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y FLEXIÓN EN ADOQUINES DE POLIPROPILENO Y ARENA, COMO ALTERNATIVA TECNOLÓGICA, PARA PAVIMENTOS DE TRÁNSITO PEATONAL, EN LA REGIÓN DEL CUSCO 2022						
Subpresupuesto	001	Adoquines de Polipropileno y Arena				Fecha presupuesto	20/09/2023
Partida	ADOQUINES DE POLIPROPILENO Y ARENA 60%-40%						
Rendimiento	und/DIA	MO.	300.0000	EQ.	300.0000	Costo unitario directo por : und	1.89
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
	Mano de Obra						
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.0267	10.06	0.27	
0101010005	PEON	hh	1.0000	0.0267	7.10	0.19	
	Materiales						
0207020001	ARENA CUNYAC	m3		0.0002	160.00	0.03	
0207020002	ARENA VICHO	m3		0.0003	80.00	0.02	
0210050003	POLIPROPILENO	kg		0.6840	2.00	1.37	
	Equipos						
0301000020	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		2.0000	0.46	0.01	
	0.01						

**Nota:** Elaboración Propia

De acuerdo a la Figura 67 se muestra el análisis de costo unitario por unidad de adoquín de tipo P60-40A el cual indica que se tendría un costo unitario de S/. 2.11.

**Figura 67****Análisis de Costos Unitarios de Adoquines P70-30A**

Presupuesto	ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y FLEXIÓN EN ADOQUINES DE POLIPROPILENO Y ARENA, COMO ALTERNATIVA TECNOLÓGICA, PARA PAVIMENTOS DE TRÁNSITO PEATONAL, EN LA REGIÓN DEL CUSCO 2022						
Subpresupuesto	001	Adoquines de Polipropileno y Arena				Fecha presupuesto	20/09/2023
Partida	ADOQUINES DE POLIPROPILENO Y ARENA 70%-30%						
Rendimiento	und/DIA	MO.	300.0000	EQ.	300.0000	Costo unitario directo por : und	2.11
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
	Mano de Obra						
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.0267	10.06	0.27	
0101010005	PEON	hh	1.0000	0.0267	7.10	0.19	
	Materiales						
0207020001	ARENA CUNYAC	m3		0.0004	65.00	0.03	
0207020002	ARENA VICHO	m3		0.0002	80.00	0.02	
0210050003	POLIPROPILENO	kg		0.7980	2.00	1.60	
	Equipos						
0301000020	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		2.0000	0.46	0.01	
	0.01						

**Nota:** Elaboración Propia

De acuerdo a los análisis de precios unitarios de las proporciones P50-50A, P60-40A, P70-30A obtenidos en el programa S10 de Costos y presupuestos, se observa que el costo mayor unitario corresponde al adoquín tipo P70-30A que tiene un costo de S/ 2.11, mientras que el adoquín tipo P50-50A tiene un costo unitario de S/ 1.67 ya que éste presenta menos cantidad de polipropileno en su elaboración.

Actualmente, el adoquín de concreto de dimensiones 20 x 10 x 6 cm tiene un costo de S/1.26, entonces al realizar una comparación de precios, tenemos que nuestros adoquines presentan un mayor costo.

## 5.2. Discusión

Con respecto al objetivo general en nuestra investigación se verifican que los adoquines compuestos por polipropileno y arena, presentan mejores resultados en las propiedades de resistencia a la compresión y flexión, como alternativa tecnológica para pavimentos de tránsito peatonal en la región del Cusco y coincide con los autores, (Marín Parra, 2019) que indica que los adoquines con residuos de plásticos obtenidos en su investigación son perfectamente compactos y resistentes; por otra parte, según (Chaves Pabon et al., 2020), los adoquines de plástico superan los resultados de resistencias en comparación de los adoquines de hormigón; para (Turpo Mamani, 2019) en sus resultados indica que el adoquín de PET y arena fina posee mejores resultados respecto al convencional.

En nuestra investigación con respecto al primer objetivo específico, en cuanto a la prueba de resistencia a la compresión de los adoquines de polipropileno y arena, se obtuvo una  $f'c$  promedio de  $431.78 \text{ Kg/cm}^2$  en la proporción de P50-50A, para la proporción de P60-40A el  $f'c$  promedio fue de  $383.15 \text{ Kg/cm}^2$  y en la proporción P70-30A el  $f'c$  promedio llegó a  $358.86 \text{ Kg/cm}^2$ , por lo tanto la proporción de P50-50A registró la mayor resistencia a la compresión con respecto a las demás proporciones; pero el adoquín tipo P60-40A presenta la resistencia a la compresión más adecuada para un tránsito peatonal. (Turpo Mamani, 2019), indica en su investigación que la muestra de adoquín con 30% PET y 70 % de arena trabaja mejor a esfuerzos de carga y esta tiene mayor resistencia a compresión con  $220.6 \text{ kg/cm}^2$  frente a los adoquines de 100% PET, 75%PET - 25%Arena fina y 50%PET - 50% Arena; según (Chaves Pabon et al., 2020), indica que en la prueba de compresión los adoquines de plástico soportan una carga de 460 kN mientras que el valor máximo de los adoquines de hormigón tiene una carga de 340 kN registrados en la máquina universal.

En nuestra investigación con respecto al segundo objetivo específico en cuanto a la resistencia a flexión, los adoquines de plástico obtuvieron un módulo de rotura promedio de  $142.83 \text{ Kg/cm}^2$  en la proporción P50-50A, en la proporción P60-40A un módulo de rotura

promedio de 126.76 Kg/cm<sup>2</sup> y en la proporción P70-30A un módulo de rotura promedio de 116.70 Kg/cm<sup>2</sup>, siendo la proporción P50-50A el de mayor módulo de rotura promedio con respecto a las demás proporciones. Según (Chaves Pabon et al., 2020), indica que en cuanto a la resistencia a flexión los adoquines de plástico obtuvieron una carga máxima de 36.77 kN frente a los adoquines de hormigón que tienen 19.64 kN superándolo en un 53% de carga máxima.

En nuestra investigación con respecto al tercer objetivo específico, según el análisis de costo unitario el adoquín tipo P60-40A, tiene un costo unitario de S/ 1.89, el tipo P50-50A un costo unitario de S/ 1.67, el tipo P70-30A, tiene un costo unitario de S/ 2.11, lo que indica que la proporción P50-50A, tiene menor costo que las otras proporciones. Según (Chaves Pabon et al., 2020), indica que los costos de producción de los adoquines de plástico son económicamente ventajosos frente al de hormigón hidráulico en 90 pesos colombianos aproximadamente. Según (Tempa et al., 2022), sus resultados respecto a la producción, muestran que el adoquín de plástico tan solo utiliza 1,8 kg Pw, y según la evaluación económica, el costo unitario del bloque es un 35.39% menor que los adoquines de concreto.

En nuestra investigación con respecto al Análisis del desgaste del adoquín con % óptimo de polipropileno se observó que la pérdida de masa promedio para 3 muestras de adoquines, es de 16.21 gr, lo que corresponde a un desgaste promedio de 0.94%. Según (Muigai, 2022), en su investigación con referencia al ensayo de abrasión, los especímenes tienen una pérdida de masa promedio de 0.09 gr, valor que no excede la pérdida de peso recomendada de 15gr, con lo cual se concluye que los adoquines de plástico pueden resistir el deterioro de la superficie debido a la alta acción abrasiva. (Tempa et al., 2022) en su investigación respecto a la abrasión que realizó mediante la máquina de los ángeles, los resultados arrojaron que el desgaste superficie del adoquín es bajo, mostrando un desgaste máximo de 2.56%, considerándolo como un elemento de alta durabilidad.

## **CAPITULO VI: Conclusiones y Recomendaciones**

### **Conclusiones**

Luego de verificar los capítulos anteriores y viendo los objetivos que se plantean en esta investigación, podemos decir que:

Del objetivo general se concluye que los adoquines de polipropileno y arena presentan mejores resultados en cuanto a las propiedades de resistencia a la compresión y flexión, para el uso en pavimentos de tránsito peatonal, en la región del Cusco.

Visto el objetivo específico N° 1 se tiene las dosificaciones P50-50A, P60-40A y P70-30A con resistencias a la compresión de 431.78 kg/cm<sup>2</sup>, 383.15 kg/cm<sup>2</sup> y 358.86 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente. Debido a que no se tiene una norma específica para este nuevo material utilizaremos como referencia los parámetros solicitados en la norma NTP 399.611. Por lo tanto, se concluye que todos los tipos de adoquines propuestos arrojan resultados favorables para resistencias mayores a 290 kg/cm<sup>2</sup>. Por ende, el adoquín propuesto como mejor dosificación en la investigación es el de P60-40A.

Visto el objetivo específico N° 2, tenemos que la resistencia a la flexión de los adoquines de tipo P50-50A, P60-40A y P70-30A fueron de 142.83 Kg/cm<sup>2</sup>, 126.76 Kg/cm<sup>2</sup> y 116.70 Kg/cm<sup>2</sup> respectivamente. Por lo tanto, ya que no se tiene una norma específica para este tipo de material, podemos utilizar la norma NTG 41086 como referencia para afirmar que todos los tipos de adoquín propuestos cumplen con un MR > 35.7 Kg/cm<sup>2</sup>, por ende, el adoquín tipo P60-40A considerado como el de porcentaje óptimo cumple con el objetivo específico N° 2.

Visto el objetivo específico N° 3 y realizado el análisis de costos unitarios para los tipos P50-50A, P60-40A y P70-30A, se tiene que los siguientes resultados: S/ 1.67, S/ 1.89 y S/ 2.11 respectivamente, sabemos que el costo unitario de un adoquín de concreto en el mercado actual, oscila entre S/ 1.20, por lo tanto, se concluye que el costo unitario de los adoquines propuestos excede al costo del adoquín convencional, pero la ventaja que presenta este tipo de adoquín con material reciclado es que los costos de fabricación no son

tan elevados y pueden llegar a ser la mejor alternativa para pavimentos peatonales debido a que se ahorra el costo por curado y almacenamiento ya que estos no requiere de un tiempo determinado para llegar a su resistencia máxima.

De la investigación, realizado el análisis de varianza ANOVA y Tukey en los resultados de resistencia a la compresión, se concluye que el tipo P50-50A se diferencia estadísticamente de los demás, teniendo una media de resistencia superior, mientras que no existe diferencia estadísticamente significativa entre los porcentajes P60-40A y P70-30A, se concluye también que a pesar de que el adoquín tipo P50-50A, presenta un  $f'c$  promedio mayor, es mejor la utilización de los adoquines de tipo P60-40A o tipo P70-30A ya que estos están destinados para su uso en un pavimento de tránsito peatonal y no requiere de un valor elevado de resistencia a la compresión.

De los resultados de la presente investigación respecto a la resistencia a la flexión, realizado el análisis de varianza ANOVA se tiene que no existe diferencias significativas entre los tres tipos de adoquines, por lo cual se concluye que cualquiera de los tres tipos arroja los mejores resultados de resistencia a la flexión, por lo tanto, cualquiera puede ser utilizado para un pavimento de tránsito peatonal.

También de la investigación se encontró que según los resultados del Análisis de Coeficiente de Poisson de los adoquines tenemos que, el tipo P60-40A presenta una menor tendencia a la deformación lateral respecto a los otros tipos, mientras que el adoquín tipo P50-50A tiene una mayor tendencia a ensancharse en comparación con los otros dos tipos de adoquines.

Según los resultados del Análisis de Módulos de Elasticidad Longitudinal, se concluye que el adoquín tipo P70-30A, tiene un Módulo de Young promedio de 4000.274 Kg/cm<sup>2</sup>, lo que significa que tiene mayor capacidad de deformación por el efecto de una carga, sin llegar a deformarse permanentemente, es decir que es mucho más flexible que los otros tipos de adoquines. Mientras que el tipo P50-50A, tiene un módulo de Young promedio de 6873.14 Kg/cm<sup>2</sup>, lo que indica que tiene una mayor rigidez, para el caso del

adoquín de tipo P60-40A su módulo de Young promedio es de 6347.814 Kg/cm<sup>2</sup>, estando en dentro del rango de las otras proporciones.

Según el análisis del desgaste del adoquín con % óptimo de polipropileno, se concluye que el resultado obtenido para la prueba de abrasión en la máquina de los ángeles muestras que los adoquines de proporciones P60-40A, tienen un porcentaje mínimo de pérdida de masa con un promedio de 0.94%, lo cual nos demuestra que tienen una resistencia óptima al desgaste.

Se determinó que le porcentaje de absorción del adoquín de porcentaje óptimo de polipropileno y arena, es mucho menor a los límites aceptables según norma NTP 399.611:2017, con lo cual se concluye que los adoquines de polipropileno y arena de tipo P60-40A garantizan su impermeabilidad y por lo tanto una resistencia a situaciones de congelamiento y descongelamiento.

En nuestra investigación, se utiliza el agua para el enfriamiento de los adoquines luego del proceso de vaciado, por lo tanto, se llega a la conclusión de que el método de enfriamiento es de importancia para la reducción de los tiempos de desencofrado y por ende la puesta en operatividad de los adoquines.

Durante el proceso de elaboración de los adoquines no se utilizó varillas de compactación debido a que la mezcla al ser un material cohesivo se adhiere a dichas varillas, por lo tanto, se concluye que el método de compactación de la mezcla de polipropileno y arena influye bastante en la forma y dimensiones finales de los adoquines una vez desencofrados.

Se observó que el plástico al pasar de un estado líquido a sólido presenta una variabilidad en las dimensiones, acortándose en promedio 0.12 cm en cada extremo del lado más largo del adoquín, mientras que en el ancho y la altura no sufren variaciones significativas, por lo tanto, se concluye que el diseño en la forma del adoquín no debe ser muy alargada.

Se concluye que la temperatura para la extrusión juega un papel importante, se determinó una temperatura de 200°C-250°C para ambos calentadores de la maquina extrusora, lo cual tuvo una buena trabajabilidad de la mezcla en estado viscoso.

Se observa que la proporción P50-50A tiene las mayores resistencias a compresión y flexión frente a los adoquines P60-40A y P70-30A, lo que podría ser la mejor dosificación tomando diferentes criterios. Lo cual se concluye que se tendría otra mejor proporción en cuanto a valores altos de resistencias.

## Recomendaciones

Se recomienda que para las futuras investigaciones se utilice la proporción de polipropileno y arena del tipo P50-50A, ya que es la proporción que cuenta con mejores resultados en cuanto a resistencia a la compresión y costo en comparación con los otros tipos de proporciones, con el fin de ser usados para otro tipo de pavimento, el cual requiera mayor resistencia que un pavimento peatonal.

Se recomienda la realización de pruebas específicas como el método de ensayo Böhme o el método de ensayo mediante material abrasivo y disco metálico ancho, para verificar los resultados de la prueba de desgaste en adoquines de polipropileno y arena, con la finalidad de verificar su desempeño en pavimentos de tránsito liviano y/o pesado.

Para futuras investigaciones se recomienda el uso de otro tipo de plástico más ligero o liviano, de menor coste para la elaboración de adoquines de tránsito peatonal más baratos, también se recomienda para futuras investigaciones el uso de máquinas con mayor capacidad de producción de adoquines para aminorar los costos por unidad de adoquín y mano de obra.

Se recomienda también el estudio del tipo de compactación apropiado para este tipo de mezcla, ya que como indicamos, se observó que esta mezcla viscosa tiende a adherirse a los elementos usados como compactadores y ellos conlleva a la generación de mayores vacíos internos.

Por otro lado, se recomienda usar un molde metálico sometido al calor previo para evitar cambios de temperatura bruscos al momento del vaciado de la mezcla y posterior compactación.

Se recomienda usar una máquina extrusora con mayores dimensiones de abertura entre el husillo y la cara del calentador que tenga mayor capacidad, para futuras investigaciones ya que al tener agregados más gruesos y menos plástico disminuye el costo del adoquín.

Para futuros estudios, se recomienda el análisis de la influencia de la temperatura de exposición sobre la capacidad de resistencia de la compresión y/o flexión, así como la

influencia de estas temperaturas sobre propiedades de dilatación y/o contracción de los adoquines de plástico y arena.

Se recomienda investigar para futuros trabajos la proporción P50-50A, el cual tiene resultados de resistencia a la compresión y flexión altos frente a los adoquines P60-40A y P70-30A.

## CAPITULO VII: Bibliografía

- Ambicho Aquino, Y. (2022). *Polietileno Fundido Como Material Cohesivo de Adoquines Para Pavimento Articulado en Zonas Urbanas Carentes de Servicios Básicos – Huancayo 2020* [Universidad Nacional del Centro del Perú].  
<http://hdl.handle.net/20.500.12894/8114>
- Arango Londoño, J. F. (2006). Adoquines en concreto: propiedades físico-mecánicas y sus correlaciones. *TecnoLógicas*, 16, 121. <https://doi.org/10.22430/22565337.524>
- ASTM D7611. (2019). *ASTM D7611/ D7611M-19 - Standard Practice for Coding Plastic Manufactured Articles for Resin Identification* (pp. 1–5). American Society for Testing and Materials.
- Becerra Salas, M. (2012). Tópicos de pavimentos de concreto: Diseño, Construcción y Supervisión. En *Flujo Libre*.
- Belizario Mamani, A. A. (2022). Propuesta de utilización de adoquines de agregado fino y grueso con la adición de plástico reciclado para fines de pavimentación, Arequipa, 2022. [Universidad Cesar Vallejo]. En *Universidad Cesar Vallejo*.  
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/86775>
- Borja S., M. (2012). Metodología de la Investigación Científica para Ingenieros. En *Universidad Nacional de Loja*. <https://es.slideshare.net/manborja/metodologia-de-investigacion-cientifica-para-ing-civil>
- Caicedo, C., Crespo Delgado, L. M., De La Cruz Rodríguez, H., & Álvarez Jaramillo, N. A. (2017). Propiedades termo-mecánicas del Polipropileno: Efectos durante el reprocesamiento Thermo-mechanical properties of Polypropylene: Effects during reprocessing. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, XVIII(3), 245–252.
- Chan Yam, J. L., Solís Carcaño, R., & Moreno, É. I. (2003). Influencia de los agregados pétreos en las características del concreto. *Ingeniería*, 7(2), 39–46.  
<http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=46770203>
- Chaves Pabon, S. B., Osorio Baquero, E., Molano Barrera, C. W., Ospina García, M. A., & Lizarazo Godoy, J. O. (2020). Technical and economic comparison between recycled plastic and hydraulic concrete pavers Comparación técnica y económica entre adoquines fabricados con plástico reciclado y con concreto hidráulico. *Revista Espacios*, 41(21), 1–15. <https://www.revistaespacios.com>

- Das, B. M. (2013). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*.
- Delestrac, D. (2012). *Documental: La guerra por la arena - Sand Wars*. Rubicón México.  
<https://rubiconmexico.com/blog/importancia-de-la-arena-en-la-construccion/>
- Fano Descalzi, J. C., & Chávez Céspedes, M. (2017). Diseño estructural de un pavimento básico reciclado y mejorado con cemento portland para diferentes dosificaciones en el proyecto de conservación vial de Huancavelica [Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. En *Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)*.  
<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/622302>
- Gómez, J. L. (s/f). *Estructuras en arquitectura*.
- Haruntun G., K. (2009). *Handbook of Polypropylene and Polypropylene Composites* (K. Haruntun G. (ed.); 2nd editio). <https://doi.org/10.1201/9780203911808>
- Hernandez Cepeda, Y. B. (2018). *Pavimentos de adoquines de concreto una solución ambiental en la construcción de infraestructura vial colombiana* [Universidad Militar Nueva Granada]. <http://hdl.handle.net/10654/17882>.
- Higuera Sandoval, C. H., & Pacheco Merchán, Ó. F. (2010). Pathology of interlocking pavements. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 9(17), 75–94.  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1692-33242010000200007&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-33242010000200007&lng=en&nrm=iso&tlng=es)
- Hoyos, F. (2016). *Geotecnia - Diccionario básico*.  
<https://mecanicasuelosuc.files.wordpress.com/2014/07/geotecniadiccionario-bc3a1sico-2012.pdf>.  
<https://mecanicasuelosuc.files.wordpress.com/2014/07/geotecniadiccionario-bc3a1sico-2012.pdf>
- ICONTEC NTC 3205. (2002). *NTC 3205 - Guía para Plásticos . Sistema de Codificación* (pp. 1–9). Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación - ICONTEC.
- IECA. (2014). *Pavimentos con adoquines de hormigón*.  
[https://www.andece.org/images/BIBLIOTECA/adoquines\\_de\\_hormigon.pdf](https://www.andece.org/images/BIBLIOTECA/adoquines_de_hormigon.pdf)
- Juarez Badillo, E., & Rico Rodriguez, A. (2005). *Fundamentos de la Mecánica de Suelos* ((LIMUSA Noriega Editores) (ed.)).
- López, A., Caleffi, C., Domínguez, N., & Díaz, G. (2016). *Procesos de polímeros*. Universidad José Antonio Páez.

- Marín Parra, M. P. (2019). *Dejando Huella-Pavimentos a partir de plásticos de fácil adquisición* [Universidad El Bosque]. <http://hdl.handle.net/20.500.12495/2530>
- Martínez, P., & Azuaga, M. (1997). Medición del módulo de elasticidad de Young. En *Laboratorio IV - Dpto. de Física*.
- Meza Puchoc, L., & Navarro Lazo, K. G. (2023). Diseño con plástico reciclado adicionando piedra chancada variable para elaboración de adoquines de pavimento, 2022 [Universidad Cesar Vallejo]. En *Universidad Cesar Vallejo*. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/111245>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). Manual de Ensayo de Materiales. *Manual de Ensayo de Materiales*, 1264. [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/documentos/manuales/Manual Ensayo de Materiales.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf)
- Montejo Fonseca, A. (2002). *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras* (A. Montejo Fonseca (ed.); Segunda ed). Universidad Católica de Colombia.
- Muigai, A. W. (2022). *Suitability of Plastic Paving Blocks for Construction of Non-Motorised Transport Facilities* [Universidad de Nairobi]. <http://erepository.uonbi.ac.ke/handle/11295/161538>
- NTC 2017, N. T. C. (2004). *Adoquines de concreto para pavimento* (Vol. 1). <https://metroblock.com.co/wp-content/uploads/2019/11/ADOQUINES.pdf>
- NTE INEN 1 484, N. T. E. (1986). Adoquines Muestreo. En *INEN*.
- NTG 41086, N. T. G. (2012). *Adoquines de concreto para pavimentos. Especificaciones* (p. 21). COGUANOR Comisión Guatemalteca de Normas.
- NTG 41087 h1, N. T. G. (2012). *Métodos de ensayo. Determinación del módulo de ruptura de los adoquines de concreto*. (Número 502). <https://static1.squarespace.com/static/5f1737898fbf332b34b8d7aa/t/5f5bc01cf529a34171ed387e/1599848477182/NTG+41087+h1Modulo+de+ruptura+adoquines.pdf>
- NTP 399.611, N. T. P. (2017). *UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Adoquines de concreto para pavimentos. Requisitos* (p. 16). INACAL.
- Nuñez Villalón, Á. S. (2008). *Estudio de factibilidad técnica de mezclas asfálticas en frío con emulsiones y cenizas FBC para la fabricación de adoquines*. Pontificia Universidad Católica de Chile.

- Papageorgiou, D. G., Papageorgiou, G. Z., Bikiaris, D. N., & Chrissafis, K. (2013). Crystallization and melting of propylene–ethylene random copolymers. Homogeneous nucleation and  $\beta$ -nucleating agents. *European Polymer Journal*, 49(6), 1577–1590. <https://doi.org/10.1016/J.EURPOLYMJ.2013.02.002>
- Pérez Valcárcel, J. (2017). Conceptos Generales De La Mecánica Del Suelo. En *Master En Rehabilitación Arquitectonica*. <https://www.udc.es/dep/dtcon/estructuras/ETSAC/Profesores/valcarcel/MaterMRHE-0809/1a-Mecanica Suelo.pdf>
- Sanjeev Salvi, S., Mantute, K., Sabale, R., Lande, S., & Kadlag, A. (2021). A Study of Waste Plastic Used in Paving Block. *International Journal of Creative Research Thoughts*, 9(5 May 2021), 2320–2882. [www.ijcrt.org](http://www.ijcrt.org)
- Suárez Puentes, J. G. (2020). *Estudio de la factibilidad para la producción de adoquines no convencionales a partir de la reutilización del polietileno de baja densidad en la ciudad de Ibagué* [Universidad de Ibagué]. <https://hdl.handle.net/20.500.12313/2314>
- Susila, I. M., Suardana, N. P. G., Kencanawati, C. I. P. K., Thanaya, I. N. A., & Adnyana, I. W. B. (2019). The effect of composition of plastic waste low density polyethylene (LDPE) with sand to pressure strength and density of sand/LDPE composites. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 539(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/539/1/012043>
- Tempa, K., Chettri, N., Thapa, G., Phurba, Gyeltshen, C., Norbu, D., Gurung, D., & Wangchuk, U. (2022). An experimental study and sustainability assessment of plastic waste as a binding material for producing economical cement-less paver blocks. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 26, 101008. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2021.05.012>
- Turpo Mamani, S. M. (2019). *Reciclado de plástico (PET) para la elaboración de adoquín mediante el proceso de extrusión* [Universidad Peruana Unión]. <http://hdl.handle.net/20.500.12840/2116>
- UNE-EN 1338, N. E. (2004). *Adoquines de hormigón Especificaciones y métodos de ensayo* (p. 66). <https://docplayer.es/188947535-Segun-la-norma-europea-une-en-1338.html>
- Universidad Tecnológica de Chile, U. (2019). *Introducción a la Mecánica de Suelos*.
- Valbuena Guevara, S. I. (2021). *Diseño y prototipaje de adoquín de bajo tráfico vehicular tipo gramadoquín usando plástico de alta densidad reciclado tipo HDPE*. Universidad

Piloto de Colombia.

Wulf Rodriguez, F. A. (2008). *Análisis de Pavimento Asfáltico Modificado con Polímero*.  
Universidad austral de Chile.

## **CAPITULO VIII: Anexos**

**Anexo N° 1**

**Fichas de ensayos realizados en laboratorio**



**CONSTANCIA DE USO DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES PARA TESIS DE INVESTIGACIÓN**

**EL QUE SUSCRIBE JEFE DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL.**

**HACE CONSTAR:**

Que los tesisistas; conducentes a la obtención del título profesional de Ingeniero Civil; Bach. **CLARA ROMAINVILLE ÁLVAREZ** y Bach. **GUSMARO L. SANTOS PILARES**, hizo uso del laboratorio para ejecución de la tesis de investigación: **"ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y FLEXIÓN EN ADOQUINES DE POLIPROPILENO Y ARENA, COMO ALTERNATIVA TECNOLÓGICA, PARA PAVIMENTOS DE TRANSITO PEATONAL, EN LA REGIÓN DEL CUSCO, 2022"**.

Los ensayos que realizaron son los siguientes:

Nro	ENSAYO	NORMA	CANT.
01	Análisis Granulométrico del agregado fino, grueso y global	NTP 400.012	07
02	Peso específico y absorción del agregado fino	NTP 400.022	05
03	Densidad y gravedad específica (densidad relativa) de plásticos por desplazamiento	ASTM D 792	04
04	Determinación de la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos en los agregados	NTP 400.017	06
05	Contenido de humedad total evaporable de agregados por secado.	NTP 339.185	03
06	Determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por Abrasión e Impacto en la Máquina de Los Angeles (en unidad de adoquín)	NTP 400.019	03
07	UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Adoquines de concreto para pavimentos: Resistencia a la compresión	NTP 399.611, 2017	72
08	UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Adoquines de concreto para pavimentos: Resistencia a la compresión (influencia de temperatura)	NTP 399.611, 2017	06
09	RESISTENCIA A LA FLEXOTRACCIÓN (MÓDULO DE ROTURA)	NTC 2017	72

Se le expide la presente constancia a solicitud escrita por los interesados; con fines académicos para la tesis de investigación.

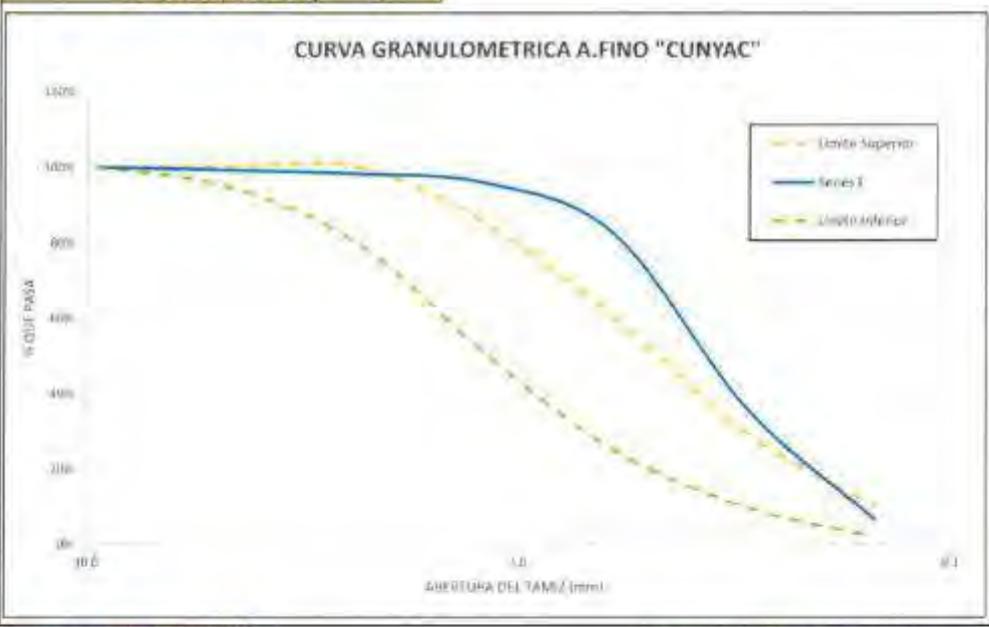
Cusco, 16 de enero de 2024



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil  
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales  
*[Firma]*  
Ing. Luz Mercedes Nieto Palomino  
Jefe de Laboratorio

<b>TESIS:</b>	Análisis de la resistencia a la compresión y flexión en adoquines de polipropileno y arena, como alternativa tecnológica, para pavimentos de tránsito peatonal, en la región del Cusco, 2022.
<b>REALIZADO POR:</b>	Bach. Clara Romainville Alvarez <b>CODIGO:</b> 110577 Bach. Gusmaro L. Santos Pílares <b>CODIGO:</b> 110578
<b>ENSAYO:</b>	Análisis granulométrico de agregado fino
<b>REFERENCIA NORMAT:</b>	NTP 400.032
<b>CANTERA:</b>	Cunyac

TAMIZ		Peso Retenido (Kg)	Peso Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante Acumulado (%)	Límites ATM C 33		Verific.
Pulg.	mm					Límite Inferior	Límite Superior	
3/8"	9.500	0.00	0.00%	0.00%	100%	100%	100%	OK
N° 04	4.750	5.37	0.71%	0.71%	99.29%	95%	100%	OK
N° 08	2.360	7.09	0.93%	1.64%	98.36%	80%	100%	OK
N° 16	1.180	18.94	2.49%	4.13%	95.87%	50%	85%	NO
N° 30	0.600	102.83	13.54%	17.67%	82.33%	25%	60%	NO
N° 50	0.300	348.99	45.67%	63.34%	36.66%	10%	30%	NO
N° 100	0.150	227.93	30.00%	93.34%	6.66%	2%	10%	OK
N° 200	0.075	48.72	6.41%	99.75%	0.25%	--	--	
<b>FONDO</b>		1.86	0.25%	100.00%	0.00%	--	--	
<b>TOTAL</b>		750.76	100.00%					
<b>MODULO DE FINEZA =</b>		1.81						



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

16 ENE. 2024

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Naylah DIBAS HUASMAN SANCHEZ  
RESPONSABLE DE EQUIPO

Bach. Clara Romainville A.  
DNI: 70761872

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
Facultad de Arquitectura, Ingeniería Civil  
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

Ing. Eric Muñoz Nito Palomino  
ASESOR DE TESIS

BACH. GUSMARO L. SANTOS PÍLARES



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

TESIS:	Análisis de la resistencia a la compresión y flexión en adoquines de polipropileno y arena, como alternativa tecnológica, para pavimentos de tránsito peatonal, en la región del Cusco, 2022	
REALIZADO POR:	Bach. Clara Romainville Alvarez	CODIGO: 110577
	Bach. Gusmano L. Santos Pílares	CODIGO: 110578
ENSAYO:	Análisis granulométrico de agregado fino	
REFERENCIA NORMAT:	NTP 400.012	
CANTERA:	Huambutio	

TAMIZ	Pulg.	mm	Peso Retenido (Kg)	Peso Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante Acumulado (%)	Límites ATM C 33		Verific.
							Límite Inferior	Límite Superior	
3/8"		9.500	0.00	0.00%	0.00%	100%	100%	100%	OK
N° 04		4.750	126.58	16.27%	16.27%	83.73%	95%	100%	NO
N° 08		2.360	175.60	22.57%	38.84%	61.16%	80%	100%	NO
N° 16		1.180	163.52	21.02%	59.86%	40.14%	50%	85%	NO
N° 30		0.600	136.92	17.60%	77.46%	22.54%	25%	60%	NO
N° 50		0.300	77.55	9.97%	87.43%	12.57%	10%	30%	OK
N° 100		0.150	41.49	5.33%	92.76%	7.24%	2%	10%	OK
N° 200		0.075	30.12	3.87%	96.63%	3.37%	--	--	
<b>FONDO</b>			26.24	3.37%	100.00%	0.00%	--	--	
<b>TOTAL</b>			778.02	100.00%					
<b>MODULO DE FINEZA =</b>				<b>3.73</b>					



FECHA:

16 ENE, 2024

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

Naylah Diana Huaman Soncco

RESPONSABLE DE EQUIPO

RESPONSABLE DE LABORATORIO

Bach. Clara Romainville A  
DNI: 70761872

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil  
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

Ing° Luz Morlete Niño Pulomino

Jefe de Laboratorio  
ASESOR DE TESIS

DCH. GUSMANO L. SANTOS PÍLARES



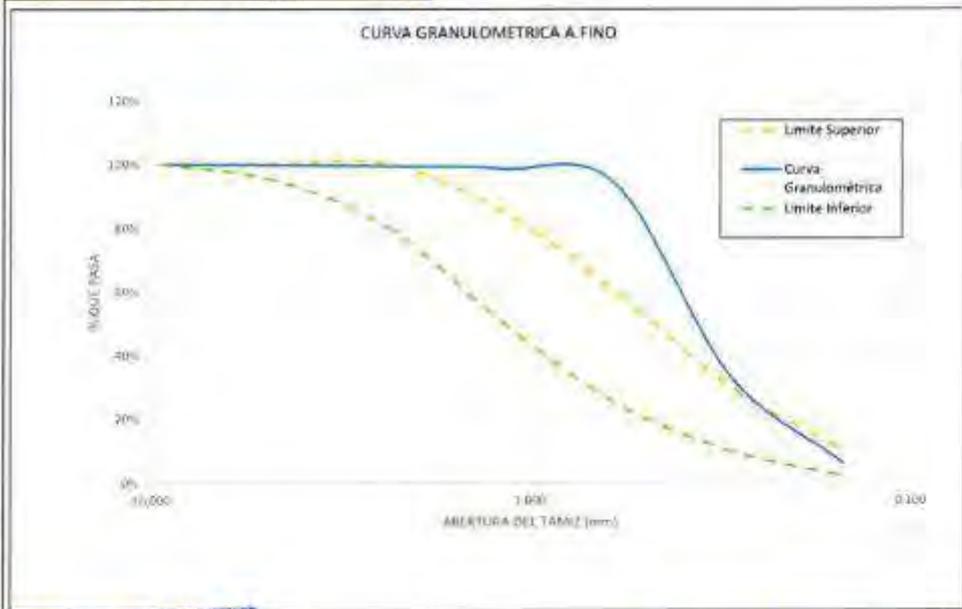
UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

TESIS:	Análisis de la resistencia a la compresión y flexión en adoquines de polipropileno y arena, como alternativa tecnológica, para pavimentos de tránsito peatonal, en la región del Cusco, 2022	
REALIZADO POR:	Bach. Clara Romainville Alvarez CODIGO: 110577	Bach. Guzmán L. Santos Pílares CODIGO: 110578
ENSAYO:	Análisis granulométrico de agregado fino	
REFERENCIA NORMAT:	NTP 400.012	
CANTERA:	Calca	

TAMIZ		Peso Retenido (Kg)	Peso Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante Acumulado (%)	Límites ATM C 33		Verific.	
Pulg.	mm					Límite Inferior	Límite Superior		
3/8"	9.500	0.00	0.00%	0.00%	100%	100%	100%	OK	
N° 04	4.750	1.53	0.26%	0.26%	99.74%	95%	100%	OK	
N° 08	2.360	2.43	0.42%	0.68%	99.32%	80%	100%	OK	
N° 16	1.180	4.34	0.74%	1.42%	98.58%	50%	85%	NO	
N° 30	0.600	27.29	4.68%	6.10%	93.91%	25%	60%	NO	
N° 50	0.300	352.14	60.33%	66.42%	33.58%	10%	30%	NO	
N° 100	0.150	161.29	27.63%	94.06%	5.94%	2%	10%	OK	
N° 200	0.075	26.94	4.62%	98.67%	1.33%	--	--		
<b>FONDO</b>		7.76	1.33%	100.00%	0.00%	--	--		
<b>TOTAL</b>		583.69	100.00%						
<b>MODULO DE FINEZA =</b>		<b>1.69</b>							



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

16 ENE. 2024

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

RESPONSABLE DE LABORATORIO

*Clara Romainville Alvarez*

Bach. Clara Romainville A  
DNI: 70764572

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO Facultades de Arquitectura e Ingeniería Civil Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

*Luc Marlene Ando Palomino*  
Ing. Luc Marlene Ando Palomino  
Jefe de Laboratorio  
ASESOR DE TESIS

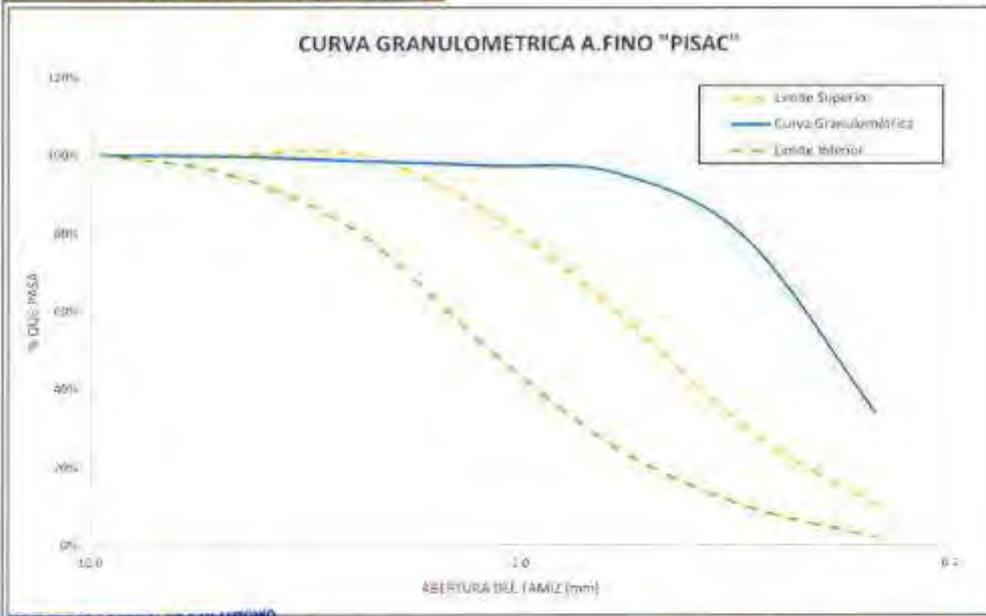
*Guzmán L. Santos Pílares*

Bach. GUZMÁN L. SANTOS PILARES  
DNI: 74867490

<b>TESIS:</b>	Análisis de la resistencia a la compresión y flexión en adoquines de polipropileno y arena, como alternativa tecnológica, para pavimentos de tránsito peatonal, en la región del Cusco, 2022.	
<b>REALIZADO POR:</b>	Bach. Clara Románville Álvarez	<b>CODIGO:</b> 110577
	Bach. Gusmaro L. Santos Píares	<b>CODIGO:</b> 110578
<b>ENSAYO:</b>	Análisis granulométrico de agregado fino	
<b>REFERENCIA NORMAT:</b>	NTP 400.012	
<b>CANTERA:</b>	Pisac	

TAMIZ	Pulg.	mm	Peso Retenido (Kg)	Peso Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante Acumulado (%)	Límites ATM C 33		Verific.
							Límite Inferior	Límite Superior	
3/8"		9.500	0.00	0.00%	0.00%	100%	100%	100%	OK
N° 04		4.750	2.04	0.34%	0.34%	99.66%	95%	100%	OK
N° 08		2.360	6.80	1.15%	1.49%	98.51%	80%	100%	OK
N° 16		1.180	7.24	1.22%	2.71%	97.29%	50%	85%	NO
N° 30		0.600	11.03	1.86%	4.57%	95.43%	25%	60%	NO
N° 50		0.300	98.86	16.71%	21.28%	78.72%	10%	30%	NO
N° 100		0.150	264.38	44.68%	65.96%	34.04%	2%	10%	NO
N° 200		0.075	138.97	23.49%	89.45%	10.55%	-	-	
<b>FONDO</b>			82.43	10.55%	100.00%	0.00%	-	-	
<b>TOTAL</b>			581.72	100.00%					

**MODULO DE FINEZA = 0.96**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**16 ENE. 2024**

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
**Naylah Diana Huaman Soncco**  
**RESPONSABLE DE EQUIPO**

RESPONSABLE DE LABORATORIO

  
Bach. Clara Románville A  
DNI: 70961872

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil  
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

  
**Ing. Luz Marlene Ticona Palomino**  
**Jefe de Laboratorio**  
ASESOR DE TESIS

  
BACH. GUSMARO L. SANTOS PÍARES  
DNI: 70867490

**TESIS:** Análisis de la resistencia a la compresión y flexión en adoquines de polipropileno y arena, como alternativa tecnológica, para pavimentos de tránsito peatonal, en la región del Cusco, 2022  
**REALIZADO POR:** Bach. Clara Románvilce Álvarez **CODIGO:** 110577  
 Bach. Gusmaro L. Santos Pilares **CODIGO:** 110578  
**ENSAYO:** Análisis granulométrico de agregado fino  
**REFERENCIA NORMAT:** NTP 400.012  
**CANTERA:** Vicho

TAMIZ		Peso Retenido (Kg)	Peso Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante Acumulado (%)	Límites ATM C 33		Verific.
Pulg.	mm					Límite Inferior	Límite Superior	
3/8"	9.500	0,00	0,00%	0,00%	100%	100%	100%	OK
N° 04	4.750	169.67	22.65%	22.65%	77.35%	95%	100%	NO
N° 08	2.360	204.52	27.30%	49.94%	50.06%	80%	100%	NO
N° 16	1.180	121.05	16.16%	66.10%	33.90%	50%	85%	NO
N° 30	0.600	81.48	10.88%	76.98%	23.02%	25%	60%	NO
N° 50	0.300	69.56	9.28%	86.26%	13.74%	10%	30%	OK
N° 100	0.150	55.83	7.45%	93.71%	6.29%	2%	10%	OK
N° 200	0.075	41.65	5.56%	99.27%	0.73%			
<b>FONDO</b>		6.45	0.73%	100.00%	0.00%			
<b>TOTAL</b>		749.20	100.00%	-	-			
<b>MODULO DE FINEZA =</b>		<b>3.96</b>						



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**16 ENE. 2024**

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
 Naylah Diana Murillo Sotoca  
 RESPONSABLE DE EQUIPO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
 Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil  
 Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

*(Firma)*  
**Ing. Luz Marlene Nieto Palomino**  
 Jefa de Laboratorio  
 ASESOR DE TESIS

*(Firma)*  
 Bach. Clara Románvilce A.  
 DNI: 70761872

*(Firma)*  
 BACH. GUSMARO L. SANTOS PILARES  
 DNI: 70867440



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

TESIS:	Análisis de la resistencia a la compresión y flexión en adoquines de polipropileno y arena, como alternativa tecnológica, para pavimentos de tránsito peatonal, en la región del Cusco, 2022	
REALIZADO POR:	Bach. Clara Romainville Alvarez CODIGO: 110577	Bach. Guzmán L. Santos Pílares CODIGO: 110578
ENSAYO:	Análisis granulométrico de agregado fino	
REFERENCIA NORMAT:	NTP 400.012	
CANTERA:	Agregado corregido	

TAMIZ	Pulg.	mm	Peso Retenido (Kg)	Peso Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante Acumulado (%)	Límites ATM C 33		Verific.
							Límite Inferior	Límite Superior	
3/8"		9.500	0.00	0.00%	0.00%	100%	100%	100%	OK
N° 04		4.750	143.11	14.31%	14.31%	85.69%	95%	100%	NO
N° 08		2.360	171.04	17.10%	31.41%	68.59%	80%	100%	NO
N° 16		1.180	107.21	10.72%	42.13%	57.87%	50%	85%	OK
N° 30		0.600	107.39	10.74%	52.87%	47.13%	25%	60%	OK
N° 50		0.300	215.41	21.54%	74.41%	25.59%	10%	30%	OK
N° 100		0.150	179.56	17.96%	92.37%	7.63%	2%	10%	OK
N° 200		0.075	62.32	6.23%	98.60%	1.40%			
FONDO			14.00	1.40%	100.00%	0.00%			
TOTAL			1000.00	100.00%	-	-			
MODULO DE FINEZA =			3.08						



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO  
 ABAD DEL CUSCO  
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

16 ENE. 2024

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
 Y MATERIALES  
 Naylah Diana Munkun Soroco  
 RESPONSABLE DE EQUIPO  
 RESPONSABLE DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
 Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil  
 Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

*(Firma)*  
 Ing. Luz Marlene Nieto Palemino  
 JEFE DE LABORATORIO  
 ASESOR DE TESIS

*(Firma)*  
 Bach. Clara Romainville A  
 DNI: 70761872

*(Firma)*  
 BACH. GUZMÁN L. SANTOS PÍLARES  
 DNI: 70064490



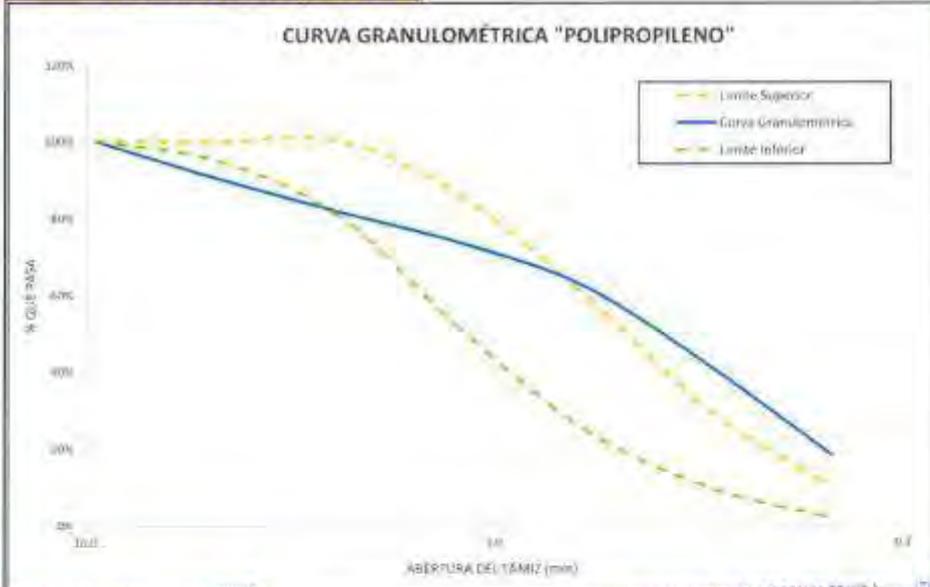
UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

TESIS:	Análisis de la resistencia a la compresión y flexión en adoquines de polipropileno y arena, como alternativa tecnológica, para pavimentos de tránsito peatonal, en la región del Cusco, 2022	
REALIZADO POR:	Bach. Clara Románville Alvarez CODIGO: 110577	Bach. Guzmán L. Santos Pilares CODIGO: 110578
ENSAYO:	Análisis granulométrico de agregado fino	
REFERENCIA NORMAT:	NTP 400.012	
CANTERA:	Polipropileno	

TAMIZ	Pulg.	mm	Peso Retenido (Kg)	Peso Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante Acumulado (%)	Límites ATM C 33		Verific.
							Límite Inferior	Límite Superior	
3/8"		9.500	0.00	0.00%	0.00%	100%	100%	100%	OK
N° 04		4.750	39.92	9.67%	9.67%	90.33%	95%	100%	NO
N° 08		2.360	36.06	8.73%	18.40%	81.60%	80%	100%	OK
N° 16		1.180	34.04	8.24%	26.65%	73.35%	50%	85%	OK
N° 30		0.600	45.52	11.02%	37.67%	62.33%	25%	60%	NO
N° 50		0.300	84.97	20.58%	58.25%	41.75%	10%	30%	NO
N° 100		0.150	95.81	23.21%	81.46%	18.54%	2%	10%	NO
N° 200		0.075	99.41	14.39%	95.84%	4.16%	--	--	
FONDO			17.16	4.16%	100.00%	0.00%	--	--	
<b>TOTAL</b>			<b>412.86</b>	<b>100.00%</b>					
<b>MÓDULO DE FINEZA =</b>				<b>2.32</b>					



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERÍA

16 ENE. 2024

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Naylah Diana  
RESPONSABLE DE LABORATORIO

*[Signature]*

Bach. Clara Románville A  
DNI: 70761872

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil  
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

*[Signature]*  
Ing. Luz Marlene Niza Palomino  
Jefe de Laboratorio  
ASESOR DE TESIS

*[Signature]*  
Bach. GUZMÁN L. SANTOS PILARES  
DNI: 70867496

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO</b> 	
<b>LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES</b>	
<b>TESIS:</b>	<i>Análisis de la resistencia a la compresión y flexión en adoquines de polipropileno y arena, como alternativa tecnológica, para pavimentos de tránsito peatonal, en la región del Cusco, 2022.</i>
<b>REALIZADO POR:</b>	Bach. Clara Romainville Alvarez <b>CODIGO: 110577</b> Bach. Gusmaro L. Santos Pilares <b>CODIGO: 110578</b>
<b>ENSAYO:</b>	Peso específico y absorción
<b>REFERENCIA NORMAT:</b>	NTP 400.022
<b>CANTERA:</b>	Agregado corregido

Peso Específico y Absorción "Agregado Corregido"				
Descripcion	Und	1	2	3
Peso de material saturado superficialmente seco (SSS)	gr	500.1	500.15	500.31
Peso frasco + agua	gr	640.5	640.68	676.43
Peso frasco + muestra SSS + agua	gr	951.6	952.36	988.1
Volumen de masa + volumen de vacíos (V-Va)	cm <sup>3</sup>	188.9	188.5	188.6
Peso recipiente	gr	553.6	331.1	271.85
Peso recipiente + muestra seca	gr	1042.71	821.35	761.92
Peso de material secado al horno (Wo)	gr	489.1	490.3	490.1
Volumen de masa (NETO)	cm <sup>3</sup>	178.0	178.7	178.7
<b>Peso específico de masa (Pem)</b>	<b>gr/cm<sup>3</sup></b>	2.59	2.60	2.60
		<b>2.596</b>		
<b>Peso específico de masa saturada con superficie seca (Pm)</b>	<b>gr/cm<sup>3</sup></b>	2.65	2.65	2.65
		<b>2.651</b>		
<b>Peso específico aparente (Pea)</b>	<b>gr/cm<sup>3</sup></b>	2.75	2.74	2.74
		<b>2.744</b>		
<b>Absorción</b>	<b>%</b>	2.24	2.02	2.09
		<b>2.115</b>		

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO  
ABAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

16 ENE. 2024

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y  
MATERIALES  
Naylah Diane Huamani Sandoval  
RESPONSABLE DE EQUIPO

RESPONSABLE DE LABORATORIO

  
Bach. Clara Romainville A  
DNI: 70761872

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil  
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

  
Ing. Luc Marlene Nito Palomino  
Jefa de Laboratorio

ASESOR DE TESIS

  
Bach. Gusmaro L. Santos Pilares  
DNI: 70867490



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

<b>TESIS:</b>	<i>Análisis de la resistencia a la compresión y flexión en adoquines de polipropileno y arena, como alternativa tecnológica, para pavimentos de tránsito peatonal, en la región del Cusco, 2022</i>	
<b>REALIZADO POR:</b>	Bach. Clara Romainville Alvarez	<b>CODIGO:</b> 110577
	Bach. Gusmaro L. Santos Pilares	<b>CODIGO:</b> 110578
<b>ENSAYO:</b>	Contenido de Humedad	
<b>REFERENCIA NORMAT:</b>	NTP 339.185	
<b>CANTERA:</b>	Agregado corregido	

**Contenido de Humedad (Agregado Corregido)**

Descripción	Unid	1	2	3
Peso de tara	gr	56.64	55.09	56.63
Peso de tara + Muestra húmeda	gr	239.71	234.71	230.09
Peso muestra húmeda	gr	183.07	179.62	173.46
Peso de tara + Muestra seca	gr	238.42	233.9	229.17
Peso muestra seca	gr	181.78	178.81	172.49
Contenido de humedad	%	0.71%	0.45%	0.56%
Contenido de humedad promedio	%	0.57%		

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO  
ABAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

16 ENE. 2024

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
Y MATERIALES

Naylah Diana Huaman Soncco

RESPONSABLE DE EQUIPO  
RESPONSABLE DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil  
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

Ing<sup>a</sup> Luz Marlene Niño Palomino  
Jefe de Laboratorio

ASESOR DE TESIS

Bach. Clara Romainville Alvarez  
DNI: 70761872

Bach. GUSMARO L. SANTOS PILARES  
DNI: 70067490

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO</b> 	
<b>LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES</b>	
<b>TESIS:</b>	<i>Análisis de la resistencia a la compresión y flexión en adoquines de polipropileno y arena, como alternativa tecnológica, para pavimentos de tránsito peatonal, en la región del Cusco, 2022</i>
<b>REALIZADO POR:</b>	Bach. Clara Romainville Alvarez <b>CODIGO:</b> 110577 Bach. Gusmaro L. Santos Pillares <b>CODIGO:</b> 110578
<b>ENSAYO:</b>	Masa por unidad de volumen o densidad y los vacíos en los agregados
<b>REFERENCIA NORMAT:</b>	NTP 400.017
<b>CANTERA:</b>	Agregado corregido

Peso Unitario Suelto (Agregado Corregido)				
Descripción	Unid	1	2	3
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	943.69	943.69	943.69
Peso del molde	gr	4235.22	4235.2	4235.21
Peso molde + Peso muestra suelta	gr	5619.46	5625.72	5641.16
Peso muestra compactada	gr	1384.24	1390.52	1405.95
Peso unitario compactado	kg/cm <sup>3</sup>	1.47	1.47	1.49
Peso unitario compactado promedio	kg/cm <sup>3</sup>	1.48		

Peso Unitario Compactado (Agregado Corregido)				
Descripción	Unid	1	2	3
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	943.69	943.69	943.69
Peso del molde	gr	4235.22	4235.22	4235.22
Peso molde + Peso muestra compactada	gr	5749.47	5755.63	5736.23
Peso muestra compactada	gr	1514.25	1520.41	1501.01
Peso unitario compactado	kg/cm <sup>3</sup>	1.60	1.61	1.59
Peso unitario compactado promedio	kg/cm <sup>3</sup>	1.60		

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO  
ABAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

16 ENE. 2024

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
Y MATERIALES  
Naylah Diana Huamani Huamani  
RESPONSABLE DEL EQUIPO

RESPONSABLE DE LABORATORIO

  
Bach. Clara Romainville A  
DNI: 70761872

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

  
Bach. Gusmaro L. Santos Pillares  
Jefe de Laboratorio

ASESOR DE TESIS

  
Bach. GUSMARO L. SANTOS PILLARES  
DNI: 70667490

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO</b> 																						
<b>LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES</b>																						
<b>TESIS:</b>	<i>Análisis de la resistencia a la compresión y flexión en adoquines de polipropileno y arena, como alternativa tecnológica, para pavimentos de tránsito peatonal, en la región del Cusco, 2022</i>																					
<b>REALIZADO POR:</b>	Bach. Clara Romainville Alvarez <b>CODIGO: 110577</b> Bach. Gusmaro L. Santos Pilares <b>CODIGO: 110578</b>																					
<b>ENSAYO:</b>	Peso específico y absorción																					
<b>REFERENCIA NORMAT:</b>	NTP 400.022																					
<b>CANTERA:</b>	Vicho																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Descripcion</th> <th>Und</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Peso de material saturado superficialmente seco (SSS)</td> <td>gr</td> <td>500.1</td> </tr> <tr> <td>Peso frasco + agua</td> <td>gr</td> <td>640.3</td> </tr> <tr> <td>Peso frasco+muestra S.S.S.+agua</td> <td>gr</td> <td>955.3</td> </tr> <tr> <td>Volumen de masa+volumen de vacíos (V-Va)</td> <td>cm3</td> <td>185.1</td> </tr> <tr> <td>Peso de material secada en el horno (Wo)</td> <td>gr</td> <td>494.8</td> </tr> <tr> <td>Volumen de masa (NETO)</td> <td>cm3</td> <td>179.9</td> </tr> </tbody> </table>		Descripcion	Und		Peso de material saturado superficialmente seco (SSS)	gr	500.1	Peso frasco + agua	gr	640.3	Peso frasco+muestra S.S.S.+agua	gr	955.3	Volumen de masa+volumen de vacíos (V-Va)	cm3	185.1	Peso de material secada en el horno (Wo)	gr	494.8	Volumen de masa (NETO)	cm3	179.9
Descripcion	Und																					
Peso de material saturado superficialmente seco (SSS)	gr	500.1																				
Peso frasco + agua	gr	640.3																				
Peso frasco+muestra S.S.S.+agua	gr	955.3																				
Volumen de masa+volumen de vacíos (V-Va)	cm3	185.1																				
Peso de material secada en el horno (Wo)	gr	494.8																				
Volumen de masa (NETO)	cm3	179.9																				
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Peso específico de masa (Pem)</td> <td>gr/cm3</td> <td>2.674</td> </tr> <tr> <td>Peso específico de masa saturada con superficie seca (Pesss)</td> <td>gr/cm3</td> <td>2.702</td> </tr> <tr> <td>Peso específico aparente (Pea)</td> <td>gr/cm3</td> <td>2.751</td> </tr> <tr> <td>Absorción</td> <td>%</td> <td>1.057</td> </tr> </tbody> </table>		Peso específico de masa (Pem)	gr/cm3	2.674	Peso específico de masa saturada con superficie seca (Pesss)	gr/cm3	2.702	Peso específico aparente (Pea)	gr/cm3	2.751	Absorción	%	1.057									
Peso específico de masa (Pem)	gr/cm3	2.674																				
Peso específico de masa saturada con superficie seca (Pesss)	gr/cm3	2.702																				
Peso específico aparente (Pea)	gr/cm3	2.751																				
Absorción	%	1.057																				

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO  
ABAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

16 ENE. 2024

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
Y MATERIALES

Naylah Diana Huayman Espinoza  
RESPONSABLE DE EQUIPO

RESPONSABLE DE LABORATORIO

  
Bach. Clara Romainville Alvarez  
DNI: 70761892

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil  
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

  
Ing. Luz Marlene Nieto Palomina  
Jefe de Laboratorio

ASESOR DE TESIS

  
Bach. Gusmaro L. Santos Pilares  
DNI: 70867490



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

TESIS:	<i>Análisis de la resistencia a la compresión y flexión en adoquines de polipropileno y arena, como alternativa tecnológica, para pavimentos de tránsito peatonal, en la región del Cusco, 2022</i>	
REALIZADO POR:	Bach. Clara Romainville Alvarez	CODIGO: 110577
	Bach. Gusmaro L. Santos Pilares	CODIGO: 110578
ENSAYO:	Peso específico y absorción	
REFERENCIA NORMAT:	NTP 400.022	
CANTERA:	Cunyac	

Descripción	Und	
Peso de material saturado superficialmente seco (SSS)	gr	500.0
Peso frasco + agua	gr	676.8
Peso frasco+muestra S.S.S.+agua	gr	987.1
Volumen de masa+volumen de vacios (V-Va)	cm <sup>3</sup>	189.7
Peso de material secada en el horno (Wo)	gr	491.1
Volumen de masa (NETO)	cm <sup>3</sup>	180.8
Peso específico de masa (Pem)	gr/cm <sup>3</sup>	2.589
Peso específico de masa saturada con superficie seca (Pesss)	gr/cm <sup>3</sup>	2.636
Peso específico aparente (Pea)	gr/cm <sup>3</sup>	2.717
Absorción	%	1.814

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

16 ENE. 2024

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Naylah Diana Huatón Soroco  
RESPONSABLE DE EQUIPO

RESPONSABLE DE LABORATORIO

  
Bach. Clara Romainville A  
DNI: 70761870

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil  
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

  
Ing. Luis Muelene Nieto Palomino  
Jefe de Laboratorio

ASESOR DE TESIS

  
BACH. GUSMARO L. SANTOS PILARES  
DNI: 70867490



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

TESIS:	<i>Análisis de la resistencia a la compresión y flexión en adoquines de polipropileno y arena, como alternativa tecnológica, para pavimentos de tránsito peatonal, en la región del Cusco, 2022</i>	
REALIZADO POR:	Bach. Clara Romainville Alvarez	CODIGO: 110577
	Bach. Guzmara L. Santos Pilares	CODIGO: 110578
ENSAYO:	Densidad y gravedad específica de plásticos por desplazamiento	
REFERENCIA NORMAT:	ASTM D 792	
MATERIAL	Polipropileno	

Densidad del Alcohol			
Descripción	Und	1	2
volumen	cm3	500	500
picnom	gr	178.58	178.79
picnom + oh	gr	582.42	582.38
peso oh	gr	403.84	403.59
densidad oh (gr/ml)	gr/cm3	0.8077	0.8072
Promedio	gr/cm3	0.81	

Peso Especifico "Polipropileno"					
Descripción	Und	Blanco	Verde	Azul	Negro
peso PP	gr	600.56	700.16	700.38	700.95
peso probeta	gr	749.06	746.45	746.45	746.45
probeta +oh	gr	1267.41	1342.21	1343.54	1338.93
peso oh	gr	518.35	595.76	597.09	592.48
vol oh form	cm3	641.98	737.85	739.49	733.78
Pe plas	gr/cm3	0.9355	0.9489	0.9471	0.9553
Promedio PE PP	gr/cm3	0.95			

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO  
 ABAD DEL CUSCO  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

18 ENE. 2024

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
 Y MATERIALES  
 Naylati Elina MORALES CARRERA  
 RESPONSABLE DE LABORATORIO

RESPONSABLE DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
 Facultad de Arquitectura e Ingenieria Civil  
 Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

*(Firma)*  
 Ing. Luz Mariene Nieto Palomino  
 Jefe de Laboratorio

ASESOR DE TESIS

*(Firma)*  
 Bach. Clara Romainville Alvarez  
 DNI: 70761898

*(Firma)*  
 Bach. Guzmara L. Santos Pilares  
 DNI: 70807190



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

TESIS:	Análisis de la resistencia a la compresión y flexión en adoquines de polipropileno y arena, como alternativa tecnológica, para pavimentos de tránsito peatonal, en la región del Cusco, 2022		
REALIZADO POR:	Bach. Clara Romainville Alvarez	CODIGO:	110577
	Bach. Gusmaro L. Santos Pílares	CODIGO:	110578
ENSAYO:	Resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por Abrasión e Impacto en la Máquina de Los Angeles		
REFERENCIA NORMAT:	NTP 400.019		
CANTERA:	Adoquines P60-40A		

Resistencia al Desgaste (Adoquines P60-40A)				
Descripción	Und	M14	M18	M35
Peso inicial	gr	1712.68	1740.65	1742.08
Peso final	gr	1693.86	1725.98	1726.93
Pérdida de masa	gr	18.82	14.67	15.15
% desgaste	%	1.10	0.84	0.87
Promedio % desgaste	%	0.94		

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

16 ENE. 2024

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
Naytali Dávalos Hernández  
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

RESPONSABLE DE LABORATORIO

Bach. Clara Romainville A  
DNI: 70763872

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
Facultad de Ingeniería e Ingeniería Civil  
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales  
  
Ing. Luis Mariano Nieto Palomino  
Jefe de Laboratorio

ASESOR DE TESIS

Bach. GUSMARO L. SANTOS PÍLARES  
DNI: 20887490



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

TESIS:	Análisis de la resistencia a la compresión y flexión en adoquines de polipropileno y arena, como alternativa tecnológica, para pavimentos de tránsito peatonal, en la región del Cusco, 2022	
REALIZADO POR:	Bach. Clara Romainville Álvarez CODIGO: 110577	Bach. Gusmaro L. Santos Pílares CODIGO: 110578
ENSAYO:	Variación de la resistencia a la compresión por efectos de la temperatura	
REFERENCIA NORMAT:	NTP 339.611	
CANTERA:	Adoquines P60-40A	

Durabilidad (Adoquines P60-40A)

Descripción	Peso	Largo	Ancho	Altura	Carga	Área	f <sub>c</sub>
<b>CLIMA FRÍO</b>							
M04	1769.55	19.762	9.978	6.027	91000	197.170	461.53
M19	1792.77	19.788	9.937	6.139	20400	196.618	103.75
M26	1773.50	19.878	9.944	6.080	11500	197.657	58.18
Promedio	1778.61	19.81	9.95	6.08	40966.67	197.15	207.82
<b>CLIMA CÁLIDO</b>							
M07	1762.66	19.725	10.006	6.028	69262	197.368	350.9276
M30	1811.92	19.800	9.968	6.241	64000	197.357	324.2863
M44	1813.91	19.746	9.944	6.095	57926	196.339	295.03
Promedio	1796.16	19.76	9.97	6.12	63729.33	197.02	323.41

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
 16 ENE, 2024  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
 Naylah Diana Huamani  
 RESPONSABLE DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
 Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil  
 Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales  
 Ing. Luz Marlene Nieto Pilemima  
 Jefe de Laboratorio  
 ASESOR DE TESIS

Bach. Clara Romainville A.  
 DNI: 70761872

Bach. Gusmaro L. Santos Pílares  
 DNI: 70867490



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



TESIS:	Análisis de la resistencia a la compresión y flexión en adoquines de polipropileno y arena, como alternativa tecnológica, para pavimentos de tránsito peatonal, en la región del Cusco, 2022	
REALIZADO POR:	Bach. Clara Romainville Alvarez	CODIGO: 110577
	Bach. Gusmaro L. Santos Pilares	CODIGO: 110578
ENSAYO:	Resistencia a la compresión simple	
REFERENCIA NORMAT:	NTP 339.611	
CANTERA:	Adoquines P50-50A	

Ensayo de Compresión Simple (Adoquines P50-50A)

Descripción	Peso (gr)	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Carga (Kgf)	Carga Corregida (Kgf)	Área (cm2)	Fc (kg/cm2)
M12	2018.13	19.739	10.068	5.985	86530	86703.06	198.717	435.44
M13	1961.35	19.705	10.006	5.899	95600	95600.00	197.168	484.87
M16	2076.05	19.753	10.097	6.241	86310	86482.62	199.416	432.81
M17	2085.66	19.747	10.031	6.266	76360	76540.52	198.072	385.52
M19	1933.95	19.715	10.128	5.767	91710	91710.00	199.664	459.32
M21	2047.32	19.701	9.998	6.201	82960	83125.92	196.956	421.21
M22	1888.68	19.631	9.983	5.806	89790	89969.58	195.961	458.20
M25	1965.52	19.696	10.060	5.917	87340	87514.68	198.137	440.81
M27	2055.41	19.635	10.108	5.227	84000	84168.00	198.456	423.27
M28	2023.73	19.832	10.083	6.184	85340	85510.68	199.956	426.79
M29	2104.59	19.844	10.135	6.336	86080	86252.16	201.119	428.01
M30	2041.39	19.832	10.132	6.145	88770	88947.54	200.928	441.80
M31	2077.63	19.866	10.050	6.290	81960	82123.92	199.653	410.51
M33	2043.99	19.816	10.050	6.230	78560	78728.43	199.136	394.50
M35	2085.73	19.841	10.113	6.294	88200	88376.40	200.642	439.59
M36	2085.27	19.846	10.129	6.280	84720	84889.44	201.015	421.46
M38	2094.26	19.867	10.070	6.316	89190	89368.38	200.056	445.83
M39	2070.46	19.849	10.130	6.267	85200	85370.40	201.060	423.75
M40	2112.71	19.881	10.176	6.259	84120	84288.24	202.294	415.83
M41	2036.83	19.789	10.080	6.104	87000	87174.00	199.473	436.15
M43	1977.07	19.846	10.079	5.951	90460	90460.00	200.018	452.26
M44	2069.16	19.822	10.051	6.273	88630	88807.26	199.226	444.87
M45	1979.21	19.856	10.065	6.004	89010	89188.02	199.846	445.39
M46	2049.77	19.828	10.134	6.249	75590	75774.52	200.937	376.19
Promedio	2036.83	19.79	10.08	6.10	85976.25	86128.07	199.50	431.02

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO  
 ABAD DEL CUSCO  
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
 16 ENE. 2024  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
 Y MATERIALES  
 Naylah Diana Huamani Sorocco  
 RESPONSABLE DE EQUIPO  
 RESPONSABLE DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
 Facultad de Ingeniería e Ingeniería Civil  
 Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales  
 Ing. Gusmaro L. Santos Pilares  
 ASesor DE TESIS

Bach. Clara Romainville Alvarez  
 DNI = 70761872

Bach. Gusmaro L. Santos Pilares  
 DNI = 70847490



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

TESIS:	Análisis de la resistencia a la compresión y flexión en adoquines de polipropileno y arena, como alternativa tecnológica, para pavimentos de tránsito peatonal, en la región del Cusco, 2022	
REALIZADO POR:	Bach. Clara Romainville Alvarez CODIGO: 110577	Bach. Gusmaro L. Santos Pilares CODIGO: 110578
ENSAYO:	Resistencia a la compresión simple	
REFERENCIA NORMAT:	NTP 339.611	
CANTERA:	Adoquines P60-40A	

Ensayo de Compresión Simple (Adoquines P60-40A)

Descripción	Peso (gr)	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Carga (Kgf)	Carga Corregida (Kgf)	Área (cm <sup>2</sup> )	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )
M02	1792.25	19.763	10.025	6.090	75030	75217.35	198.114	378.72
M03	1797.46	19.754	9.993	6.188	51680	51886.72	197.392	261.81
M06	1741.05	19.754	9.987	5.962	85370	85540.74	197.268	432.76
M10	1794.01	19.720	10.003	6.159	76300	76480.83	197.249	386.82
M11	1809.62	19.776	10.066	6.090	79800	79961.20	199.458	400.08
M13	1806.91	19.743	10.011	6.124	87060	87234.12	197.632	440.52
M17	1788.75	19.744	10.033	6.082	78220	78390.56	198.077	394.90
M20	1783.25	19.770	9.989	5.801	76640	76819.03	197.483	388.08
M21	1790.73	19.813	9.942	6.067	78420	78589.23	196.976	398.12
M22	1829.83	19.787	10.011	6.222	71800	72002.48	198.073	362.49
M23	1783.37	19.853	9.988	6.063	73780	73475.80	198.292	369.56
M25	1695.57	19.821	10.009	5.815	59950	60189.80	198.383	302.19
M28	1736.27	19.803	9.977	5.969	81310	81472.62	197.570	411.55
M29	1814.01	19.791	10.010	6.192	70340	70548.63	198.108	355.06
M31	1793.10	19.771	10.020	6.095	82620	82785.24	198.091	417.08
M34	1760.76	19.764	9.975	6.015	85540	85711.08	197.136	433.91
M39	1774.02	19.792	9.971	6.100	83000	83166.00	197.346	420.58
M43	1762.54	19.813	9.957	5.992	84510	84679.02	197.278	428.38
M46	1807.53	19.715	10.013	6.049	76810	76988.12	197.401	389.11
M47	1813.95	19.584	10.005	5.906	80860	81021.72	195.933	412.69
M50	1781.66	19.832	9.995	6.046	71260	71464.80	198.221	359.50
M53	1770.86	19.796	10.046	5.992	72600	72798.92	198.866	365.07
M54	1772.73	19.705	9.949	5.970	74380	74570.56	196.040	379.41
M58	1806.89	19.852	9.934	6.095	56140	56364.56	197.200	284.69
Promedio	1783.63	19.77	10.00	6.04	75538.33	75723.29	197.65	382.21

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO  
ABAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

15 ENE, 2024

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS  
Y MATERIALES  
Naylah Diana Huaman Sanchez  
RESPONSABLE DE EQUIPO

RESPONSABLE DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil  
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

Ing. Luz Mariela Niño Palomino  
Jefa de Laboratorio

ASESOR DE TESIS

Bach. Clara Romainville Alvarez  
DNI: 70761872

Bach. Gusmaro L. Santos Pilares  
DNI: 70867490



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABADEL CUSCO



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

TESIS:	Análisis de la resistencia a la compresión y flexión en adoquines de polipropileno y arena, como alternativa tecnológica, para pavimentos de tránsito peatonal, en la región del Cusco, 2022	
REALIZADO POR:	Bach. Clara Romainville Alvarez CODIGO: 110577	Bach. Gusmaro L. Santos Pilares CODIGO: 110578
ENSAYO:	Resistencia a la compresión simple	
REFERENCIA NORMAT:	NTP 339.611	
CANTERA:	Adoquines P70-30A	

Ensayo de Compresión Simple (Adoquines P70-30A)

Descripción	Peso (gr)	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Carga (Kgf)	Carga Corregida (Kgf)	Área (cm <sup>2</sup> )	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )
M04	1605.30	19.729	9.986	6.175	84900	85069.80	197.019	430.92
M07	1610.47	19.761	9.901	6.197	64750	64978.24	195.654	330.94
M09	1528.12	19.716	9.930	5.922	78020	78191.49	195.770	398.53
M13	1584.51	19.775	9.992	6.046	80270	80430.54	197.592	406.24
M14	1631.32	19.692	9.954	6.129	63690	63921.26	196.009	324.93
M18	1616.68	19.718	9.915	6.135	79900	80060.60	195.489	408.72
M21	1640.05	19.685	9.926	6.114	73510	73704.73	195.379	376.24
M25	1564.47	19.710	9.888	5.942	80100	80260.20	194.878	411.03
M26	1561.36	19.645	9.949	5.945	80580	80741.16	195.448	412.28
M27	1618.00	19.691	9.904	6.000	78970	79136.07	195.015	404.94
M30	1591.57	19.640	9.956	5.924	75470	75655.13	195.526	385.98
M31	1616.68	19.773	9.910	6.229	70720	70927.07	195.945	360.92
M32	1620.11	19.713	9.998	6.190	81800	81963.60	197.086	415.05
M33	1592.84	19.681	9.848	6.208	67790	68008.35	193.809	349.78
M38	1590.45	19.644	9.951	6.011	65320	65546.53	195.482	334.15
M39	1606.38	19.718	9.919	6.108	74350	74540.71	195.578	380.16
M40	1591.17	19.619	9.908	5.985	70360	70568.55	194.375	361.98
M41	1515.23	19.764	9.924	5.946	60070	60309.86	196.133	306.27
M42	1525.83	19.676	9.936	5.837	70400	70608.38	195.501	360.10
M44	1587.64	19.764	9.892	6.210	52080	52288.32	195.496	266.40
M46	1613.82	19.697	9.929	6.159	52180	52388.72	195.572	266.81
M47	1622.15	19.787	9.998	6.153	46200	46367.24	197.816	233.55
M48	1598.08	19.774	9.985	6.113	65450	65676.13	197.429	331.51
M52	1598.95	19.854	9.956	6.180	65480	65706.04	197.666	331.27
Promedio	1592.87	19.72	9.94	6.08	70998.93	71293.78	195.90	357.86

ABAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

16 ENE. 2024

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

Naylah Diana Huamán Sandoval

RESPONSABLE DE LABORATORIO

Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil  
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

Ing<sup>a</sup> Luz Marlène Nivia Palomina

ASESOR DE TESIS

Bach. Clara Romainville A.  
DNI: 70367187E

Bach. Gusmaro L. Santos Pilares  
DNI: 703671990



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

TESIS:	Análisis de la resistencia a la compresión y flexión en adoquines de polipropileno y arena, como alternativa tecnológica, para pavimentos de tránsito peatonal, en la región del Cusco, 2022	
REALIZADO POR:	Bach. Clara Romainville Alvarez CODIGO: 110577	Bach. Gusmaro L. Santos Pilares CODIGO: 110578
ENSAYO:	Resistencia a la flexión	
REFERENCIA NORMAT:	NTG 41087 h1	
CANTERA:	Adoquines P50-50A	

Ensayo de Flexión (Adoquines P50-50A)

Descripción	Peso (gr)	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Carga (Kgf)	Carga Corregida (Kgf)	MR (kg/cm <sup>2</sup> )
M01	1731.04	17.500	10.0135	5.8000	732.0982	732.0982	57.05
M02	1856.01	17.500	10.0775	5.7845	300.7318	300.7318	23.41
M03	1696.28	17.500	10.0030	5.6370	471.7361	471.7361	38.96
M04	1929.35	17.500	10.0355	5.8730	1272.7800	1272.7800	96.52
M05	1964.27	17.500	9.9860	6.0950	1361.2310	1361.2310	96.32
M06	2027.42	17.500	9.9725	6.0465	2031.6400	2041.6040	146.99
M07	1830.24	17.500	10.0170	5.7050	2565.0650	2574.1417	207.26
M08	1856.38	17.500	9.9240	5.7135	1750.8670	1750.8670	141.87
M09	2028.45	17.500	10.0555	6.0335	2744.6880	2753.4660	197.45
M10	1946.96	17.500	9.9835	5.9220	1926.8610	1926.8610	144.46
M11	2033.10	17.500	9.9315	6.1360	2777.3460	2786.0696	195.59
M14	1940.69	17.500	9.9645	5.8685	2698.8750	2707.7292	207.12
M15	2016.77	17.500	10.0800	6.1150	3142.0350	3150.1520	219.39
M16	2076.05	17.500	10.0965	6.2410	2032.0940	2042.0573	136.31
M18	2065.47	17.500	10.0580	6.0960	3236.8360	3244.7954	227.88
M20	2061.68	17.500	10.1330	6.0410	2245.7360	2255.3439	160.10
M23	1973.15	17.500	10.0655	5.9190	2214.4380	2224.0980	165.56
M24	1904.86	17.500	9.7950	5.7870	1805.2980	1805.2980	144.47
M26	1899.00	17.500	10.0200	5.8720	969.7806	969.7806	73.68
M32	1936.61	17.500	10.0795	5.9660	2501.1090	2510.2921	183.67
M34	2036.24	17.500	10.0920	6.1425	2241.6540	2251.2687	155.20
M37	2044.84	17.500	10.1245	6.2325	2168.1720	2177.9089	145.37
M42	2058.08	17.500	10.1055	6.3205	2103.3080	2113.1528	137.40
M47	2056.38	17.500	10.0950	6.1520	1831.1530	1831.1530	125.81
Promedio	1957.06	17.50	10.03	5.98	1963.56	1968.94	142.83

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
 16 ENE. 2024  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
 Naylah Diana Huaman Soroco  
 RESPONSABLE DE LABORATORIO

Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales  
 Ing. Luz Marcela Nieto Palomino  
 ASESOR DE TESIS

Bach. Clara Romainville A.  
 DNI: 70761877

Bach. Gusmaro L. Santos Pilares  
 DNI: 70867490



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

TESIS:	Análisis de la resistencia a la compresión y flexión en adoquines de polipropileno y arena, como alternativa tecnológica, para pavimentos de tránsito peatonal, en la región del Cusco, 2022	
REALIZADO POR:	Bach. Clara Romainville Alvarez	CODIGO: 110577
	Bach. Gusmaro L. Santos Pilares	CODIGO: 110578
ENSAYO:	Resistencia a la flexión	
REFERENCIA NORMAT:	NTG 41087 h1	
CANTERA:	Adoquines P60-40A	

Ensayo de Flexión (Adoquines P60-40A)

Descripción	Peso (gr)	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Carga (Kgf)	Carga Corregida (Kgf)	MR (kg/cm2)
M01	1720.74	17.500	9.9965	5.9405	1430.6310	1430.6310	106.45
M08	1771.97	17.500	10.0015	6.0540	1514.0920	1514.0920	108.43
M09	1702.03	17.500	10.0115	5.9045	1625.6750	1625.6750	122.26
M12	1700.28	17.500	10.0205	5.7660	2167.7180	2177.4557	171.57
M15	1787.33	17.500	10.0170	5.9805	1501.8450	1501.8450	110.04
M16	1704.77	17.500	10.0945	6.0780	777.0038	777.0038	54.69
M24	1753.37	17.500	10.0155	5.9425	1754.4960	1754.4960	130.22
M27	1744.99	17.500	10.0190	5.9840	2190.8510	2200.5502	161.01
M32	1705.73	17.500	9.9855	5.8570	1983.5600	1983.5600	152.00
M33	1737.27	17.500	10.0140	5.9660	1695.5280	1695.5280	124.87
M37	1767.05	17.500	9.9465	5.9635	1385.2710	1385.2710	102.80
M38	1646.58	17.500	9.8965	5.8370	1992.1780	1992.1780	155.09
M40	1818.23	17.500	10.0195	6.0910	1324.4900	1324.4900	93.53
M41	1801.97	17.500	9.9875	6.0870	1242.8430	1242.8430	88.16
M42	1727.46	17.500	9.9465	5.8760	1532.2350	1532.2350	117.12
M45	1842.55	17.500	9.9915	6.1010	3098.9430	3107.1317	219.31
M48	1733.79	17.500	9.9375	5.7915	1794.4120	1794.4120	141.32
M49	1798.49	17.500	9.9781	5.9884	1789.8760	1789.8760	131.31
M51	1720.64	17.500	9.9550	5.7170	1475.0830	1475.0830	119.01
M52	1763.00	17.500	9.9455	5.9750	1917.7890	1917.7890	141.78
M55	1708.97	17.500	9.9870	5.9920	1648.3550	1648.3550	120.67
M56	1790.99	17.500	9.9440	6.0225	1312.2430	1312.2430	95.51
M57	1772.62	17.500	9.9498	5.9225	1570.3370	1570.3370	118.11
M59	1694.34	17.500	9.9375	5.6915	1925.9530	1925.9530	157.05
Promedio	1746.47	17.50	9.98	5.94	1691.81	1694.96	126.26

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
 16 ENE. 2024  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES  
 RESPONSABLE DE LABORATORIO

Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales  
 Ing<sup>a</sup> Luz Marlene Nieto Palomino  
 Jefe de Laboratorio  
 ASESOR DE TESIS

Bach. Clara Romainville A  
 DNI: 70761872

Bach. Gusmaro L. Santos Pilares  
 DNI: 70867490



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABADEL CUSCO



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

TESIS:	Análisis de la resistencia a la compresión y flexión en adoquines de polipropileno y arena, como alternativa tecnológica, para pavimentos de tránsito peatonal, en la región del Cusco, 2022	
REALIZADO POR:	Bach. Clara Romainville Alvarez CODIGO: 110577	Bach. Gusmaro L. Santos Pílares CODIGO: 110578
ENSAYO:	Resistencia a la flexión	
REFERENCIA NORMAT:	NTG 41087 h1	
CANTERA:	Adoquines P70-70A	

Ensayo de Flexión (Adoquines P70-30A)

Descripción	Peso (gr)	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Carga (Kgf)	Carga Corregida (Kgf)	MR (kg/cm2)
M01	1388.17	17.500	10.0438	5.7563	866.8151	866.8151	68.37
M05	1520.51	17.500	9.9365	5.7990	2145.9460	2155.7199	169.35
M08	1569.44	17.500	9.9863	6.0550	1632.9330	1632.9330	117.08
M10	1585.18	17.500	9.7800	6.0863	1493.2260	1493.2260	108.20
M17	1551.11	17.500	9.9365	6.0150	1657.8800	1657.8800	121.05
M22	1584.70	17.500	9.9138	6.0513	2243.0150	2252.6274	162.89
M23	1578.99	17.500	9.9000	6.0663	2036.1760	2046.1325	147.43
M24	1529.80	17.500	9.9075	5.8825	2676.6490	2685.5401	205.62
M28	1583.66	17.500	9.9870	6.0275	1358.5090	1358.5090	98.28
M35	1599.52	17.500	9.8085	6.0235	3308.9570	3316.7964	244.65
M36	1572.67	17.500	9.9213	6.0438	1956.7980	1956.7980	141.74
M37	1574.15	17.500	9.9625	6.1200	2647.1650	2656.1052	186.85
M43	1457.30	17.500	9.8660	5.8620	1767.1960	1767.1960	136.83
M45	1598.50	17.500	10.0140	6.0025	957.5336	957.5336	69.66
M49	1635.59	17.500	10.0263	6.2180	687.1925	687.1925	46.53
M50	1600.94	17.500	9.9950	6.1165	1399.7860	1399.7860	98.27
M51	1596.65	17.500	10.1100	6.1513	307.5357	307.5357	21.10
M53	1604.99	17.500	9.9863	6.2225	1352.6130	1352.6130	91.83
M54	1509.20	17.500	9.8940	5.9290	2418.5550	2427.8754	183.24
M55	1624.40	17.500	10.0185	6.2280	1973.1270	1973.1270	133.29
M57	1536.90	17.500	9.9200	5.9780	989.2851	989.2851	73.25
M58	1621.54	17.500	10.0455	6.2480	1211.0920	1211.0920	81.07
M59	1625.44	17.500	10.0625	6.1345	151.9535	151.9535	10.53
M60	1593.74	17.500	10.0150	6.0050	1152.1250	1152.1250	83.74
Promedio	1568.46	17.50	9.96	6.04	1599.67	1602.95	116.30

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

16 ENE, 2024

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

RESPONSABLE DE LABORATORIO RESPONSABLE DEL EQUIPO

Facultad de Ingeniería Civil Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

Ing. Luz Mariela Nieto Palomino Jefa de Laboratorio ASESOR DE TESIS

Bach. Clara Romainville Alvarez DNI 70761872

Bach. Gusmaro L. Santos Pílares DNI 70869490

**Anexo N° 2**

**Fichas de calibración**

*Área de Metrología**Laboratorio de Fuerza***CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN  
MT - LFP - 062 - 2023**

Página 1 de 3

<b>1. Orden de trabajo</b>	<b>OT 0078-23</b>	Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).
<b>2. Solicitante</b>	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO</b>	
<b>3. Dirección</b>	Av. De la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco - CUSCO	
<b>4. Equipo</b>	<b>PRENSA DE CONCRETO</b>	Los resultados son validos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.  METROLOGIA & TÉCNICAS S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.  Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.  El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.
<b>Capacidad</b>	100000 kgf	
<b>Marca</b>	ELE INTERNATIONAL	
<b>Modelo</b>	36-3088/06	
<b>Número de Serie</b>	9010000012	
<b>Procedencia</b>	U.S.A.	
<b>Identificación</b>	NO INDICA	
<b>Indicación</b>	DIGITAL	
<b>Marca</b>	ELE INTERNATIONAL	
<b>Modelo</b>	NO INDICA	
<b>Número de Serie</b>	1886-1-3514	
<b>Resolución</b>	10 kgf	
<b>5. Fecha de Calibración</b>	2023-03-22	

Fecha de Emisión

2023-03-28

Jefe del Laboratorio de Metrología

Firmado digitalmente por  
Williams Pérez  
Fecha: 2023.03.29 11:18:39  
-05'00'

Sello

**Metrología & Técnicas S.A.C.**

Av. San Diego de Alcalá Mz. F1 lote 24 Urb. San Diego, SMP, LIMA

Telf: (511) 540-0642

Cel.: (511) 971 439 272 / 971 439 282

ventas@metrologiatecnicas.com

metrologia@metrologiatecnicas.com

www.metrologiatecnicas.com

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN  
MT - LFP - 062 - 2023***Área de Metrología**Laboratorio de Fuerza*

Página 2 de 3

**6. Método de Calibración**

La calibración se realizó por el método de comparación directa utilizando patrones trazables al SI calibrados en las instalaciones del LEDI-PUCP tomado como referencia el método descrito en la norma UNE-EN ISO 7500-1:2018 "Materiales metálicos. Calibración y verificación de máquinas de ensayos uniaxiales estáticos. Parte 1: Máquinas de ensayo de tracción/compresión. Calibración y verificación del sistema de medida de fuerza" (ISO 7500-1:2018).

**7. Lugar de calibración**

Las instalaciones del cliente.

Av. De la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco - CUSCO

**8. Condiciones Ambientales**

	Inicial	Final
Temperatura	19,2 °C	21,1 °C
Humedad Relativa	60 % HR	42 % HR

**9. Patrones de referencia**

Trazabilidad	Patrón utilizado	Informe/Certificado de calibración
Celdas patrones calibradas en HOTTINGER BALDWIN MESSTECHNIK GmbH - Alemania 2020-1 87747 / 2021-1 95857	CELDA DE CARGA calibrado a 1 000 kN con incertidumbre del orden de 0,24 %	LEDI-PUCP INF-LE 037-22B

**10. Observaciones**

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación CALIBRADO.
- Durante la realización de cada secuencia de calibración la temperatura del equipo de medida de fuerza permaneció estable dentro de un intervalo de  $\pm 2,0$  °C.
- El equipo no indica clase sin embargo cumple con el criterio para máquinas de ensayo uniaxiales de clase de 1,0 según la norma UNE-EN ISO 7500-1.
- Se realizó la calibración hasta el 90 % de su capacidad por motivos de seguridad.

**Metrología & Técnicas S.A.C.**

Av. San Diego de Alcalá Mz. F1 lote 24 Urb. San Diego, SMP, LIMA

Telf: (511) 540-0642

Cel: (511) 971 439 272 / 971 439 282

ventas@metrologiatecnicas.com

metrologia@metrologiatecnicas.com

www.metrologiatecnicas.com

Área de Metrología

Laboratorio de Fuerza

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN  
MT - LFP - 062 - 2023**

Página 3 de 3

**11. Resultados de Medición**

Indicación del Equipo		Indicación de Fuerza (Ascenso) Patrón de Referencia			
%	$F_i$ (kgf)	$F_1$ (kgf)	$F_2$ (kgf)	$F_3$ (kgf)	$F_{Promedio}$ (kgf)
10	10000,0	10092,7	10082,7	10102,7	10092,7
20	20000,0	20168,6	20128,4	20158,6	20151,9
30	30000,0	30116,8	30126,9	30156,9	30133,5
40	40000,0	40110,0	40140,3	40160,5	40136,9
50	50000,0	50172,6	50232,7	50242,7	50216,0
60	60000,0	60176,7	60226,9	60297,1	60233,5
70	70000,0	70239,7	70109,3	70219,7	70189,6
80	80000,0	80142,6	80122,6	80252,5	80172,6
90	90000,0	90058,2	90138,0	90217,8	90138,0
Retorno a Cero		0,0	0,0	0,0	

Indicación del Equipo $F$ (kgf)	Errores Encontrados en el Sistema de Medición				Incertidumbre $U$ ( $k=2$ ) (%)
	Exactitud $q$ (%)	Repetibilidad $b$ (%)	Reversibilidad $v$ (%)	Resol. Relativa $a$ (%)	
10000,0	-0,9	0,2	---	0,10	0,4
20000,0	-0,8	0,2	---	0,05	0,4
30000,0	-0,4	0,1	---	0,03	0,4
40000,0	-0,3	0,1	---	0,03	0,4
50000,0	-0,4	0,1	---	0,02	0,4
60000,0	-0,4	0,2	---	0,02	0,4
70000,0	-0,3	0,2	---	0,01	0,4
80000,0	-0,2	0,2	---	0,01	0,4
90000,0	-0,2	0,2	---	0,01	0,4

MÁXIMO ERROR RELATIVO DE CERO ( $f_r$ )	0,00 %
---	--------

**12. Incertidumbre**

La incertidumbre expandida de medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura  $k=2$ , el cual corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente 95%. La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

Metrología &amp; Técnicas S.A.C.

Av. San Diego de Alcalá Mz. F1 lote 24 Urb. San Diego, SMP, LIMA

Telf: (511) 540-0642

Cel.: (511) 971 439 272 / 971 439 282

ventas@metrologiatecnicas.com

metrologia@metrologiatecnicas.com

www.metrologiatecnicas.com

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

TC-05574-2022

PROFORMA : 9731A Fecha de emisión : 2022-04-12 Pagina : 1 de 2

SOLICITANTE : UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
Dirección : AV. DE LA CULTURA 773 CUSCO - CUSCO

**INSTRUMENTO DE MEDICIÓN** : MÁQUINA DE ENSAYO UNIVERSAL  
 Marca : INSTRON  
 Modelo : 800DX-S1-C3A-G1E  
 Serie : 800DXR4565  
 Alcance : 600 kN  
 División de Escala : 1 Kg  
 Procedencia : U.S.A.  
 Identificación : No indica  
 Fecha de Calibración : 2022-04-07  
 Ubicación : LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

TEST & CONTROL S.A.C. es un Laboratorio de Calibración y Certificación de equipos de medición basado a la Norma Técnica Peruana ISO/IEC 17025.

TEST & CONTROL S.A.C. brinda los servicios de calibración de instrumentos de medición con los más altos estándares de calidad, garantizando la satisfacción de nuestros clientes. Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

### LUGAR DE CALIBRACIÓN

Instalaciones de UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

### MÉTODO DE CALIBRACIÓN

La calibración se efectuó por comparación directa utilizando el PIC-023 "Procedimiento Interno de Calibración de Prensas, Celdas y Anillos de Carga".

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones se le recomienda al usuario recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso.

### CONDICIONES AMBIENTALES

MAGNITUD	INICIAL	FINAL
TEMPERATURA (° C )	24,5	24,5
HUMEDAD RELATIVA (%HR)	69%	69%

Los resultados son válidos solamente para el ítem sometido a calibración, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

TEST & CONTROL S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que puedan ocurrir después de su calibración debido a la mala manipulación de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en el presente documento.

El presente documento carece de valor sin firma y sello.



Lic. Nicolas Ramos Paucar  
Gerente Técnico.  
CFP :0316

Certificado : TC-05574-2022

Página : 2 de 2

**TRAZABILIDAD**

Patrón de Referencia	Patrón de Trabajo	Certificado de calibración
Máquina de calibración de fuerza 5000 kN	Celda de Carga 3 MN AEP Transducer	12821C

**RESULTADOS DE MEDICIÓN**

VALOR PATRÓN ( kgf )	INDICACIÓN DEL EQUIPO ( kgf )	ERROR DE INDICACIÓN ( kgf )
2020,0	2010,0	-10,0
5021,0	5016,0	-5,0
10033,2	10016,0	-17,2
15042,5	15020,0	-22,5
20065,0	20025,0	-40,0
25065,0	25040,0	-25,0
30095,5	30056,0	-39,5

**OBSERVACIONES**

Con fines de identificación de la calibración se colocó una etiqueta autoadhesiva con el número de certificado.

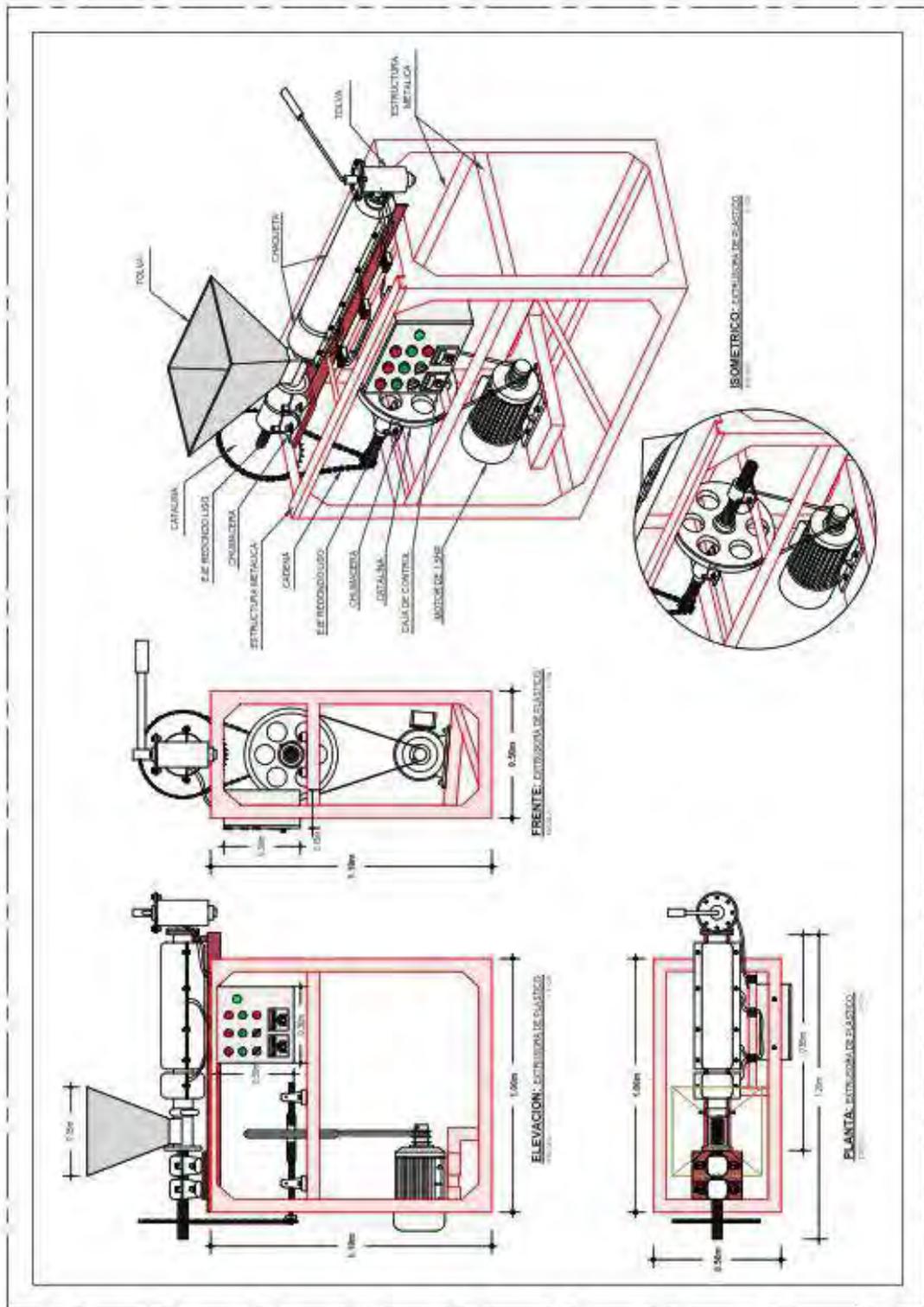
**INCERTIDUMBRE**

La incertidumbre expandida de medida se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica de medición por el factor de cobertura  $k=2$  que, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%.

**FIN DEL DOCUMENTO**

**Anexo N° 3**

**Plano de máquina extrusora**



**Anexo N° 4**

**Panel fotográfico**



Mezclado y cuarteo de arena fina de Cunyac



Zarandeo de arena fina de Cunyac



Retenidos por tamices de arena fina de Cunyac



Toma de muestra de Confitillo de Vicho sin lavar



Cuarteo de Confitillo de Vicho sin lavar



Retenidos en los tamices de Confitillo de Vicho sin lavar



Zarandeo de confitillo de Vicho pasante de la malla N°10 y retenido en la malla N°200



Lavado y secado de confitillo de Vicho



Retenidos en tamices de confitillo de Vicho Lavado



Tamizado de Agregado Fino de San Salvador



Tamizado de Agregado Fino de Pisac



Tamizado de Agregado Fino de Huambutio



Tamizado de Agregado Fino de Calca



Mezclado de proporción 60-40 (Confitillo Vicho-Arena Fina Cunyac)



Granulometría Agregado Fino 60% Vicho-40% Cunyac



Lavado de plástico polipropileno, eliminando suciedad, objetos metálicos entre otros



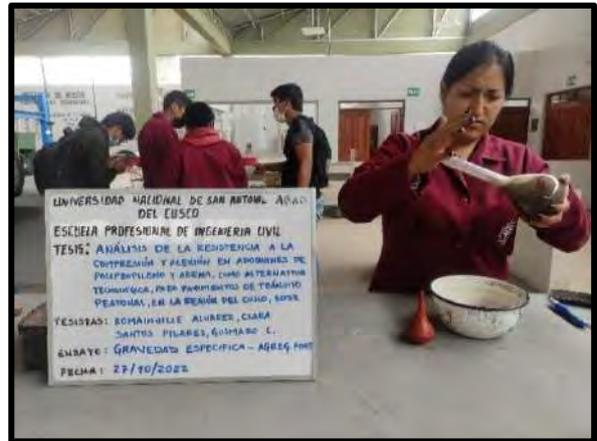
Secado al aire del plástico polipropileno



Granulometría plástico polipropileno



Peso unitario suelto y compactado de agregado fino de Cunyac



Gravedad específica y absorción de agregado fino de Cunyac



Contenido de humedad de agregado fino de Cunyac



Peso unitario suelto y compactado de confitillo de Vicho



Gravedad especifica y absorción de confitillo de Vicho



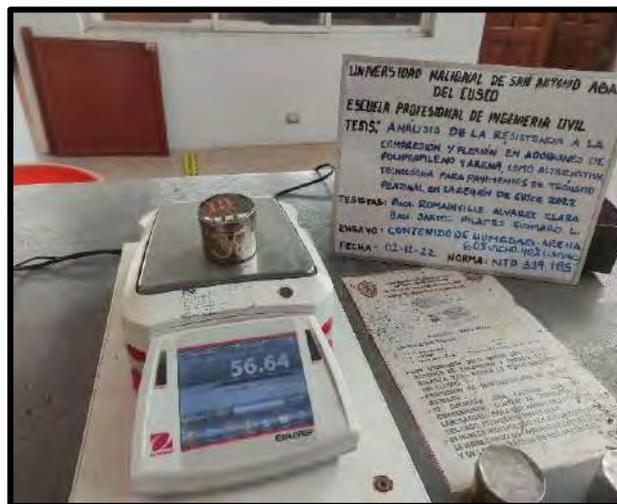
Contenido de humedad de confitillo de Vicho



Peso unitario suelto y compactado de agregado 60% Vicho-40% Cunyac



Gravedad especifica y absorción de agregado 60% Vicho-40% Cunyac



Contenido de humedad de agregado 60% Vicho-40% Cunyac



Colocación en la trituradora y ensacado de material reciclado de tipo 5 (polipropileno)



Vista general del material reciclado polipropileno



Colocación de plástico polipropileno a envase de alcohol con orificio, el cual por rebose se mide en la probeta para determinar el peso específico del polipropileno



Peso específico de plástico polipropileno



Dosificación de arena (A) y plástico polipropileno (PP) en proporciones A60-40PP, A50-50PP, A70-30PP



Colocación de arena y polipropileno en tolva de máquina extrusora



Vaciado de mezcla en molde metálico



Encofrado de mezcla en molde metálico empernando en costados con la tapa hasta una buena compactación



Enfriamiento de las unidades en poza con agua



Desencofrado del adoquín



Adoquines 50% polipropileno y 50% arena



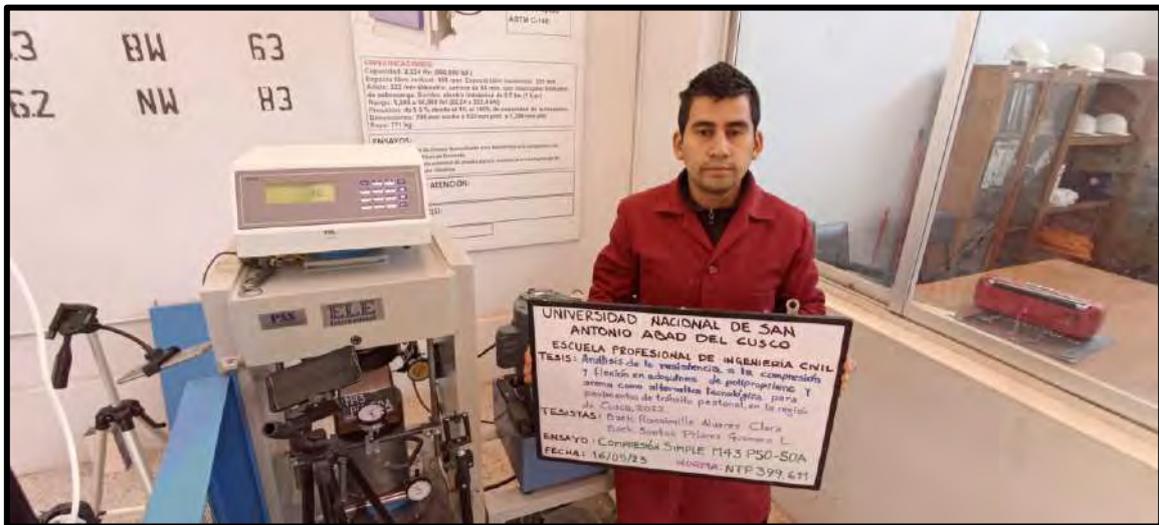
Adoquines 70% polipropileno y 30% arena



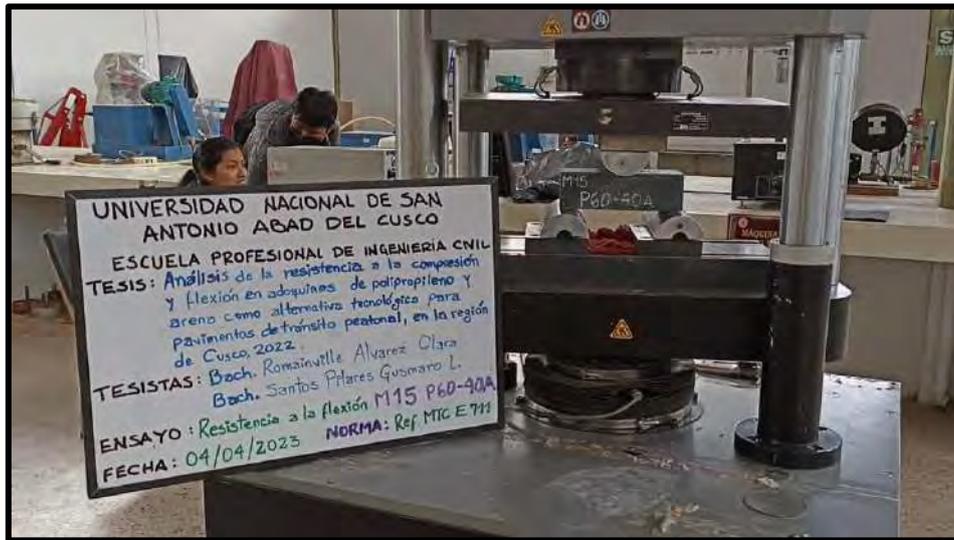
Adoquines 60% polipropileno y 40% arena



Instalación de cámaras para rotura de adoquines y registro de deformaciones



Ensayo a compresión de adoquines



Ensayo a flexión en maquina universal



Ensayo abrasión de adoquines



En una refrigeradora a  $-15^{\circ}\text{C}$



En un horno de laboratorio a  $40^{\circ}\text{C}$

Adoquines simulados a temperatura de ambiente frio y caliente para someterlos a compresión