

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL: INGENIERÍA CIVIL**



**Tesis:**

**Estudio del agregado fino como factor determinante en las propiedades del concreto permeable en la ciudad de Curahuasi – Abancay – Apurímac 2024**

**Asesor:**

**Ph.D. Vásquez Ramírez, Abbon Alex**

**Autor:**

**Pérez Velazque, Candylic**

**Para optar el Título Profesional de: Ingeniero Civil**

**Abancay – Apurímac – Perú**

**2025**

## Acta de sustentación



# Universidad Tecnológica de los Andes



Transformando vidas  
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

Acta N°: 067

En la ciudad de Abancay, a los veintiocho días del mes de agosto del 2025, siendo las 11:00 am horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 0729-2025- EPIC-FI-UTEA-SA de fecha 21 de agosto del 2025, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería:

Presidente :	MSc. Ing. Maldonado Mendivil, Angel
Dictaminante :	Ing. Cayo Baca, Holguer
Replicante :	Mag. Roldan Juárez, Américo

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

Tesis  Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

**Estudio del agregado fino como factor determinante en las propiedades del concreto permeable en la ciudad de Curahuasi – Abancay – Apurímac 2024**

Desarrollado por las (los) Bachilleres (es):

**Br: Pérez Velazque, Candylicz**

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) APROBADO (S):

Por: Unanimidad  
(Unanimidad o Mayoría) (\*)

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
Pérez Velazque, Candylicz	Aprobada

Siendo las 12:00m horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidenta: MSc. Ing. Maldonado Mendivil, Angel

Dictaminante: Ing. Cayo Baca, Holguer

Replicante: Mag. Roldan Juárez, Américo

Abancay 13 de octubre del 2025

Se expide la presente conforme al Libro de Actas de Sustentación de Tesis, consignado en los folios N° 364

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES  
Ciudad Universitaria Av. Perú N° 700, Abancay, Central Telefónica 051 (083) 321559  
Filial Cusco, Av. Grau N° 516, Teléfono (084) 251565  
Filial Andahuaylas, Av. Juan Antonio Trelles N° 513 Teléfono (083) 421752  
[www.utea.edu.pe](http://www.utea.edu.pe)

(\*) Mayoría: Dos integrantes del jurado aprueban o desaprueban; Unanimidad: Todos los integrantes del jurado aprueban o desaprueban, Art. 18 RGGAT.  
(\*\*) 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción; Art. 18 RGGAT.

## Reporte de similitud

# Candylic Pérez

## CANDYLIZ PEREZ VELAZQUE 2026

Revisión-tesis-C/D

### Detalles del documento

Identificador de la entrega  
trn:oid:::3117:546207948

Fecha de entrega  
14 ene 2026, 12:58 GMT-5

Fecha de descarga  
14 ene 2026, 13:04 GMT-5

Nombre del archivo  
CANDYLIZ PEREZ VELAZQUE 2026.pdf

Tamaño del archivo  
14.7 MB

192 páginas

37.174 palabras

195.897 caracteres



Página 1 de 199 - Portada

Identificador de la entrega trn:oid:::3117:546207948



Página 2 de 199 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid:::3117:546207948

## 22% Similitud general

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

### Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

### Fuentes principales

- 18% Fuentes de Internet
- 8% Publicaciones
- 16% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

### Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

## Metadatos

<b>Datos del Autor</b>	
Apellidos y Nombres	: Pérez Velazque, Candylyz
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Número de Documento de Identidad	: 75974855
URL ORCID	: <a href="https://orcid.org/0009-0003-6152-2953">https://orcid.org/0009-0003-6152-2953</a>
<b>Datos del Asesor</b>	
Apellidos y Nombres	: Vásquez Ramírez, Abbon Alex
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Número de Documento de Identidad	: 06532658
URL ORCID	: <a href="https://orcid.org/0000-0001-7299-5367">https://orcid.org/0000-0001-7299-5367</a>
<b>Datos de la Investigación</b>	
Facultad	: Ingeniería
Escuela Profesional	: Ingeniería Civil
Línea de Investigación	: Gestión de la Infraestructura para el desarrollo sostenible
Rango de años en que se realizó la investigación	: 2023-2024
Fuente de financiamiento	: Autofinanciada
Porcentaje de similitud	: 22%
URL de OCDE	: <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford# 2.01.01">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford# 2.01.01</a>

## **Dedicatoria**

A Dios, quien ha sido mi refugio en todo momento. Valoro su infinita bondad, por fortalecer mi espíritu en los momentos difíciles y por iluminar mi camino con su sabiduría. Cada logro en mi vida es una manifestación de su amor, y este trabajo no habría sido posible sin su constante compañía y bendiciones.

Con gratitud hacia mis padres, cuyo amor incondicional y sacrificio constante son la base de todo lo que soy y aspiro a ser. Gracias por su apoyo inquebrantable, por creer en mis sueños y por mostrarme, con su ejemplo que la dedicación siempre da frutos. Este logro es una muestra de lo que he podido alcanzar gracias a su guía, paciencia y fe en mí.

Hacia mis hermanos y amigos, quienes con su compañía y palabras de aliento han sido un apoyo invaluable a lo largo de este proceso. Gracias por estar presentes en cada etapa, celebrando mis avances, brindándome su apoyo en los momentos de incertidumbre y motivándome a no rendirme. Su amistad y cariño han sido una fuente constante de fortaleza que me ha permitido llegar hasta aquí.

## **Agradecimientos**

Expreso mi más sincero agradecimiento a mi asesor Ph.D, Abbon Alex Vásquez Ramírez, por su paciencia, guía y valiosas enseñanzas a lo largo de la realización de esta tesis. Su dedicación y disposición para compartir su conocimiento fueron fundamentales para culminar este trabajo.

Agradezco también a los docentes de mi carrera, quienes, con su vocación y compromiso, han dejado una huella importante en mi formación académica y profesional. Asimismo, extendo mi gratitud a mis compañeros, quienes con su camaradería y colaboración han hecho de este recorrido una experiencia enriquecedora y llena de aprendizaje compartido.

Finalmente, mi más profundo agradecimiento es para mi familia, por su amor incondicional, apoyo constante y confianza en mí. A ellos, que han sido mi mayor fortaleza y motivación para superar cada desafío, les dedico este logro como muestra de gratitud por todo lo que han hecho para ayudarme a concretar mis propósitos.

## Resumen

La presente tesis tiene como objetivo general determinar la influencia de la adición del agregado fino en las propiedades físicas y mecánicas del concreto permeable, buscando optimizar su desempeño en pavimentos urbanos como son las veredas en la ciudad de Curahuasi principalmente en la avenida San Cristóbal, para ello, se optó por una investigación de tipo aplicada, con un nivel explicativo. Se desarrollaron cinco diseños de mezcla, variando el porcentaje de agregado fino (0%, 5%, 10%, 15% y 20%). Para posteriormente realizar ensayos de coeficiente de permeabilidad, tasa de infiltración, resistencia a la compresión a los 7,14 y 28 días de curado, así como la resistencia a la flexión (módulo de rotura).

Los resultados mostraron que el incremento del porcentaje de agregado fino mejora significativamente las resistencias mecánicas del concreto permeable. En particular, con un 20% de agregado fino se obtuvo la mayor resistencia a la compresión (207.70 kg/cm<sup>2</sup>) y al módulo de rotura (32.30 kg/cm<sup>2</sup>) a los 28 días. Por otro lado, el coeficiente de permeabilidad y la tasa de infiltración disminuyó progresivamente según se incrementó el contenido de agregado fino, alcanzando un valor de 0.138 cm/s con el 20% en el coeficiente de permeabilidad y 3395.35 mm/h con el 20% en la tasa de infiltración.

La incorporación de agregado fino mejora las propiedades mecánicas del concreto permeable, manteniendo niveles aceptables de coeficiente de permeabilidad y tasa de infiltración a favor de la gestión del agua pluvial.

**Palabras claves:** Concreto permeable, agregado fino, coeficiente de permeabilidad, resistencia a la compresión, resistencia a la flexión.

## Abstract

This thesis aims to determine the influence of fine aggregate addition on the physical and mechanical properties of pervious concrete, seeking to optimize its performance in urban pavements such as sidewalks in the city of Curahuasi, particularly along San Cristóbal Avenue. To achieve this, an applied research with an explanatory level was conducted. Five mix designs were developed, varying the percentage of fine aggregate (0%, 5%, 10%, 15%, and 20%). Subsequently, tests were carried out to evaluate the coefficient of permeability, infiltration rate, compressive strength at 7, 14, and 28 days of curing, and flexural strength (modulus of rupture).

The results showed that increasing the fine aggregate content significantly improved the mechanical strength of the pervious concrete. Specifically, the mix with 20% fine aggregate achieved the highest compressive strength (207.70 kg/cm<sup>2</sup>) and modulus of rupture (32.30 kg/cm<sup>2</sup>) at 28 days. Conversely, the permeability coefficient and infiltration rate decreased progressively as the fine aggregate content increased, reaching values of 0.138 cm/s and 3395.35 mm/h, respectively, with 20% fine aggregate.

The incorporation of fine aggregate enhances the mechanical properties of pervious concrete while maintaining acceptable levels of permeability and infiltration, contributing to efficient stormwater management.

**Keywords:** Pervious concrete, fine aggregate, permeability coefficient, compressive strength, flexural strength.

## Índice general

<b>Portada</b> .....	<b>i</b>
<b>Acta de sustentación</b> .....	<b>ii</b>
<b>Reporte de similitud</b> .....	<b>iii</b>
<b>Metadatos</b> .....	<b>iv</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>v</b>
<b>Agradecimientos</b> .....	<b>vi</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>vii</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>viii</b>
<b>Índice general</b> .....	<b>ix</b>
<b>Índice de tablas</b> .....	<b>xii</b>
<b>Índice de figuras</b> .....	<b>xvii</b>
<b>Índice de anexos</b> .....	<b>xviii</b>
<b>I. Introducción</b> .....	<b>19</b>
<b>II. Planteamiento del problema</b> .....	<b>21</b>
2.1. Descripción y formulación del problema .....	21
2.2. Objetivos .....	24
2.2.1. Objetivo general.....	24
2.2.2. Objetivos específicos .....	24
2.3. Justificación e importancia .....	25
2.4. Hipótesis .....	26
2.5. Variables .....	26
<b>III. Marco teórico</b> .....	<b>28</b>

3.1. Antecedentes .....	28
3.2. Bases teóricas.....	33
3.2.1. El concreto permeable .....	33
3.2.2. Aplicaciones del concreto permeable.....	33
3.2.3. Materiales del concreto permeable .....	34
3.2.4. Propiedades físicas del concreto permeable.....	35
3.2.5. Propiedades mecánicas del concreto permeable.....	36
3.2.6. Procedimiento de diseño del concreto permeable.....	37
3.2.7. Ensayos de los agregados.....	38
3.2.8. Elaboración y curado del concreto en el laboratorio.....	47
3.2.9. Ensayos de las propiedades físicas del concreto permeable .....	50
3.2.10. Ensayos de las propiedades mecánicas del concreto permeable .....	53
3.2.11. Especificaciones del concreto para pavimentos urbanos .....	57
3.3. Definición de términos .....	58
<b>IV. Metodología .....</b>	<b>62</b>
4.1. Tipo y nivel de investigación.....	62
4.2. Ámbito temporal y espacial.....	64
4.3. Población y muestra.....	64
4.4. Instrumentos .....	66
4.5. Procedimientos.....	67
4.6. Análisis de datos .....	68
4.7. Consideraciones éticas .....	69
<b>V. Resultados y discusión.....</b>	<b>70</b>

5.1. Resultados .....	70
5.2. Contrastación de hipótesis .....	92
5.3. Discusión.....	114
<b>VI. Conclusiones.....</b>	<b>123</b>
<b>VII. Recomendaciones.....</b>	<b>125</b>
<b>VIII. Referencias .....</b>	<b>127</b>
<b>IX. Anexos .....</b>	<b>133</b>

## Índice de tablas

<b>Tabla 1</b> Operacionalización de variables .....	27
<b>Tabla 2</b> Tamaño de la muestra del agregado para contenido de humedad .....	39
<b>Tabla 3</b> Cantidad mínima de la muestra de agregado grueso para análisis granulométrico .....	40
<b>Tabla 4</b> Masa mínima de muestra para peso específico y absorción del agregado grueso .....	42
<b>Tabla 5</b> Cantidad uniforme de capas por espécimen para compactación del concreto ....	49
<b>Tabla 6</b> Diámetro de varilla y número de varillados para compactación del concreto .....	49
<b>Tabla 7</b> Requisitos de pavimentos urbanos .....	57
<b>Tabla 8</b> Requisitos de pavimentos urbanos especiales .....	57
<b>Tabla 9</b> Cantidad de probetas para ensayo de coeficiente de permeabilidad .....	65
<b>Tabla 10</b> Cantidad de losas para ensayo de tasa de infiltración .....	65
<b>Tabla 11</b> Cantidad de probetas para ensayo de resistencia a la compresión .....	65
<b>Tabla 12</b> Cantidad de vigas para ensayo de resistencia a la flexión (módulo de rotura) ..	66
<b>Tabla 13</b> Coeficiente de permeabilidad del concreto permeable (0% de A.F) .....	70
<b>Tabla 14</b> Coeficiente de permeabilidad del concreto permeable (5% de A.F) .....	70
<b>Tabla 15</b> Coeficiente de permeabilidad del concreto permeable (10% de A.F) .....	71
<b>Tabla 16</b> Coeficiente de permeabilidad del concreto permeable (15% de A.F) .....	71
<b>Tabla 17</b> Coeficiente de permeabilidad del concreto permeable (20% de A.F) .....	71
<b>Tabla 18</b> Tasa de infiltración del concreto permeable (0% de A.F) .....	73
<b>Tabla 19</b> Tasa de infiltración del concreto permeable (5% de A.F) .....	73
<b>Tabla 20</b> Tasa de infiltración del concreto permeable (10% de A.F) .....	73
<b>Tabla 21</b> Tasa de infiltración del concreto permeable (15% de A.F) .....	74
<b>Tabla 22</b> Tasa de infiltración del concreto permeable (20% de A.F) .....	74
<b>Tabla 23</b> Resistencia a la compresión del concreto permeable (0% de A.F) a 7 días .....	76
<b>Tabla 24</b> Resistencia a la compresión del concreto permeable (5% de A.F) a 7 días .....	76
<b>Tabla 25</b> Resistencia a la compresión del concreto permeable (10% de A.F) a 7 días ....	77

<b>Tabla 26</b>	Resistencia a la compresión del concreto permeable (15% de A.F) a 7 días ....	77
<b>Tabla 27</b>	Resistencia a la compresión del concreto permeable (20% de A.F) a 7 días ....	77
<b>Tabla 28</b>	Resistencia a la compresión del concreto permeable (0% de A.F) a 14 días ....	79
<b>Tabla 29</b>	Resistencia a la compresión del concreto permeable (5% de A.F) a 14 días ....	79
<b>Tabla 30</b>	Resistencia a la compresión del concreto permeable (10% de A.F) a 14 días ..	80
<b>Tabla 31</b>	Resistencia a la compresión del concreto permeable (15% de A.F) a 14 días ..	80
<b>Tabla 32</b>	Resistencia a la compresión del concreto permeable (20% de A.F) a 14 días ..	81
<b>Tabla 33</b>	Resistencia a la compresión del concreto permeable (0% de A.F) a 28 días ....	82
<b>Tabla 34</b>	Resistencia a la compresión del concreto permeable (5% de A.F) a 28 días ....	82
<b>Tabla 35</b>	Resistencia a la compresión del concreto permeable (10% de A.F) a 28 días ..	83
<b>Tabla 36</b>	Resistencia a la compresión del concreto permeable (15% de A.F) a 28 días ..	83
<b>Tabla 37</b>	Resistencia a la compresión del concreto permeable (20% de A.F) a 28 días ..	84
<b>Tabla 38</b>	Resistencia a la flexión (MR) del concreto permeable con 0% de A.F a 28 días .....	85
<b>Tabla 39</b>	Resistencia a la flexión (MR) del concreto permeable con 5% de A.F a 28 días .....	85
<b>Tabla 40</b>	Resistencia a la flexión (MR) del concreto permeable con 10% de A.F a 28 días .....	86
<b>Tabla 41</b>	Resistencia a la flexión (MR) del concreto permeable con 15% de A.F a 28 días .....	86
<b>Tabla 42</b>	Resistencia a la flexión (MR) del concreto permeable con 20% de A.F a 28 días .....	87
<b>Tabla 43</b>	Propiedades físicas (coeficiente de permeabilidad) del concreto permeable con diferentes % de A.F (0%,5%,10%,15% y 20%) .....	88
<b>Tabla 44</b>	Propiedades físicas (tasa de infiltración) del concreto permeable con diferentes % de A.F (0%,5%,10%,15% y 20%) .....	89
<b>Tabla 45</b>	Propiedades mecánicas (resistencia a la compresión) del concreto permeable con diferentes % de A.F (0%,5%,10%,15% y 20%) .....	90

<b>Tabla 46</b> Propiedades mecánicas (resistencia a la flexión) del concreto permeable con diferentes % de A.F (0%,5%,10%,15% y 20%) .....	91
<b>Tabla 47</b> Prueba de normalidad del coeficiente de permeabilidad del concreto permeable .....	92
<b>Tabla 48</b> Prueba de homogeneidad de varianzas del coeficiente de permeabilidad del concreto permeable .....	93
<b>Tabla 49</b> ANOVA de un factor del coeficiente de permeabilidad del concreto permeable	93
<b>Tabla 50</b> Comparaciones múltiples HSD Tukey del coeficiente de permeabilidad del concreto permeable .....	94
<b>Tabla 51</b> Subconjuntos homogéneos HSD Tukey del coeficiente de permeabilidad del concreto permeable .....	95
<b>Tabla 52</b> Prueba de normalidad de la tasa de infiltración del concreto permeable.....	96
<b>Tabla 53</b> Prueba de homogeneidad de varianzas de la tasa de infiltración del concreto permeable.....	96
<b>Tabla 54</b> ANOVA de un factor de la tasa de infiltración del concreto permeable .....	97
<b>Tabla 55</b> Comparaciones múltiples HSD Tukey de la tasa de infiltración del concreto permeable.....	97
<b>Tabla 56</b> Subconjuntos homogéneos HSD Tukey de la tasa de infiltración del concreto permeable.....	98
<b>Tabla 57</b> Prueba de normalidad de la resistencia a la compresión del concreto permeable a 7 días.....	99
<b>Tabla 58</b> Prueba de homogeneidad de varianzas de la resistencia a la compresión del concreto permeable a 7 días.....	100
<b>Tabla 59</b> ANOVA de un factor de la resistencia a la compresión del concreto permeable a 7 días.....	101
<b>Tabla 60</b> Comparaciones múltiples HSD Tukey de la resistencia a la compresión del concreto permeable a 7 días.....	101

<b>Tabla 61</b> Subconjuntos homogéneos HSD Tukey de la resistencia a la compresión del concreto permeable a 7 días.....	102
<b>Tabla 62</b> Prueba de normalidad de la resistencia a la compresión del concreto permeable a 14 días.....	103
<b>Tabla 63</b> Prueba de homogeneidad de varianzas de la resistencia a la compresión del concreto permeable a 14 días.....	104
<b>Tabla 64</b> ANOVA de un factor de la resistencia a la compresión del concreto permeable a 14 días.....	104
<b>Tabla 65</b> Comparaciones múltiples HSD Tukey de la resistencia a la compresión del concreto permeable a 14 días.....	105
<b>Tabla 66</b> Subconjuntos homogéneos HSD Tukey de la resistencia a la compresión del concreto permeable a 14 días.....	106
<b>Tabla 67</b> Prueba de normalidad de la resistencia a la compresión del concreto permeable a 28 días.....	107
<b>Tabla 68</b> Prueba de homogeneidad de varianzas de la resistencia a la compresión del concreto permeable a 28 días.....	107
<b>Tabla 69</b> ANOVA de un factor de la resistencia a la compresión del concreto permeable a 28 días.....	108
<b>Tabla 70</b> Comparaciones múltiples HSD Tukey de la resistencia a la compresión del concreto permeable a 28 días.....	108
<b>Tabla 71</b> Subconjuntos homogéneos HSD Tukey de la resistencia a la compresión del concreto permeable a 28 días.....	109
<b>Tabla 72</b> Prueba de normalidad de la resistencia a la flexión (módulo de rotura) del concreto permeable a 28 días .....	110
<b>Tabla 73</b> Prueba de homogeneidad de varianza de la resistencia a la flexión (módulo de rotura) del concreto permeable a 28 días.....	111
<b>Tabla 74</b> ANOVA de un factor de la resistencia a la flexión (módulo de rotura) del concreto permeable a 28 días .....	112

<b>Tabla 75</b> Comparaciones múltiples HSD Tukey de la resistencia a la flexión (módulo de rotura) del concreto permeable a 28 días.....	112
<b>Tabla 76</b> Subconjuntos homogéneos HSD Tukey de la resistencia a la flexión (módulo de rotura) del concreto permeable a 28 días.....	113

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b> Fallas típicas de muestras ensayadas a compresión .....	55
<b>Figura 2</b> Coeficiente de permeabilidad del concreto permeable con diferentes % de A.F (0%,5%,10%,15% y 20%) .....	72
<b>Figura 3</b> Tasa de infiltración del concreto permeable con diferentes % de A.F (0%,5%,10%,15% y 20%) .....	75
<b>Figura 4</b> Resistencia a la compresión del concreto permeable con diferentes % de A.F (0%,5%,10%,15% y 20%) a 7 días .....	78
<b>Figura 5</b> Resistencia a la compresión del concreto permeable con diferentes % de A.F (0%,5%,10%,15% y 20%) a 14 días .....	81
<b>Figura 6</b> Resistencia a la compresión del concreto permeable con diferentes % de A.F (0%, 5%, 10%,15% y 20%) a 28 días.....	84
<b>Figura 7</b> Resistencia a la flexión (MR) del concreto permeable con diferentes % de A.F (0%,5%,10%,15% y 20%) a 28 días .....	87
<b>Figura 8</b> Propiedades físicas (Coeficiente de permeabilidad) del concreto permeable con diferentes % de A.F (0%,5%,10%,15% y 20%) .....	88
<b>Figura 9</b> Propiedades físicas (tasa de infiltración) del concreto permeable con diferentes % de A.F (0%,5%,10%,15% y 20%).....	89
<b>Figura 10</b> Propiedades mecánicas (resistencia a la compresión) del concreto permeable con diferentes % de A.F (0%,5%,10%,15% y 20%) .....	90
<b>Figura 11</b> Propiedades mecánicas (resistencia a la flexión) del concreto permeable con diferentes % de A.F (0%,5%,10%,15% y 20%) .....	91

## Índice de anexos

<b>Anexo 1</b> Matriz de operacionalización de variables.....	134
<b>Anexo 2</b> Matriz de consistencia.....	135
<b>Anexo 3</b> Resultados.....	136
<b>Anexo 4</b> Panel fotográfico.....	164
<b>Anexo 5</b> Certificados de calibración de equipos.....	175
<b>Anexo 6</b> Estudio de intensidad máxima de lluvia en Curahuasi (Av. San Cristóbal).....	176

## I. Introducción

En contextos urbanos vulnerables a lluvias intensas, el uso de concreto permeable ha demostrado ser eficaz, ya que su estructura permite condiciones que favorecen la infiltración pluvial sin generar acumulación superficial. Sin embargo, su limitada resistencia mecánica restringe su aplicación en ciertos contextos. Por ello, esta tesis busca abordar dicha limitación incorporando agregado fino en diferentes porcentajes, a fin de mejorar el comportamiento mecánico, buscando un equilibrio entre funcionalidad hidráulica y resistencia estructural.

En la ciudad de Curahuasi, zonas como la avenida San Cristóbal enfrentan constantes inundaciones durante las épocas de lluvia, afectando diferentes infraestructuras. Ante esta problemática, se plantea la implementación de pavimentos urbanos como son las veredas de concreto permeable que permitan evacuar las aguas pluviales, mitigando los daños y favoreciendo al bienestar de los ciudadanos.

El objetivo general es determinar la influencia de la adición del agregado fino en las propiedades físicas y mecánicas del concreto permeable para pavimentos urbanos en la ciudad de Curahuasi. Dentro de las propiedades físicas del concreto permeable, se analizan el coeficiente de permeabilidad y la tasa de infiltración. El coeficiente de permeabilidad evalúa la habilidad del material para facilitar el flujo de agua por su interior, es decir, mide qué tan eficiente es el concreto para infiltrar las aguas pluviales hacia las capas inferiores del pavimento. Por otro lado, la tasa de infiltración mide la velocidad con la que el agua pluvial penetra la superficie del concreto permeable, lo cual es fundamental para evitar encharcamientos y facilitar un drenaje superficial adecuado durante eventos de precipitación intensa. En cuanto a las propiedades mecánicas, se estudia la resistencia a la compresión, que indica que tanto puede soportar el concreto cargas aplicadas en dirección axial. Asimismo, se evalúa la resistencia a la flexión, entendida como su capacidad para resistir deformaciones ante cargas transversales. Este comportamiento se mide mediante el módulo de rotura, que determina la máxima tensión que el material puede soportar antes de fracturarse por flexión.

Para el procesamiento de los resultados se empleó un enfoque cuantitativo, aplicando estadística inferencial mediante ANOVA de un factor, lo cual permitió determinar la influencia del agregado fino sobre cada propiedad analizada.

La presente tesis está organizada de la siguiente manera:

Capítulo I: Se presenta la introducción, donde se contextualiza el problema.

Capítulo II: Se desarrolla el planteamiento del problema.

Capítulo III: Aborda el marco teórico.

Capítulo IV: Detalla la metodología empleada.

Capítulo V: Expone los resultados obtenidos y su discusión en cuanto a los objetivos dados en la tesis.

Capítulo VI: Presenta las conclusiones en cuanto a los objetivos dados en la tesis.

Capítulo VII: Presenta las recomendaciones de la tesis.

Capítulo VIII: Presenta las referencias en las cuales se basó la tesis.

Capítulo IX: Presenta los diferentes anexos de la tesis, que contiene información complementaria y detallada que respalda y expande los resultados.

Con este enfoque, se busca contribuir de manera significativa al desarrollo de soluciones efectivas para problemas urbanos específicos, resaltando el potencial del concreto permeable a manera de una herramienta clave para la gestión del agua pluvial.

## **II. Planteamiento del problema**

### **2.1. Descripción y formulación del problema**

Los problemas ambientales, como el anegamiento, la contaminación del agua, el clima atroz y los fenómenos urbanos de islas calientes, ocurren con frecuencia y en todo el mundo. La presencia de pavimento impermeable en autopistas y vías urbanas, que corta el intercambio de humedad y calor entre la tierra y el aire, es una de las principales razones de estos problemas ambientales. Mientras tanto, los accidentes de tráfico reportados causan más de un millón de muertes y casi quinientos mil millones de pérdidas en todo el mundo cada año. La falta de permeabilidad al agua en los pavimentos tradicionales, que debilita radicalmente la resistencia al deslizamiento del pavimento bajo la lluvia o la nieve, es responsable de los accidentes de tráfico (Li et al., 2017). Por otro lado, la expansión urbana busca el desarrollo vial que requiere la construcción de los diferentes pavimentos. Sin embargo, estos pavimentos tradicionales ocasionan impermeabilizaciones importantes en el espacio urbano. Por esta razón, la aplicación del concreto permeable es fundamental en pavimentos entre ellas las veredas para lo cual requiere que cumpla con las resistencias establecidas que implantan las normativas de pavimentos en cada país por lo que esta problemática hace que muchos investigadores empleen diferentes materiales en la elaboración del concreto permeable que finalmente mejoren sus características físicas y mecánicas.

En las últimas décadas, el Perú viene experimentando diversos problemas de deterioros y colapsos en las obras de carreteras, puentes, viviendas, entre las más importantes, a raíz de las precipitaciones intensas ocasionadas por la anomalía climática del niño en los años 1925, 1983, 1998 y 2017. Estas afectaciones estructurales son consecuencia de la ausencia de infraestructura adecuada de drenaje pluvial, y falta de planificación en la construcción de zonas urbanas para sostener el crecimiento poblacional. Entre las infraestructuras más afectadas, se encuentran los pavimentos de vías urbanas, ya que son de vital importancia para la comunicación entre las ciudades. Por ello, se necesitan soluciones innovadoras en la construcción y diseño de pavimentos para reducir

el riesgo de colapso, a menudo provocado por la falta de sistemas de drenaje, ya que las vías convencionales alteran el balance del ciclo hidrológico, debido a la falta de captación de agua. Asimismo, las precipitaciones generan escorrentías superficiales que, en el peor de los casos, pueden provocar inundaciones (Esquerre y Silva, 2019).

La ciudad de Curahuasi, ubicada en una región de intensas precipitaciones entre los meses de diciembre y marzo, enfrenta problemas recurrentes de inundación en sus zonas bajas, especialmente en la avenida San Cristóbal. Durante la temporada de lluvias, el escaso sistema de drenaje urbano y el sistema de desagüe en esta área colapsan debido al alto volumen de aguas pluviales. Este desbordamiento provoca que el agua ingrese a las viviendas, causando daños materiales y exponiendo a los habitantes a riesgos sanitarios por el contacto con aguas contaminadas. Además, las inundaciones arrastran materiales sólidos y contaminantes, aumentando el riesgo de enfermedades en la población.

En la avenida San Cristóbal, la predominancia de pavimento impermeable impide la infiltración de agua hacia el subsuelo, incrementando aún más la carga sobre los sistemas de drenaje. Según el Centro de Operaciones de Emergencia Nacional de Apurímac (2022), “El 8 de enero de 2022, a las 20:00 horas, se registraron lluvias intensas que ocasionaron una inundación afectando viviendas ubicadas en la avenida San Cristóbal, distrito de Curahuasi, provincia de Abancay” (p.1), afectando un total de 12 personas y 5 viviendas. De acuerdo a Exitosa Noticias (2023), El 22 de marzo a las 6:20 de la mañana, el valle de Curahuasi se vio afectado por una intensa lluvia que convirtió sus calles en auténticos ríos, dificultando el tránsito peatonal y vehicular en esta avenida y exponiendo aún más a las viviendas a riesgos de inundación. La topografía en pendiente de Curahuasi, además, facilita el desplazamiento rápido de las aguas hacia las zonas bajas, lo que ha llevado a la necesidad de trabajos constantes de descolmatación en áreas como San Cristóbal para intentar minimizar los efectos de las lluvias. Sin embargo, estos esfuerzos han resultado insuficientes y las autoridades locales deben destinar cada año recursos considerables en maquinaria y equipos de emergencia para responder a estas crisis,

elevando los costos económicos para el municipio. Así mismo, según Curahuasi en Redes Canal Digital (2024), El 27 de septiembre la avenida San Cristóbal se encuentra gravemente afectado tras las lluvias. A pesar de los trabajos de mantenimiento ejecutados por la municipalidad, las calles mostraron signos de deterioro evidente. Ante esta situación, surge la necesidad de considerar pavimentos permeables como veredas, que permita la infiltración de agua. Sin embargo, su limitada resistencia mecánica representa un desafío importante. Incrementar la capacidad mecánica del concreto permeable es esencial permitiendo que esta solución no solo cumpla con los requisitos hidráulicos, sino que también soporte las diferentes cargas propias de veredas, prolongando su vida útil y reduciendo costos de mantenimiento.

Para incrementar la capacidad mecánica del concreto permeable, se han propuesto diversas alternativas, entre ellas la incorporación de agregado fino. No obstante, en la zona no se cuenta con investigaciones que determinen la influencia de este material en sus propiedades físicas, ni en sus propiedades mecánicas. Esta carencia de evidencia técnica ha impedido la implementación de dicha solución, manteniendo a los habitantes de la avenida San Cristóbal en una situación de constante vulnerabilidad. Además, limita la toma de decisiones fundamentadas y la aplicación eficiente de este tipo de pavimento en zonas urbanas como Curahuasi.

#### **2.1.1. Problema general**

**PG:** ¿De qué manera influye la adición de agregado fino en las propiedades físicas y mecánicas del concreto permeable para pavimentos urbanos en la ciudad de Curahuasi – Abancay – Apurímac 2024?

#### **2.1.2. Problemas específicos**

**PE1:** ¿De qué manera influye la adición de agregado fino en el coeficiente de permeabilidad del concreto permeable para pavimentos urbanos en la ciudad de Curahuasi – Abancay – Apurímac 2024?

**PE2:** ¿De qué manera influye la adición de agregado fino en la tasa de infiltración del concreto permeable para pavimentos urbanos en la ciudad de Curahuasi – Abancay – Apurímac 2024?

**PE3:** ¿De qué manera influye la adición de agregado fino en la resistencia a la compresión del concreto permeable para pavimentos urbanos en la ciudad de Curahuasi – Abancay – Apurímac 2024?

**PE4:** ¿De qué manera influye la adición de agregado fino en la resistencia a la flexión (módulo de rotura) del concreto permeable para pavimentos urbanos en la ciudad de Curahuasi – Abancay – Apurímac 2024?

## **2.2. Objetivos**

### **2.2.1. Objetivo general**

**OG:** Determinar la influencia de la adición del agregado fino en las propiedades físicas y mecánicas del concreto permeable para pavimentos urbanos en la ciudad de Curahuasi – Abancay – Apurímac 2024.

### **2.2.2. Objetivos específicos**

**OE1:** Evaluar en qué manera influye la adición de agregado fino en el coeficiente de permeabilidad del concreto permeable para pavimentos urbanos en la ciudad de Curahuasi – Abancay – Apurímac 2024.

**OE2:** Evaluar en qué manera influye la adición de agregado fino en la tasa de infiltración del concreto permeable para pavimentos urbanos en la ciudad de Curahuasi – Abancay – Apurímac 2024.

**OE3:** Evaluar en qué manera influye la adición de agregado fino en la resistencia a la compresión del concreto permeable para pavimentos urbanos en la ciudad de Curahuasi – Abancay – Apurímac 2024.

**OE4:** Evaluar en qué manera influye la adición de agregado fino en la resistencia a la flexión (módulo de rotura) del concreto permeable para pavimentos urbanos en la ciudad de Curahuasi – Abancay – Apurímac 2024.

### **2.3. Justificación e importancia**

Desde una perspectiva teórica, el concreto permeable constituye una tecnología significativa utilizada para manejar eficientemente las aguas pluviales, pero sus propiedades mecánicas son limitadas. Este estudio busca determinar cómo la incorporación de agregado fino influye sobre el comportamiento físico y mecánico, lo que representa una contribución significativa al conocimiento técnico-científico. En la ciudad de Curahuasi, no se han realizado estudios previos sobre la mejora del concreto permeable mediante el uso de agregado fino, lo que subraya la relevancia teórica de este trabajo como base para futuras investigaciones y aplicaciones en contextos similares.

Desde una perspectiva práctica, el desarrollo de un concreto permeable con mejores características mecánicas y funcionales que permita su implementación en veredas en la ciudad de Curahuasi, específicamente en la avenida San Cristóbal, que sufre constantes inundaciones durante la temporada de lluvias. Este concreto optimizado facilita la evacuación de aguas pluviales, reduce el impacto de las inundaciones y garantiza mayor resistencia y durabilidad en condiciones de carga urbana. La tesis ofrece una solución técnica, práctica y factible para abordar los problemas de infraestructura y drenaje.

Desde el punto de vista social, las inundaciones en la avenida San Cristóbal afectan directamente el bienestar de la población, causando daños materiales, colapso de desagües, pérdidas económicas y riesgos de salud. Determinar la influencia del agregado fino en las propiedades del concreto permeable tiene un efecto social importante, ya que propone una alternativa para mitigar estos problemas. La implementación de este material mejorado no solo beneficiará a las familias directamente afectadas, sino que también contribuirá al desarrollo urbano sostenible y al bienestar de la población en general.

Considerando el enfoque ambiental, el concreto permeable al permitir el ingreso del agua al suelo, contribuye a disminuir la escorrentía superficial y a la recarga de los acuíferos, mitigando la afectación ambiental de las precipitaciones intensas. Incorporar agregado fino no solo mejora las propiedades mecánicas, sino que también optimiza la eficiencia del concreto como solución sostenible para áreas urbanas vulnerables como

Curahuasi. Este enfoque fomenta el uso de materiales de construcción responsables, adaptados a las necesidades ambientales actuales.

## **2.4. Hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis general**

**HG:** La adición del agregado fino influye significativamente en las propiedades físicas y mecánicas del concreto permeable para pavimentos urbanos en la ciudad de Curahuasi – Abancay – Apurímac 2024.

### **2.4.2. Hipótesis específicas**

**HE1:** La adición del agregado fino influye significativamente en el coeficiente de permeabilidad del concreto permeable para pavimentos urbanos en la ciudad de Curahuasi – Abancay – Apurímac 2024.

**HE2:** La adición del agregado fino influye significativamente en la tasa de infiltración del concreto permeable para pavimentos urbanos en la ciudad de Curahuasi – Abancay – Apurímac 2024.

**HE3:** La adición del agregado fino influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto permeable para pavimentos urbanos en la ciudad de Curahuasi – Abancay – Apurímac 2024.

**HE4:** La adición del agregado fino influye significativamente en la resistencia a la flexión (módulo de rotura) del concreto permeable para pavimentos urbanos en la ciudad de Curahuasi – Abancay – Apurímac 2024.

## **2.5. Variables**

### **Variable independiente:**

- Influencia del agregado fino.

### **Variables dependientes:**

- Propiedades físicas del concreto permeable.
- Propiedades mecánicas del concreto permeable.

**Tabla 1**

*Operacionalización de variables*

<b>Variables</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Definición operacional</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Escala de medición</b>
<b>Variable independiente:</b> Influencia del agregado fino	Es el efecto provocado por la utilización del agregado fino, "Es el agregado proveniente de la desintegración natural o artificial, que pasa el tamiz normalizado 9,5 mm (3/8 pulg) y queda retenido en el tamiz normalizado 75 µm (No.200); deberá cumplir con los límites establecidos en la presente norma" (NTP 400.037, 2021, p. 6).	La presente investigación consistió en utilizar diferentes % de agregado fino en el diseño de la mezcla del concreto permeable para luego ver su influencia en sus propiedades físicas y propiedades mecánicas.	% de agregado fino	0% de agregado fino	De razón
				5% de agregado fino	
				10% de agregado fino	
				15% de agregado fino	
				20% de agregado fino	
<b>Variables dependientes:</b>  Propiedades físicas del concreto permeable	Las propiedades físicas del concreto permeable se determinan a partir de las características estructurales de su composición, las cuales pueden observarse y cuantificarse. Estas propiedades se identifican mediante procesos de medición directa y observación (Loza y Machacca, 2022).	Diseñadas las mezclas del concreto permeable con 0%, 5%, 10%, 15% y 20% de agregado fino, estos en estado endurecido fueron sometidos a ensayos para determinar el coeficiente de permeabilidad mediante el uso de un permeámetro de carga variable y la tasa de infiltración utilizando el anillo de infiltración.	Coeficiente de permeabilidad del concreto permeable  Tasa de infiltración del concreto permeable	Velocidad de paso del agua a través del concreto permeable en cm/s	De razón
				Velocidad de infiltración del agua en la superficie del concreto permeable en mm/h	De razón
				Propiedades mecánicas del concreto permeable	Las propiedades mecánicas del concreto permeable están relacionadas con su habilidad para resistir la acción de fuerzas aplicadas de forma repentina, las cuales suelen presentarse como impactos o cargas de corta duración (Kanashiro y Monzón, 2020).
Módulo de rotura medido en kg/cm <sup>2</sup>	De razón				

*Nota.* Presenta la definición conceptual y operacional de las variables consideradas en la investigación. Elaboración propia.

### **III. Marco teórico**

#### **3.1. Antecedentes**

##### **3.1.1. A nivel internacional**

Hung et al. (2021) desarrollaron la investigación, llevado a cabo en Corea, tuvieron como propósito identificar las variaciones en los coeficientes de porosidad y permeabilidad cuando se modificaban las proporciones de mezcla de agregados, y determinar cuál de ellas satisfacía los parámetros establecidos de resistencia a la compresión definidos por normativas locales. En función de ello, se formularon mezclas de hormigón permeable con relación a/c de 0.3, utilizando cemento portland y un aditivo superplastificante. Se evaluaron tres proporciones de mezcla: Mix 1, Mix 2 y Mix 3. Los resultados mostraron que, al aumentar la proporción de agregados finos, la porosidad disminuyó de 22.2 % a 11.6 %, y la permeabilidad de 2.72 mm/s a 0.16 mm/s. En contraste con la resistencia a la compresión que incrementó, alcanzando un máximo de 18.4 MPa con Mix 3, lo que permitió su aplicación en aceras y ciclovías sin necesidad de considerar cargas vehiculares pesadas. Llegaron a la conclusión que la proporción de agregados tuvo influencia significativa en la estructura del hormigón permeable, así como también en sus propiedades físicas y mecánicas.

Cervantes Cárdenas (2020) desarrolló la investigación, cuyo objetivo fue evaluar la factibilidad del concreto permeable en pavimentos para tráfico liviano, considerando beneficios ambientales y económicos. A través de un enfoque cuantitativo y correlacional, elaboró 50 dosificaciones de mezcla según la norma ACI 522R-10. Entre sus conclusiones destacó que disminuir los vacíos favorece el incremento de la resistencia, el concreto permeable representa una opción más rentable que el convencional y el uso de aditivos mejora el desempeño mecánico. Asimismo, los diseños evaluados demostraron capacidad de drenaje frente a intensidades de lluvia significativas, lo que respalda su aplicabilidad en contextos urbanos.

Caballero et al. (2019) desarrollaron la investigación, cuyo objetivo fue diseñar mezclas de concreto poroso para estructuras de pavimento rígido, comparando el

comportamiento de mezclas con y sin agregado fino, garantizando que cumplan con los requisitos normativos de resistencia. La investigación se estructuró en tres fases: en la primera, se realizaron estudios preliminares y ensayos a materiales como grava, arena y cemento, siguiendo normas técnicas colombianas (NTC). En la segunda fase, se elaboraron distintas mezclas con niveles de porosidad de 0% a 35%, tanto con agregado fino como sin él, y se aplicaron aditivos acelerantes. Posteriormente, se evaluó la resistencia a la compresión (NTC 673), la resistencia a la flexión (NTC 2871) y la permeabilidad, a edades de 7, 14 y 28 días. En la tercera fase se analizaron los resultados, destacando que las mezclas compuestas con agregado fino alcanzaron una resistencia de  $f_c = 21$  MPa en un 80.5% a los 7 días y en un 100% a los 14 días, lo que demuestra un buen desempeño para su uso en pavimentos. En cambio, las mezclas sin agregado fino solo alcanzaron ese nivel de resistencia en un 29.9% a los 14 días y en un 39.52% a los 28 días. Además, se observó que, a medida que la porosidad aumenta, la resistencia a la flexión disminuye.

Debnath y Sarkar (2019) publicaron el artículo, cuyo propósito fue analizar la relación entre la estructura de poros y la conductividad hidráulica del hormigón poroso, utilizando ladrillo quemado como material granular grueso, como alternativa frente a la escasez de materiales granulares convencionales. En el estudio se evaluó la influencia de variables como la dimensión de los materiales granulares gruesos, la adición de material granular fino (10%, 15% y 20%) y la cantidad de agua por unidad de cemento sobre la permeabilidad y porosidad del hormigón. Los materiales granulares de ladrillo fueron recolectados de una industria local y clasificados en cinco gradaciones distintas. Los resultados mostraron que la inclusión del material granular fino mejoró la trabazón con las partículas, incrementando la capacidad mecánica a compresión de las mezclas. Sin embargo, este aumento de resistencia estuvo acompañado por una disminución en la permeabilidad: con un 10% de material granular fino se tuvo 0.97 cm/s de coeficiente de permeabilidad, mientras que con 20% se redujo a 0.60 cm/s. Se concluyó que el material

granular fino ayuda a rellenar los vacíos en la mezcla, favoreciendo la resistencia estructural, pero disminuyendo el potencial de infiltración del hormigón permeable.

Guamán Zambrano (2019) desarrolló el estudio, con el objetivo de elaborar una propuesta experimental de pavimento permeable para estacionamientos de vehículos livianos. La investigación se enmarcó dentro del enfoque cuantitativo y fue de naturaleza experimental, desarrollándose 27 diseños de mezcla con concreto permeable, cada uno utilizando agregados con propiedades diferenciadas: piedra triturada (angular) de 3/8" y 3/4", y piedra bola (canto rodado) de 3/4", provenientes de las canteras Tuco León y Beltrán. Se trabajaron tres niveles de vacíos: 15%, 17% y 19%. Los ensayos de capacidad mecánica a compresión arrojaron valores entre 7.64 y 12.45 MPa, dependiendo del tipo de agregado. Las mezclas con piedra bola presentaron mayor permeabilidad (1280.23 a 1993.14 L/m<sup>2</sup>/min) y porosidad (28.70% a 35.82%), mientras que las de piedra triturada de 3/8" presentaron menor permeabilidad, pero mejores resistencias mecánicas. Finalmente, se propuso como mezcla óptima la dosificación con piedra triturada de 3/8", 15% de vacíos y una relación a/c de 0.35, arrojando como resultado una resistencia de 10.92 MPa, acompañada de una permeabilidad significativa de 645.46 L/m<sup>2</sup>/min y una porosidad de 26.66%.

### **3.1.2. A nivel nacional**

Peralta y Huamolle (2023) realizaron una investigación cuyo objetivo principal fue determinar la influencia de la adición de agregado fino y piedra chancada huso 67, provenientes de la cantera Arunta, en las propiedades del concreto permeable destinado a vías urbanas en Tacna. Dentro del enfoque experimental adoptado, se priorizó el estudio del comportamiento mecánico del material y su capacidad de infiltración. Se elaboraron tres tipos de mezcla: DPH0 (0%), DPH10 (10%) y DPH20 (20%) de contenido de agregado fino, cada una con 3 repeticiones. Los especímenes fueron evaluados a los 7, 14 y 28 días para observar la evolución del desempeño estructural. La mezcla más favorable fue DPH20, que alcanzó un valor de 173.68 kg/cm<sup>2</sup> (17.03 MPa) al día 28. El valor estimado fue de 34.26 kg/cm<sup>2</sup>. En cuanto a la permeabilidad, se aplicó el procedimiento establecido

en la norma ACI 522R-10. Los coeficientes obtenidos fueron: 0.217 cm/s para DPH0, 0.149 cm/s para DPH10 y 0.139 cm/s para DPH20, evidenciando una reducción progresiva en la capacidad de infiltración conforme aumentó el contenido de agregado fino.

Loza y Machacca (2022) realizaron la investigación, con el objetivo de analizar cómo influyen el tipo de cemento (IP y HE) y las granulometrías de los agregados en las propiedades del concreto poroso. Se elaboraron 12 combinaciones de mezcla con diferentes husos (89, 7 y 67) y contenidos de agregado fino (5% y 15%), evaluando resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, permeabilidad y tasa de infiltración. Los resultados indicaron que la mezcla HE 67 15% obtuvo la mayor capacidad mecánica a compresión (21.596 MPa) y la HE 7 15% la mayor capacidad mecánica a flexión (4.989 MPa), debido a la reducción de porosidad por efecto del agregado fino. En contraste, las propiedades hidráulicas disminuyeron con el aumento del agregado fino, siendo los valores más altos de permeabilidad (18.33 mm/s) e infiltración (9409.42 mm/h) registrados en las dosificaciones con 5% de agregado fino.

Jacinto Aquino (2021) llevó a cabo el estudio, cuyo objetivo fue evaluar la influencia del contenido de agregado fino (0%, 5%, 10%, 15% y 20%) y el aditivo plastificante SikaCem, en distintas proporciones 250 ml y 500 ml, en las propiedades mecánicas e hidráulicas del concreto permeable. El estudio fue de tipo experimental con enfoque cuantitativo, y se elaboraron 15 diseños de mezcla. Se efectuaron ensayos de resistencia a la compresión en probetas cilíndricas a 7, 14 y 28 días, resistencia a la flexión en vigas prismáticas a 7 y 28 días, y permeabilidad en probetas a los 28 días. Los resultados evidenciaron que el aumento del agregado fino incrementa significativamente la capacidad mecánica a compresión y flexión, alcanzando el mayor valor en 20% de agregado fino y 500 ml de aditivo (213.7 kg/cm<sup>2</sup>). Sin embargo, se concluyó que el uso de aditivo no garantiza una mejora constante, ya que su efecto depende de la combinación con el porcentaje de agregado fino. Asimismo, se evidenció que la resistencia a la flexión también mejora a diferencia de la permeabilidad que disminuye.

Mamani y Huayna (2021) llevaron a cabo la investigación, con el objetivo de evaluar el concreto permeable como solución de drenaje en pavimentos. La investigación fue de tipo transversal, con nivel descriptivo y enfoque cuantitativo. Se utilizaron agregados procedentes de la cantera Cutimbo, cemento Portland tipo IP y se elaboraron tres mezclas con 0%, 10% y 20% de agregado fino, manteniendo constante el diámetro del agregado grueso (3/4"). Se ensayaron 9 muestras para compresión y 9 para permeabilidad, todas evaluadas a los 31 días. Los resultados mostraron que, al incrementar el contenido de agregado fino, la resistencia a la compresión aumentó, alcanzando un valor máximo de 148.967 kg/cm<sup>2</sup> con 20% de agregado fino. En contraste, la permeabilidad disminuyó progresivamente desde 0.290 cm/s (0%) hasta 0.161 cm/s (20%), confirmando que el agregado fino reduce la capacidad de infiltración al rellenar los vacíos en la mezcla.

Kanashiro y Monzón (2020) realizaron la tesis, cuyo objetivo fue establecer el porcentaje óptimo de agregado fino que permita equilibrar las propiedades mecánicas e hidráulicas del concreto permeable. La tesis fue de enfoque cuantitativo, nivel descriptivo-correlacional y diseño experimental. Se elaboraron briquetas con agregados provenientes de Cunyac, Pisac y Vicho, con proporciones de agregado fino de 0%, 5%, 10%, 15% y 20%, usando una relación a/c de 0.37 y 0.7% de aditivo plastificante. Las muestras fueron ensayadas a los 28 días para resistencia a la compresión, flexión y permeabilidad. Los datos expusieron que la resistencia a la compresión aumentó progresivamente desde 81.64 kg/cm<sup>2</sup> (0%) hasta 288.16 kg/cm<sup>2</sup> (20%), y la resistencia a la flexión creció de 19.35 kg/cm<sup>2</sup> a 39.71 kg/cm<sup>2</sup> en el mismo rango. En cambio, la permeabilidad disminuyó conforme aumentó el contenido de agregado fino, pasando de 1.685 cm/s (0%) a 0.089 cm/s (20%). Se determinó que el agregado fino mejora significativamente la capacidad mecánica mecánico del concreto permeable, pero reduce su potencial de infiltración, por lo que su incorporación debe ser optimizado conforme al uso previsto.

Villanueva Quispe (2020) desarrolló la investigación, con el objetivo de analizar cómo influye la adición de agregado fino en las propiedades del concreto permeable. El estudio fue de tipo experimental y utilizó gravilla de 1/2" y arena gruesa provenientes de la

cantera El Milagro. Se elaboraron mezclas con 0%, 5%, 10% y 15% de agregado fino, con relación a/c de 0.35 y 15% de vacíos. Se evaluó la resistencia a la compresión, flexión y permeabilidad a los 28 días. Los datos obtenidos mostraron que, al aumentar el contenido de agregado fino, mejoraron las resistencias mecánicas: la compresión pasó de 118.46 kg/cm<sup>2</sup> (0%) a 207.56 kg/cm<sup>2</sup> (15%), y la flexión de 21.08 kg/cm<sup>2</sup> a 32.50 kg/cm<sup>2</sup>. Sin embargo, la permeabilidad disminuyó de 0.316 cm/s a 0.218 cm/s. Se concluyó que el agregado fino aporta significativamente a la resistencia, pero reduce la capacidad de flujo del agua dentro del concreto.

### ***3.1.3. A nivel regional y local***

No existen investigaciones a nivel regional y local que determinen la influencia de la adición del agregado fino en las propiedades físicas y mecánicas del concreto permeable.

## **3.2. Bases teóricas**

### ***3.2.1. El concreto permeable***

Como señala ACI 522R-10 (2010) el concreto permeable emplea una mezcla de baja trabajabilidad conformada por materiales de distribución granulométrica abierta, en la que predominan, el agregado grueso, aditivos específicos, el agua, el cemento portland y una proporción muy reducida o incluso nula de agregado fino. Esta configuración genera una matriz sólida con vacíos conectados internamente, cuyas dimensiones varían entre 2 y 8 milímetros (equivalente a 0.08 a 0.32 pulgadas), permitiendo una circulación eficiente del agua en su interior.

### ***3.2.2. Aplicaciones del concreto permeable***

Gracias a sus propiedades para facilitar el flujo del agua dentro de su matriz interna, el concreto con capacidad de infiltración ha sido incorporado en diversos contextos. Es común su uso en zonas con tránsito moderado, tales como senderos peatonales, ciclovías, veredas, jardines y áreas destinadas al estacionamiento. También se implementa en superficies exteriores de establecimientos de uso público, donde se busca controlar la acumulación de agua. En ambientes agrícolas o de crianza, contribuye al adecuado drenaje

de superficies expuestas a humedad constante. En obras viales, puede servir como base estructural en caminos secundarios o vías de acceso. Asimismo, se utiliza en pisos o paredes que requieren aislamiento térmico o reducción del ruido, así como en espacios destinados al lavado de vehículos. Su estructura ligera y su capacidad de regulación hídrica también lo hacen útil en componentes verticales o en sistemas que requieren almacenamiento térmico o conducción de agua bajo control (Kanashiro y Monzón, 2020).

### **3.2.3. Materiales del concreto permeable**

#### **3.2.3.1. Agregado grueso**

De acuerdo con la ACI 522R-10 (2010), los agregados usados para la producción del concreto con capacidad de infiltración suelen tener una granulometría relativamente gruesa, comprendida generalmente entre tamaños de 19 mm (3/4") y 9.5 mm (3/8"). Estos pueden pertenecer a una única fracción o combinarse dentro de ese rango. Las clasificaciones granulométricas más comunes para este tipo de agregado están especificadas en la norma ASTM C33/C33M. Se utilizan tanto agregados con forma redondeada como aquellos de geometría angular, ya sean tradicionales o de peso reducido.

#### **3.2.3.2. Agregado fino**

Según Jacinto Aquino (2021) este agregado puede estar compuesto por arena extraída directamente de depósitos naturales, arena procesada o una mezcla de ambas, respetando los parámetros especificados por la NTP 400.037, este tipo de agregado se caracteriza por pasar a través del tamiz de 9.5 mm (3/8") y ser atrapado en el tamiz N.º 200 (74 µm).

#### **3.2.3.3. Cemento**

Según Kanashiro y Monzón (2020) el cemento tiene propiedades aglomerantes, es finamente molido compuesto de mezcla calcinada de piedra caliza y arcilla al que se añade una porción de yeso. Al mezclarse con una porción adecuada de agua, forma la pasta, que rigidiza tanto en contacto con el aire como bajo inmersión en agua.

#### **3.2.3.4. Agua**

Según ACI 522R-10 (2010) el agua destinada a crear concretos permeables debe seguir con las mismas condiciones de calidad aplicables al concreto tradicional. Debido a que este material requiere una cantidad reducida de agua respecto al cemento normalmente en el intervalo de 0.26 a 0.40, un exceso en su dosificación podría generar el desprendimiento de la pasta, afectando la conectividad de los poros. Por ello, es esencial llevar un control preciso sobre el contenido de agua en el proceso constructivo.

#### **3.2.3.5. Aditivos**

Según lo indicado en la ACI 522R-10 (2010), los compuestos diseñados para disminuir la incorporación de agua en la mezcla deben cumplir con los requisitos establecidos en la norma ASTM C494/C494M. La elección entre reductores de rango medio o alto dependerá directamente de la relación agua-cemento utilizada. Además, es habitual el uso de aditivos con efecto retardante, los cuales permiten regular la velocidad de hidratación del cemento y optimizar la trabajabilidad de la mezcla fresca.

### ***3.2.4. Propiedades físicas del concreto permeable***

#### **3.2.4.1. Coeficiente de permeabilidad**

Según Ore y Portillo (2019) la fundamental característica del concreto permeable es el potencial de infiltración de agua a través de su estructura, la cual se calcula según la norma ACI 522R-10. Esta permeabilidad está asociada de forma directa con la cantidad de vacíos presentes. Investigaciones y ensayos realizados por diferentes autores han demostrado que se necesita como mínimo un porcentaje de vacíos del 15% para lograr capacidades significativas de permeabilidad.

#### **3.2.4.2. Tasa de infiltración**

Según Loza y Machacca (2022) la tasa de infiltración es el volumen máximo de agua que el material permite ingresar a través de su estructura por cada unidad de superficie, reflejando su eficiencia hidráulica.

La tasa de infiltración mide la velocidad con la que el agua se introduce en la parte superior del concreto permeable, lo cual es fundamental para evitar encharcamientos y facilitar un drenaje superficial adecuado durante eventos de precipitación intensa.

### **3.2.5. Propiedades mecánicas del concreto permeable**

#### **3.2.5.1. Resistencia a la compresión**

Según Loza y Machacca (2022), la medición de la capacidad del concreto se lleva a cabo aplicando una carga axial creciente sobre especímenes cilíndricos permeables hasta que se produce su falla. Esta resistencia se calcula dividiendo la carga máxima soportada entre el área del extremo del cilindro. Se evalúa generalmente a los 28 días de curado, y se expresa en unidades como MPa o kg/cm<sup>2</sup>, de acuerdo con las normas establecidas en la NTP 339.034 y su similar internacional, la ASTM C39. Para obtener resultados confiables, es necesario tomar en cuenta diversos factores, entre ellos el método de moldeo, el proceso de mezclado, la forma y el tamaño de los especímenes, el tiempo de curado, la proporción de los materiales, la técnica de muestreo, así como las condiciones de humedad, temperatura y grado de compactación.

#### **3.2.5.2. Resistencia a la flexión**

De acuerdo con Loza y Machacca (2022), una de las propiedades más relevantes para evaluar el comportamiento estructural del concreto permeable es su resistencia a la flexión, la cual se expresa mediante el módulo de rotura. Este parámetro refleja la capacidad del material para resistir tensiones de tracción cuando es sometido a cargas flexionantes. Para obtener resultados confiables, se aplican los procedimientos establecidos en estándares técnicos como la norma americana ASTM C78 y su equivalente nacional, la NTP 339.078. Ambas normas definen las condiciones y metodologías necesarias para realizar el ensayo de flexión en vigas de concreto, especificando dimensiones, condiciones de carga y criterios de aceptación. Los resultados obtenidos se expresan generalmente en kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm<sup>2</sup>) o megapascales (MPa).

### **3.2.6. Procedimiento de diseño del concreto permeable**

#### **3.2.6.1. Introducción**

El concreto permeable forma parte de una innovadora solución en la infraestructura de obras que facilita el ingreso del agua mediante los vacíos del material. Para lograr un concreto permeable de alta calidad y durabilidad, es esencial seguir un procedimiento dado por la norma ACI 522R-10.

#### **3.2.6.2. Materiales**

Según ACI 522R-10 (2010), los agregados gruesos que se utilizan en el concreto permeable cumplen con los tamaños establecidos en la norma ASTM C33/C33M, entre los que se encuentran las gradaciones N° 67 (de 3/4" a N.º 4), N° 7 (de 1/2" a N.º 4), N° 8 (de 3/8" a N.º 8) y N° 89 (de 3/8" a N.º 16). La mezcla base de este tipo de concreto está conformada por agua, cemento y agregado grueso. En ciertos casos, se incorpora una pequeña fracción de agregado fino con el fin de optimizar su comportamiento frente a cargas de compresión.

#### **3.2.6.3. Relación a/c**

Según norma ACI 522R-10 (2010), controlar la proporción (a/c) es fundamental para obtener una mezcla de concreto permeable que cumpla tanto con los requisitos de soporte ante carga axial como con una adecuada porosidad. En la práctica, se ha demostrado que mantener esta proporción entre 0.26 y 0.45 permite un recubrimiento efectivo del agregado y asegura la uniformidad de la pasta. Por otro lado, cuando la relación a/c es demasiado baja, la mezcla pierde trabajabilidad, se generan aglomeraciones dentro de la mezcladora y la mezcla cementosa pierde homogeneidad, lo que compromete tanto la durabilidad como la capacidad portante del concreto. En contraste, una proporción a/c excesiva reduce la unión entre la matriz cementicia y los agregados, facilitando que la mezcla se desplace y obstruya los vacíos, incluso bajo una compactación ligera.

#### **3.2.6.4. Porcentaje de vacíos**

De acuerdo con ACI 522R-10 (2010) para asegurar que el agua se infiltre a través de las superficies permeables del concreto, el contenido de huecos debe ser del 15% o

más. Se considera que debajo de 15% de vacíos, existe carencia de interconectividad entre los huecos para facilitar una rápida infiltración.

#### **3.2.6.5. Cantidad de agregado grueso**

Según ACI 522R-10 (2010) los ensayos han evidenciado que la densidad seca compactada del agregado grueso, como se determina por ASTM C29/C29M, tiene aplicación efectiva en la formulación de mezclas destinadas a concreto permeable.

#### **3.2.7. Ensayos de los agregados**

##### **3.2.7.1. Contenido de humedad total evaporable NTP 339.185**

La NTP 339.185 (2013/2018) indica que para calcular cuánta agua puede eliminarse por evaporación en una porción de agregado fino o grueso, se emplea un procedimiento de secado descrito en esta norma. Este método permite identificar la humedad total presente en el material, tanto la que recubre su superficie como la contenida en sus poros. No obstante, el análisis excluye el agua que permanece unida a los componentes minerales del agregado, ya que dicha fracción no es susceptible de evaporación y, por tanto, no forma parte del resultado obtenido.

#### **Instrumentos:**

Según NTP 339.185 (2013/2018) se utiliza: balanza, puente de calor, recipiente para la muestra y revolvedor.

#### **Muestreo:**

Reducir y homogeneizar la muestra según lo establecido en la NTP 400.043.

La porción de la muestra no deberá ser menor a la establecida en la Tabla 2, y esta deberá representar de manera confiable el contenido de humedad del material procedente de la fuente que se encuentra en análisis. La muestra deberá protegerse contra la pérdida de humedad antes de determinar su masa (NTP 339.185, 2013/2018).

**Tabla 2***Tamaño de la muestra del agregado para contenido de humedad*

<b>Tamaño máximo nominal de agregado mm (pulg)</b>	<b>Masa mínima de la muestra de peso normal en kg</b>
4.75 (0.187) (N°4)	0.5
9.5 (3/8)	1.5
12.5 (1/2)	2.0
19.0 (3/4)	3.0
25.0 (1)	4.0
37.5 (1 ½)	6.0
50.0 (2)	8.0
63.0 (2 ½)	10.0
75.0 (3)	13.0
90.0 (3 ½)	16.0
100.0 (4)	25.0
150.0 (6)	50.0

*Nota.* Tabla adaptada de NTP 339.185, 2013, Ed. Rev. 2018, p. 5

**Procedimiento:**

Según NTP 339.185 (2013/2018) el procedimiento es el siguiente:

- Establecer la masa de la muestra asegurando una exactitud del 0.1%.
- Se debe aplicar el calor previamente establecido para garantizar que la muestra se seque por completo dentro de su contenedor, procurando evitar cualquier pérdida de material debido al desprendimiento de partículas. Un proceso de secado excesivamente rápido puede provocar la ruptura o explosión de ciertas partículas, lo que conllevaría a una disminución en la masa de la muestra. En aquellos casos donde una temperatura elevada pueda modificar las propiedades físicas del agregado o cuando se requiera mayor exactitud en la determinación del contenido de humedad, se aconseja utilizar un horno con regulación térmica.
- Para acelerar el secado al emplear una cocina o plancha como fuente de calor, puede recurrirse a un procedimiento auxiliar que consiste en agregar alcohol anhidro hasta cubrir la muestra con humedad residual. Una vez añadido, se debe mezclar de forma uniforme y esperar a que los sólidos decanten al fondo.

Posteriormente, se extrae cuidadosamente la mayor cantidad posible del alcohol, asegurándose de no eliminar fragmentos del material. El alcohol restante debe encenderse, y su combustión controlada permitirá completar el proceso de secado directamente sobre la superficie caliente.

- El estado de secado adecuado se alcanza cuando el efecto de aplicar más calor no implica una disminución significativa del peso, siendo esta menos a 0.1%.
- Luego de asegurar que la muestra esté totalmente seca y suficientemente fría para no comprometer la precisión del equipo, se determinará su peso con un nivel de aproximación del 0.1%.

### 3.2.7.2. Análisis granulométrico del agregado fino y grueso NTP 400.012

La NTP 400.012 (2013/2018) establece el método para analizar la granulometría del tamaño de partículas en materiales granulares, ya sean finos, gruesos o combinados, utilizando el procedimiento de análisis por tamizado.

#### **Instrumentos:**

Según NTP 400.012 (2013/2018) se utiliza: balanzas, tamices, agitador mecánico de tamices y Horno.

#### **Muestreo:**

Reducir y homogeneizar la muestra según lo establecido en la NTP 400.043.

Se utilizará una porción mínima de 300 g de agregado fino ya seco. Para el agregado específicamente grueso, la cantidad se ajustará a los criterios establecidos en la Tabla 3.

#### **Tabla 3**

*Cantidad mínima de la muestra de agregado grueso para análisis granulométrico*

<b>Tamaño máximo nominal aberturas cuadradas mm (pulg)</b>	<b>Cantidad de la muestra de ensayo, mínimo kg (lb)</b>
9.5 (3/8)	1 (2)
12.5 (1/2)	2 (4)
19.0 (3/4)	5 (11)
25.0 (1)	10 (22)

<b>Tamaño máximo nominal aberturas cuadradas mm (pulg)</b>	<b>Cantidad de la muestra de ensayo, mínimo kg (lb)</b>
37.5 (1 1/2)	15 (33)
50 (2)	20 (44)
63 (2 1/2)	35 (77)
75 (3)	60 (130)
90 (3 1/2)	100 (220)
100 (4)	150 (330)
125 (5)	300 (660)

*Nota.* Tabla adaptada de NTP 400.012, 2013, Ed. Rev. 2018, p. 12

**Procedimiento:**

Según NTP 400.012 (2013/2018) el procedimiento es el siguiente:

- La muestra debe ser secada hasta alcanzar peso sin variaciones a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- Se deberán elegir tamices con aberturas adecuadas que permitan obtener los datos necesarios por las especificaciones correspondientes al material a analizar. En algunos casos, será necesario incorporar tamices adicionales para calcular parámetros como el índice que representa el tamaño medio de las partículas del agregado o para controlar el total de material retenido en un determinado tamiz. Los tamices se deben colocar en orden descendente según el tamaño de abertura, desde la parte superior (tapa) hacia la base, depositando la muestra sobre el tamiz más alto. La operación de tamizado se puede realizar manualmente o con un equipo mecánico, durante un tiempo suficiente previamente establecido por experiencia o mediante verificación directa con la muestra en ensayo.
- Para favorecer una clasificación efectiva, se recomienda no sobrecargar los tamices, permitiendo así que cada partícula interactúe adecuadamente con las aberturas a lo largo del tamizado.
- El procedimiento de tamizado deberá prolongarse el tiempo necesario hasta garantizar que el material que atraviesa un tamiz específico no represente más del 1% del total de masa retenida en dicho tamiz.

- Se debe pesar cada una de las fracciones retenidas utilizando una balanza con una precisión que no difiera más del 0.1% respecto al peso registrada al inicio del ensayo. Posteriormente, se debe verificar que la suma de estas masas coincida con la masa total de partida. Si la diferencia excede el 0.3 %, los datos obtenidos no serán considerados válidos para su aceptación.

### 3.2.7.3. Peso específico y absorción del agregado grueso NTP 400.021

Según NTP 400.021 (2013/2018) establece el procedimiento para cuantificar la densidad específica, el % de absorción de agua y la densidad promedio de las partículas que conforman el agregado grueso (excluyendo los huecos entre partículas).

#### Instrumentos:

Según NTP 400.021 (2013/2018) se utiliza: balanza, recipiente para muestra, tanque de agua, tamices y estufa.

#### Muestreo:

Se debe descartar cualquier material que atraviese el tamiz con abertura de 4.75 mm (tamiz N°4), realizando una separación en seco. Posteriormente, el agregado debe ser sometido a un lavado minucioso con el propósito de remover partículas finas adheridas o recubrimientos superficiales (NTP 400.021, 2013/2018).

La cantidad de muestra que se debe emplear en el ensayo se ve en la Tabla 4.

**Tabla 4**

*Masa mínima de muestra para peso específico y absorción del agregado grueso*

<b>Tamaño máximo nominal mm (pulg)</b>	<b>Masa mínima de muestra de ensayo kg (lb)</b>
12,5 ( ½ ) o menor	2 (4,4)
19,0 ( ¾ )	3(6,6)
25,0 ( 1 )	4 (8,8)
37,5 ( 1 ½ )	5(11)
50 ( 2 )	8(18)
63 ( 2 ½ )	12(26)
75 (3)	18(40)
90 (3 ½ )	25(55)
100 (4)	40(88)

Tamaño máximo nominal mm (pulg)	Masa mínima de muestra de ensayo kg (lb)
125 (5)	75(165)

*Nota.* Tabla adaptada de NTP 400.021, 2013, Ed. Rev. 2018, p. 9

**Procedimiento:**

Según NTP 400.021 (2013/2018) el procedimiento es el siguiente:

- La muestra de ensayo debe ser secada en horno hasta alcanzar masa invariable, manteniéndola a un nivel térmico de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ . Una vez cumplido este proceso, el agregado debe ser sumergido en agua a temperatura natural del entorno en un tiempo de 24 horas, con una tolerancia de  $\pm 4$  h.
- Debe extraerse la muestra del agua e inducir el giro cuidadosamente encima de un trapo absorbente grande hasta eliminar toda el agua superficial visible. Las partículas de mayor tamaño deben ser secadas de manera individual. Para facilitar este proceso, puede emplearse un flujo de aire controlado. Es importante evitar que, durante este procedimiento, se elimine el agua almacenada en los poros del agregado por medio de la evaporación. Finalmente, se debe registrar la masa de la muestra en condición de SSS.
- Tras obtener el peso en condición de SSS, se debe sumergir de forma inmediata en el recipiente con el fin de obtener su peso bajo el agua a una temperatura de  $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ . Durante este procedimiento, se debe tener especial precaución de remover cualquier burbuja de aire mediante movimientos suaves del contenedor, garantizando así una lectura precisa.
- La muestra debe ser colocada en una estufa y secada a una temperatura natural del entorno hasta que su peso permanezca constante. Posteriormente, se dejará al aire para que enfrié a temperatura del entorno por un tiempo de 1 a 3 horas, o hasta alcanzar una temperatura adecuada que permita su manipulación segura. Una vez enfriada, se procederá a registrar su peso.

#### **3.2.7.4. Gravedad específica y absorción del agregado fino NTP 400.022**

La NTP 400.022 (2013/2018) proporciona un método estandarizado para calcular la densidad del agregado fino, sin considerar los vacíos entre ellas. Además, contempla la determinación de la absorción y su gravedad específica.

##### **Instrumentos:**

Según NTP 400.022 (2013/2018) se utiliza: balanza, picnómetro, frasco, molde, barra compactadora y estufa.

##### **Preparación de la muestra:**

Según NTP 400.022 (2013/2018) la elaboración es:

La muestra debe colocarse en un recipiente apropiado y secarse en estufa hasta alcanzar una masa constante, manteniendo una temperatura controlada de  $110\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ . Una vez seca, se debe dejar enfriar hasta que el material pueda manipularse sin riesgo. Posteriormente, se procede a humedecer el agregado fino mediante inmersión completa o mediante adición progresiva de agua, hasta alcanzar un nivel mínimo de humedad del 6 %. Finalmente, el material debe reposar durante un intervalo de  $24 \pm 4$  horas.

Quitar cuidadosamente el exceso de agua para no perder las partículas finas. Luego, distribuir la muestra en una superficie que sea plana e impermeable, sometida a un leve flujo de aire caliente, agitándola con frecuencia para asegurar un secado uniforme. Si se considera necesario, se pueden emplear equipos mecánicos como mezcladores o agitadores para facilitar que el agregado alcance una condición de saturación superficialmente seca. Continuar con este procedimiento hasta que la muestra adquiera una textura de flujo libre.

Colocar el molde de manera firme sobre una superficie lisa e impermeable, asegurándose de que el extremo de mayor diámetro esté orientado hacia abajo. Introducir agregado fino suelto parcialmente seco hasta llenar completamente el molde, dejando un pequeño exceso de material por encima del borde, el cual debe ser sostenido con los dedos de la mano que estabiliza el molde. Compactar suavemente el agregado aplicando 25 golpes con la varilla compactadora, iniciando cada uno desde aproximadamente 5 mm por

encima del nivel del material. Permitir que la barra caiga libremente con el peso de la gravedad. Después de cada impacto, reajustar la superficie del agregado y distribuir uniformemente los golpes. Limpiar cualquier exceso de material en la base y retirar el molde de forma vertical. Cuando el contenido de humedad superficial aún está presente, el agregado fino mantiene su configuración original sin colapso. No obstante, una disminución leve en la altura de la muestra representa un indicio de que se ha logrado la condición de superficie seca al tacto.

**Procedimiento gravimétrico (picnómetro):**

Según NTP 400.022 (2013/2018) el procedimiento es el siguiente:

- Primero, se llena el picnómetro con una cantidad parcial de agua. Luego, se introduce cuidadosamente  $500 \pm 10$  gr de agregado fino en condición SSS. A continuación, se añade más agua hasta alcanzar cerca del 90% de la capacidad total del picnómetro. Finalmente, se agita suavemente o se invierte el recipiente con el fin de garantizar la remoción del aire atrapado visible.
- Después de haber eliminado completamente las burbujas visibles de aire, se procede a estabilizar la temperatura del picnómetro y su contenido a  $23,0\text{ °C} \pm 2,0\text{ °C}$ , lo cual puede lograrse mediante una inmersión parcial en agua que circule. Posteriormente, se completa el llenado del picnómetro hasta su marca de aforo y se determina la masa total del picnómetro con el agregado y el agua.
- Retirar el contenido del picnómetro, separar cuidadosamente el agregado fino y trasladarlo a una estufa con control térmico a  $110\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ , manteniéndolo hasta que alcance una masa estable. Finalizado el secado, se debe dejar enfriar bajo condiciones térmicas ambientales durante un periodo aproximado de 1 hora  $\pm 30$  minutos, para luego proceder con el registro de su masa definitiva.
- Completar el llenado del picnómetro con agua hasta alcanzar su nivel de calibración, asegurando que la temperatura del líquido sea de  $23,0\text{ °C} \pm 2,0\text{ °C}$ , y anotar cuidadosamente su masa.

### **3.2.7.5. Peso unitario y los vacíos en los agregados NTP 400.017**

La NTP 400.017 (2011/2016) regula el procedimiento para obtener la densidad de masa también denominada peso unitario del agregado en estado compactado o suelto, así como la determinación del contenido de vacíos entre partículas. Esta norma es aplicable tanto a agregados finos como gruesos, o a una combinación de ambos, siempre que su tamaño nominal máximo no supere los 125 mm.

#### **Instrumentos:**

Según NTP 400.017 (2011/2016) se utiliza: balanza, varilla de apisonado, recipiente, pala o cucharón.

#### **Muestreo:**

Reducir y homogeneizar la muestra según lo establecido en la NTP 400.043.

#### **Preparación de la muestra:**

Según NTP 400.017 (2011/2016) la muestra debe ser prepara:

La muestra a utilizar deberá tener un volumen aproximado entre el 125 % y 200 % de la capacidad necesaria para llenar el recipiente de ensayo, procurando en todo momento evitar la segregación del material durante su manipulación. El agregado deberá secarse prácticamente hasta alcanzar masa constante, de ser posible secar en estufa a  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

#### **Procedimiento:**

Según NTP 400.017 (2011/2016) el procedimiento es el siguiente:

#### **Apisonado:**

- El procedimiento inicia con verter el recipiente hasta aproximadamente un tercio de su volumen total. Luego, se alisa la superficie del agregado empleando los dedos. Esta primera capa debe ser compactada mediante la aplicación de 25 golpes uniformemente distribuidos, utilizando una varilla de compactación. A continuación, se añade material hasta alcanzar dos tercios de la capacidad del recipiente, repitiendo el proceso de nivelado y apisonado en las mismas condiciones. Finalmente, se completa el llenado con una ligera sobrecarga de agregado, la cual

también debe ser compactada con el mismo número de golpes, asegurando homogeneidad en todas las capas. Para concluir, la superficie del agregado se nivela cuidadosamente utilizando los dedos o una espátula, procurando que las partículas de mayor tamaño queden dispuestas de modo que compensen los vacíos más notorios, sin sobresalir por encima del borde del recipiente.

- Al compactar la primera capa, se debe tener cuidado de no impactar con demasiada fuerza el fondo del recipiente al usar la varilla. Para la compactación de la segunda y tercera capa, es necesario emplear una presión firme, pero sin que la varilla penetre en la capa inferior ya compactada.
- Es necesario obtener la masa del recipiente incluyendo el material y, de forma independiente, la masa del recipiente sin contenido. Ambos registros deben efectuarse con una exactitud de 0.05 kg.

**Peso Suelto:**

- El recipiente debe llenarse hasta el borde utilizando una pala o cucharón, cuidando que el vaciado del agregado no supere la altura de 50 mm sobre el borde superior. Es fundamental manipular el material cuidadosamente para evitar, en la medida de lo posible, la segregación por tamaño de partícula. Posteriormente, se debe nivelar con los dedos o una espátula la superficie del agregado, para que las ligeras protuberancias generadas por partículas más grandes compensen los espacios vacíos visibles por debajo del borde del recipiente.
- Se debe registrar la masa total del conjunto (contenedor más material) y, por separado, el peso del contenedor vacío, asegurando una exactitud de 0.05 kg en ambas mediciones.

**3.2.8. Elaboración y curado del concreto en el laboratorio**

Según NTP 339.183 (2013/2018) especifica el método para preparar y curar muestras de concreto en laboratorio, bajo condiciones controladas y con el uso de materiales regulados. El procedimiento incluye el uso de métodos de compactación como el varillado o el vibrado, conforme a lo dispuesto en dicha norma.

**Instrumentos:**

Según NTP 339.183 (2013/2018) se utiliza: moldes cilíndricos, vigas prismáticas, martillo de goma, vibradores, varillas de compactación, cono de Abrams, recipiente de muestreo y mezclado, equipo de tamizado húmedo, aparato de contenido de aire, balanzas, dispositivo para medición de temperatura, mezcladora de concreto.

**Procedimiento:**

Según NTP 339.183 (2013/2018) el procedimiento es el siguiente:

**Elaboración de los especímenes:**

- Moldear los especímenes tan cerca como sea posible del lugar donde se almacenarán las primeras 24 horas. Si no es posible moldear las muestras donde serán almacenadas, se deberán trasladar al lugar de almacenamiento inmediatamente después de ser obtenidas. Colocar los moldes sobre una base sólida y estable libre de vibraciones y otras perturbaciones.
- Transferir la mezcla de concreto en los moldes con ayuda de cucharón. Obtener cada cucharón colmada de concreto del recipiente de mezcla de tal manera que asegure que sea representativo de la tanda. Girar el cucharón alrededor del borde superior del molde mientras el concreto es descargado con el fin de asegurar una distribución simétrica del concreto y minimizar la segregación del agregado grueso dentro del molde. Además, se deberá distribuir bien el concreto con la varilla compactadora antes que sea consolidado. En la capa final, el operario deberá incorporar una porción del material cementicio que, tras ser compactado adecuadamente, complete exactamente el volumen del molde, sin excedentes ni faltantes.
- Preparar especímenes en capas tal como indica la Tabla 5.

**Tabla 5**

*Cantidad uniforme de capas por espécimen para compactación del concreto*

<b>Tipo y tamaño de espécimen mm (pulg)</b>	<b>Modo de consolidación</b>	<b>Cantidad uniforme de capas</b>
<b>Cilindros diámetro en mm (pulg)</b>		
75 a 100 (3 o 4)	Varillado	2
150 (6)	Varillado	3
225(9)	Varillado	4
Hasta de 225 (9)	vibración	2
<b>Prismas y cilindros horizontales en mm (pulg)</b>		
Hasta 200(8)	Varillado	2
Más de 200(8)	Varillado	3 o mas
Hasta 200(8)	Vibración	1

*Nota.* Tabla adaptada de NTP 339.183, 2013, Ed. Rev. 2018, p. 18

La NTP 339.183 (2013/2018), indica varillar por capas iguales según la tabla 6.

**Tabla 6**

*Diámetro de varilla y número de varillados para compactación del concreto*

<b>Cilindro</b>		
<b>Diámetro del cilindro mm (pulg)</b>	<b>Diámetro de la varilla mm (pulg)</b>	<b>Numero de golpes/capa</b>
75 (3) a < 150 (6)	10 (3/8)	25
150 (6)	16 (5/8)	25
200 (8)	16 (5/8)	50
250 (10)	16 (5/8)	75

*Nota.* Tabla adaptada de NTP 339.183, 2013, Ed. Rev. 2018, p. 19

Según NTP 339.183 (2013/2018) después de la consolidación por cualquiera de los métodos, enrasar las superficies del concreto alisándolo o emparejándolo de acuerdo con el método correspondiente. Si no se especifica el acabado, rematar la superficie con una plancha de madera o de magnesio.

#### **Curado de los especímenes:**

Según NTP 339.183 (2013/2018) el procedimiento es el siguiente:

- A fin de impedir la evaporación del agua en el concreto en estado inicial de fraguado, los concretos deberán cubrirse inmediatamente después de finalizado el

moldeado, preferiblemente con un material impermeable, no reactivo o con una plancha de plástico resistente y perdurable. Los especímenes serán almacenados inmediatamente después del acabado hasta que se remuevan de los moldes con el fin de evitar la pérdida de humedad.

- Desmoldar los elementos de ensayo después de  $24 \text{ h} \pm 8 \text{ h}$  después del vaciado. Para concreto con tiempo de fraguado prolongado, los moldes no serán trasladados hasta  $20 \text{ h} \pm 4 \text{ h}$  después del fraguado final.
- A menos que se especifique lo contrario, todos los especímenes deberán ser curados con humedad a temperatura de  $23^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ , desde el tiempo de moldeo hasta el momento del ensayo.

### **3.2.9. Ensayos de las propiedades físicas del concreto permeable**

#### **3.2.9.1. Permeabilidad ACI 522R-10**

Según Jacinto Aquino (2021) una de las propiedades fundamentales del concreto permeable es la habilidad que tiene para permitir el flujo del agua por su interior estructural. Esta cualidad de infiltración se evalúa mediante un ensayo de permeabilidad utilizando un permeámetro de carga variable.

#### **Instrumentos:**

Según Jacinto Aquino (2021) se utiliza: permeámetro de carga variable, probeta y cronometro.

#### **Procedimiento:**

Según Jacinto Aquino (2021) el procedimiento es el siguiente:

- Con el fin de impedir la fuga de agua a través de los bordes laterales durante el ensayo, la muestra es recubierta cuidadosamente con una capa del látex u otro material que actúe como barrera impermeable.
- Se introduce agua en el cilindro graduado hasta llenar completamente tanto la celda donde se encuentra la muestra como la tubería destinada a la evacuación.
- La muestra se acondiciona facilitando el paso del agua a través del sistema de evacuación hasta alcanzar el nivel marcado en el cilindro graduado coincida con la

parte superior de la tubería. Este proceso permite eliminar posibles acumulaciones de aire dentro del material y garantiza su saturación completa.

- Con la válvula en posición abierta, se introduce agua en el permeámetro hasta que comience a fluir a través del conducto de salida.
- Una vez cerrada la válvula, se procede a llenar el tubo graduado hasta alcanzar el nivel inicial establecido para el comienzo del ensayo.
- Se procede a abrir la válvula y anotar el tiempo transcurrido, en segundos, que tarda el nivel de agua en descender desde la altura inicial del cabezal  $h_1$  hasta la altura final  $h_2$ .
- La determinación del coeficiente de permeabilidad se realiza aplicando la ecuación de Darcy correspondiente al método de carga variable.

Según Jacinto Aquino (2021) el coeficiente de permeabilidad es:

$$k = \frac{LXa}{tXA} \times \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right) \dots (1)$$

Donde:

K: Coeficiente de permeabilidad, cm/s.

L: Longitud de la muestra, cm.

t: Tiempo que demora en descender la altura de agua en segundos, s.

a: Área del tubo de ensayo,  $\text{cm}^2$ .

A: Área de la muestra de ensayo,  $\text{cm}^2$ .

$h_1$ : Altura inicial de agua en el tubo de la prueba, cm.

$h_2$ : Altura final del agua en el tubo de la prueba, cm.

### 3.2.9.2. Tasa de infiltración ASTM C1701

Según Loza y Machacca (2022) una de las propiedades físicas es la infiltración que permite medir el volumen de agua que pasa los poros de un medio determinado durante un intervalo de tiempo específico. Su unidad de medida puede expresarse en mm/h o in/h. Cuando la intensidad de precipitación supera la capacidad de infiltración del terreno, ocurre escurrimiento superficial.

**Instrumentos:**

Según ASTM C1701 (2017) se utiliza: anillo de infiltración, balanza, contenedor, cronometro, masilla de plomería y agua.

**Procedimiento:**

Según ASTM C1701 (2017) el procedimiento es el siguiente:

Proceda con la instalación del anillo de infiltración limpiando previamente la superficie del concreto mediante el barrido de residuos, restos de materiales y cualquier elemento suelto no adherido, especialmente alrededor del perímetro inferior del anillo. Luego, ubique el anillo sobre el concreto permeable a ensayar. Aplique masilla en la unión entre la base del anillo y la superficie de concreto para asegurar un sellado hermético, añadiendo más masilla si resulta necesario para reforzar dicho cierre.

Antes de instalar el anillo de infiltración, se debe limpiar el área externa del pavimento únicamente retirando residuos sueltos, como basura o escombros, sin remover materiales adheridos. Luego, se coloca el anillo directamente sobre la superficie de concreto permeable a evaluar. Para asegurar un sello hermético, se aplica masilla tanto en la base del anillo como alrededor de su borde inferior. Si es necesario, se puede añadir más masilla para reforzar la estanqueidad.

Durante el proceso de prehumectación, se debe introducir el agua en el interior del anillo a una velocidad que permita conservar el nivel dentro de los límites marcados. Se empleará un volumen total de  $3.60 \pm 0.05$  kg (equivalente a  $8.0 \pm 0.1$  lb) de agua. El cronómetro se iniciará en el instante en que el agua entre en contacto con la superficie del concreto permeable, y se detendrá cuando ya no se perciba la presencia de agua libre sobre dicha superficie. El tiempo registrado deberá consignarse con una exactitud de 0.1 segundos.

La ejecución del ensayo debe comenzar en un plazo máximo de 2 minutos después de culminada la etapa de prehumectación. Si esta etapa toma menos de 30 segundos, se debe aplicar un volumen de agua de  $18 \pm 0.05$  kg ( $40.0 \pm 0.1$  lb); si, por el contrario, el tiempo es igual o mayor a 30 segundos, se utilizará un volumen de  $3.60 \pm 0.05$  kg ( $8.0 \pm$

0.1 lb). El volumen de agua empleado deberá registrarse con una exactitud de 10 g (0.02 lb). El líquido se vierte dentro del anillo a una velocidad que mantenga el nivel dentro de las marcas establecidas hasta alcanzar el volumen requerido. El cronómetro se inicia en el instante en que el agua hace contacto con la superficie del concreto permeable y se detiene cuando ya no haya presencia de agua libre visible. El tiempo total del ensayo (t) debe anotarse con una precisión de 0.1 segundos.

Según Loza y Machacca (2022) la tasa de infiltración es:

$$I = \frac{K \times M}{D^2 \times T} \dots (2)$$

Donde:

I: Tasa de infiltración en mm/h.

M: Masa de agua infiltrada en kg.

D: Diámetro interior del anillo de infiltración en mm.

T: Tiempo de demora a medir la cantidad de agua que se infiltra en el concreto en s.

K: 4583 666 000 en unidades SI.

### **3.2.10. Ensayos de las propiedades mecánicas del concreto permeable**

#### **3.2.10.1. Resistencia a la compresión del concreto NTP 339.034**

La NTP 339.034 (2015) señala que el procedimiento se enfoca en ejercer una fuerza axial sobre cilindros moldeados o núcleos extraídos con broca diamantada, manteniendo una velocidad de carga dentro del rango establecido hasta que se genere la falla del material. La capacidad resistente del concreto a esfuerzos de compresión se determina al dividir la carga máxima aplicada en el ensayo entre el área transversal del espécimen ensayado.

#### **Instrumentos:**

Según NTP 339.034 (2015) se utiliza: máquina de ensayo.

#### **Procedimiento:**

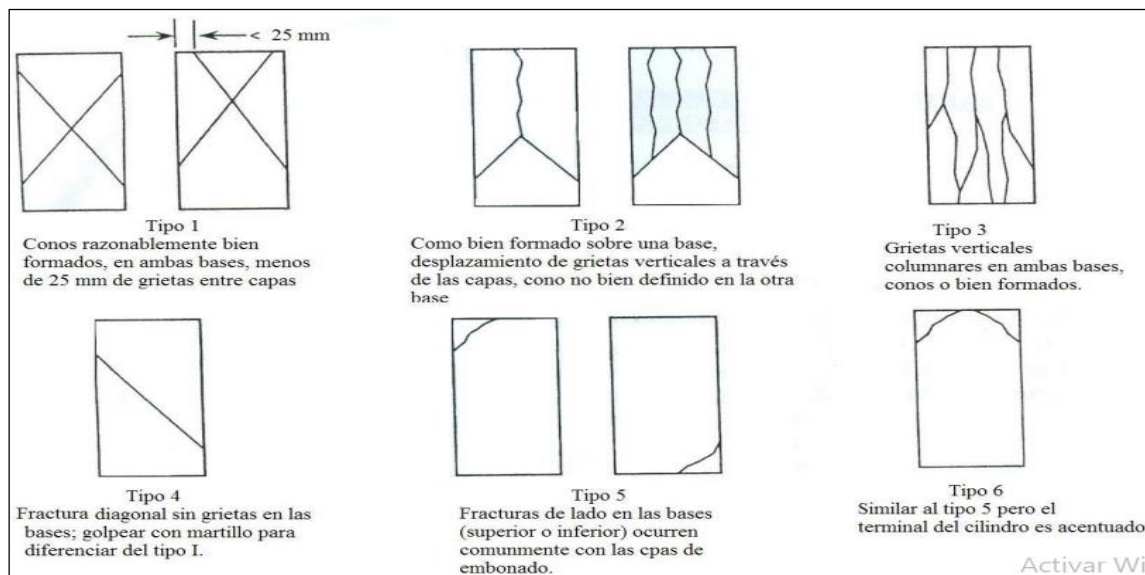
Según NTP 339.034 (2015) el procedimiento es el siguiente:

- Los ensayos de capacidad de carga axial en especímenes curadas en condiciones húmedas deben realizarse lo antes posible después de su retiro del almacenamiento húmedo, considerando la viabilidad operativa del ensayo.
- Los cilindros deberán mantenerse protegidos contra la evaporación mediante cualquier método adecuado durante el intervalo comprendido entre su salida del almacenamiento húmedo y la realización del ensayo. Las probetas deben ser evaluadas conservando su condición húmeda.
- Todos los especímenes cilíndricos correspondientes a una misma edad de ensayo deberán ser rotos dentro del intervalo de tiempo permitido, conforme a las tolerancias establecidas por la normativa aplicable.
- Se debe colocar el bloque de carga inferior, asegurándose de que la cara endurecida quede orientada hacia arriba, posicionándolo sobre la platina de la máquina de ensayo y alineado directamente debajo del bloque esférico superior. Es importante remover impurezas de las superficies de contacto tanto de los bloques superior e inferior como las del cuerpo de prueba antes de su colocación. El espécimen debe ubicarse sobre el bloque inferior de carga. En caso de utilizar almohadillas, se deben limpiar previamente las superficies del anillo de retención y centrar adecuadamente las almohadillas sobre la muestra. Finalmente, se debe alinear con precisión el eje del espécimen respecto al punto de aplicación de carga del sistema esférico superior.
- Ejercer la carga de forma uniforme, evitando impactos bruscos.
- Se debe aplicar la carga de compresión hasta que el indicador registre una disminución continua de la carga y el espécimen presente una fractura claramente definida. En el caso de utilizar una máquina de ensayo equipada con un detector de rotura, está prohibido que el equipo se cierre automáticamente antes de que la carga haya disminuido por debajo del 95 % del valor máximo alcanzado. Se debe registrar la carga máxima que soportó la muestra durante la aplicación del ensayo. Asimismo, es necesario identificar el tipo de fractura generado, elaborar un

esquema representativo del mismo y realizar una breve descripción del patrón observado.

### Figura 1

#### Fallas típicas de muestras ensayadas a compresión



Nota. Figura extraída de NTP 339.034, 2015, p. 17

Según NTP 339.034 (2015) la resistencia a la compresión es:

$$F_c = \frac{4XP}{\pi XD^2} \dots (3)$$

Donde:

F<sub>c</sub>: Resistencia a compresión, kg/cm<sup>2</sup>.

P: Carga Máxima, kg.

D: Diámetro del espécimen, cm.

#### 3.2.10.2. Resistencia a la flexión del concreto en vigas NTP 339.078

La NTP 339.078 (2012/2017) describe la secuencia para el cálculo del comportamiento estructural ante flexión de elementos prismáticos simplemente apoyados, ya sea moldeados con concreto fresco o extraídos como cortes de estructuras de concreto endurecido, los cuales son ensayados aplicando cargas en los tercios del claro útil.

#### Instrumentos:

Según NTP 339.078 (2012/2017) se utiliza: máquina de ensayo.

**Procedimiento:**

Según NTP 339.078 (2012/2017) el procedimiento es el siguiente:

- El ensayo de flexión deberá llevarse a cabo a la brevedad posible una vez que la viga haya sido retirada de la cámara de curado.
- En el caso de utilizar vigas moldeadas, estas deben colocarse girándolas lateralmente respecto a su posición original de moldeo, asegurando su correcta alineación sobre las placas de apoyo.
- El mecanismo de posición de carga debe alinearse con precisión respecto al eje de la fuerza a aplicar. Los elementos transmisores de carga se ubican en contacto directo con la superficie superior de la muestra, posicionados en los tercios del claro de la viga. Posteriormente, se aplica una carga preliminar equivalente al (3 y 6) % de la carga aproximada a la falla.
- La carga debe ser aplicada de manera continua, uniforme y sin golpes bruscos. El incremento de carga se realiza de forma seguida hasta lograr la falla del elemento. Esta velocidad debe ser tal incremente progresivamente la tensión en la fibra más alejada, dentro de un rango comprendido entre (0,9 y 1,2) MPa/min, hasta provocar la falla de la viga.
- La medición del área transversal requerida para el cálculo del módulo de ruptura se realiza sobre una de las caras fracturadas después de concluir la prueba.

Para la NTP 339.078 (2012/2017), el valor del  $M_r$  varía en función de la ubicación de la falla. Si la rotura se presenta dentro del tercio central del claro útil, se utiliza la fórmula correspondiente al caso (4); en cambio, si la fractura ocurre fuera de ese tercio medio, se emplea la expresión indicada como caso (5).

$$M_r = \frac{PL}{bh^2} \dots (4)$$

$$M_r = \frac{3Pa}{bh^2} \dots (5)$$

Donde:

$M_r$ : Módulo de rotura, Mpa.

P: Carga máxima de rotura indicada por la máquina de ensayo, N.

L: Luz libre entre apoyos, mm.

b: Ancho promedio de la viga en la sección de falla, mm.

h: Altura promedio de la viga en la sección de falla, mm.

a: Distancia promedio entre la línea de falla y el apoyo más cercano, medida a lo largo de la línea central de la superficie inferior de la viga, en mm.

### 3.2.11. Especificaciones del concreto para pavimentos urbanos

El pavimento permeable utiliza concreto rígido debido a su capacidad para soportar áreas de tráfico. En la Tabla 7 se detalla el umbral de resistencia requerido.

**Tabla 7**

*Requisitos de pavimentos urbanos*

Tipo de pavimento		Flexible	Rígido	Adoquines
Elemento				
Espesor de la capa de rodadura	Vías locales	≥ 50 mm		≥ 60 mm
	Vías colectoras	≥ 60 mm	≥ 150 mm	≥ 80 mm
	Vías arteriales	≥ 70 mm		NR**
	Vías expresas	≥ 80 mm	≥ 200 mm	NR**
Material		Concreto asfáltico ***	MR ≥ 34 Kg/cm <sup>2</sup> (3,4 MPa)	f'c ≥ 380 Kg/cm <sup>2</sup> (38 MPa)

*Nota.* Tabla adaptada de la Norma Técnica CE.010, 2010, p. 20

Donde:

N.R. \*\*: No recomendable.

\*\*\*: El concreto asfáltico debe ser hecho preferentemente con mezcla en caliente.

**Tabla 8**

*Requisitos de pavimentos urbanos especiales*

Tipo de pavimento		Aceras o veredas	Pasajes peatonales	Ciclovías
Elemento				
Sub-rasante		95% de Compactación Suelos granulares – Proctor Modificado Suelos cohesivos – Proctor Estándar		
Base		CBR ≥ 30 %		CBR ≥ 60%
Asfáltico			≥ 30 mm	

Tipo de pavimento		Aceras o veredas	Pasajes peatonales	Ciclovías
Elemento				
Espesor de la capa de rodadura	Concreto de Cemento Portland		≥ 100 mm	
	Adoquines	≥ 40 mm (Se deberán apoyar sobre una cama de arena fina , de espesor comprendido entre 25 y 40 mm)		
Material	Asfáltico		Concreto asfáltico*	
	Concreto de cemento portland		$f'c \geq 175 \text{ Kg/cm}^2$ (17,5 MPa)	
	Adoquines	$f'c \geq 320 \text{ Kg/cm}^2$ (32 MPa)		N.R. **

*Nota.* Tabla adaptada de Norma Técnica CE.010, 2010, p. 21

Donde:

\*: El concreto asfáltico debe ser hecho preferentemente con mezcla en caliente.

N.R. \*\*: No recomendable.

### 3.3. Definición de términos

**Agregado grueso:** Corresponde al agregado que no atraviesa el tamiz de abertura 4.75 mm (N°4) y que se obtiene a partir del proceso de fragmentación, ya sea por medios naturales o por acción mecánica, de rocas de mayor tamaño (NTP 400.037, 2021).

**Agregado fino:** “Es el agregado proveniente de la desintegración natural o artificial, que pasa el tamiz normalizado 9,5 mm (3/8 pulg) y queda retenido en el tamiz normalizado 75  $\mu\text{m}$  (N<sub>0</sub>.200); deberá cumplir con los límites establecidos en la presente norma” (NTP 400.037, 2021, p. 6).

**Concreto endurecido:** Es un estado del concreto obtenido posteriormente del fraguado, el cual se encarga de la formación y endurecimiento del tejido producto de las partículas que lo conforman, brindándole resistencia a la masa de concreto. (Ore y Portillo, 2019, p. 10)

**Concreto fresco:** Es el primer estado del concreto cuando se encuentra recién elaborada en donde se tiene una masa plástica fácil de moldear. Inicia desde que el concreto está recién mezclado, hasta el principio de la rigidez del mismo. El estado plástico

puede estar durante horas mientras se tenga el concreto expuesto a una temperatura normal. (Ore y Portillo, 2019, p. 10)

**Concreto permeable:** Presenta como particularidad el concreto permeable estar elaborado con una proporción mínima o nula de agregado fino, agua, aditivos, cemento portland y agregado grueso. Esta formulación da lugar a una matriz endurecida con una red de vacíos conectados, lo que facilita el flujo del agua dentro de su estructura. El diámetro de estos vacíos puede encontrarse dentro de un rango aproximado de 2 a 8 mm (0.08 a 0.32 pulgadas). Según el diseño de mezcla y del proceso constructivo, el contenido de vacíos puede representar entre el 15 % y el 35 % del volumen del material, mientras que la resistencia a la compresión típicamente esta entre (2.8 y 28) MPa (400 a 4000 psi) (ACI 522R-10, 2010).

**Contenido de vacíos:** La proporción de vacíos en el concreto permeable está influenciada por múltiples factores, entre ellos la distribución granulométrica del agregado, la cantidad de componentes cementantes presentes, la relación a/c y el grado de compactación aplicado durante su colocación (ACI 522-10, 2010).

**Infiltración:** Una de las propiedades fundamentales del concreto permeable es su habilidad para permitir el flujo del agua dentro de su red interna de poros. Esta capacidad de infiltración guarda una relación directa con el nivel de porosidad del material y con el tamaño de los vacíos presentes en su estructura (ACI 522-10, 2010).

**Huso granulométrico:** Corresponde a una designación numérica utilizada para describir la gradación de un agregado, basada en la distribución de tamaños de partículas que cumple con los rangos establecidos por la norma ASTM C33. Esta designación se determina a partir del tamaño máximo nominal y del porcentaje acumulado retenido, y permite clasificar el agregado dentro de límites granulométricos específicos (Flores y Pacompia, 2015).

**Mezclado:** Es la combinación de los componentes del concreto, hasta que se logre una buena adherencia de sus elementos, esto se puede lograr mediante medios manuales o mecánicos. (Ore y Portillo, 2019, p. 10)

**Pavimento:** Es una superficie formada por varias capas superpuestas que se apoya completamente sobre un terreno previamente acondicionado para sostenerla durante el tiempo previsto en el período de diseño y dentro de los límites aceptables de funcionalidad. Este término abarca infraestructuras como calzadas, zonas de estacionamiento, aceras, ciclovías, veredas y pasajes peatonales (NT CE.010, 2010).

**Permeabilidad:** Corresponde a la habilidad del concreto para facilitar la infiltración del agua está directamente relacionada con las dimensiones de su red porosa. Cuando los poros son de mayor tamaño, existe menor riesgo de bloqueo en el sistema capilar del material. Este tipo de porosidad se logra utilizando agregados de mayor tamaño. En ese sentido, al sustituir una fracción de los agregados finos por partículas más gruesas, se incrementa la apertura de los vacíos internos, lo que favorece el incremento de la permeabilidad. Esto ocurre porque los agregados de mayor tamaño no logran encajar completamente en los espacios generados por los más finos, lo cual evita la obstrucción de los conductos porosos (Jacinto Aquino, 2021).

**Porcentaje de vacíos:** Para garantizar la facilidad de ingreso del agua dentro del concreto permeable, es fundamental que los vacíos sean igual o superior al 15%. De forma que al aumentar este % se incrementa la permeabilidad del material, aunque se reduce su capacidad resistente a esfuerzos de compresión. Sin embargo, una menor cantidad de vacíos disminuye la permeabilidad y eleva la resistencia mecánica. Asimismo, se aprecia que mejora cuando se emplea un agregado con menor tamaño máximo nominal (Arcos Mansilla, 2022).

**Porosidad:** La porosidad en el concreto permeable, corresponde a la facultad que tiene el material para admitir la infiltración del agua en su interior, y este se logra por el tamaño y número de poros contenidos en la interconexión de partículas que conforman el concreto (Ore y Portillo, 2019).

**Resistencia a la compresión:** Representa el esfuerzo de compresión máxima para soportar una fuerza axial antes de que se produzca su fractura. Este valor expresa el esfuerzo que debe aplicarse sobre una superficie específica para generar la falla del

material como consecuencia de la compresión. En el concreto permeable, esta propiedad está directamente condicionada por la cantidad de los componentes que conforman la mezcla y por la intensidad de la consolidación realizada durante su conformado (Kanashiro y Monzón, 2020).

**Resistencia a la flexión:** El límite de tracción del concreto suele evaluarse a través del ensayo de flexión, cuyo propósito principal es determinar la capacidad del material para soportar esfuerzos que provocan la rotura en elementos estructurales como vigas o losas sin refuerzo. Dicho valor se indica como módulo de rotura, en unidades de  $\text{kg/cm}^2$ . Dicho parámetro representa entre el 10% y el 20% de la capacidad de carga axial, variando según el tipo, tamaño y proporción del agregado grueso empleado. No obstante, para establecer relaciones precisas con los materiales utilizados en obra, es indispensable realizar ensayos experimentales específicos y diseñar mezclas adaptadas. Cabe señalar que el módulo de rotura obtenido mediante carga en tercios de luz tiende a ser inferior al determinado por carga en el punto medio de la viga, pudiendo observarse diferencias de hasta un 15% (Ore y Portillo, 2019).

**Tasa de infiltración:** La tasa de infiltración hace referencia al flujo máximo de agua que puede atravesar la estructura interna de un material poroso en un área específica, en un tiempo determinado. Este parámetro permite cuantificar la capacidad de absorción superficial del concreto frente al ingreso de agua (Loza y Machacca, 2022).

## **IV. Metodología**

### **4.1. Tipo y nivel de investigación**

#### **4.1.1. Tipo de investigación**

Según Arispe et al. (2020) la investigación aplicada posee la finalidad de aplicar la información científica para reconocer y seleccionar métodos, tecnologías y procedimientos que permitan atender una necesidad concreta y practica mediante soluciones viables y fundamentadas.

La tesis fue de tipo aplicada, ya que los resultados hallados de los diversos ensayos realizados a los concretos permeables, diseñados con los distintos % de agregado fino, permitieron determinar el % más adecuado para su utilización en los pavimentos urbanos como son las veredas de la ciudad de Curahuasi, especialmente para la avenida San Cristóbal. Este debía cumplir con las resistencias establecidas por la Norma CE.010 Pavimentos Urbanos, así también la tasa de infiltración debía ser mayor que la intensidad máxima de precipitación en la zona, con el objetivo de solucionar los diferentes problemas causados por la falta de uso del concreto permeable en las vías de la ciudad.

#### **4.1.2. Nivel de investigación**

Lo dicho por Hernández et al. (2014) los estudios de tipo explicativo trascienden la simple descripción de conceptos o fenómenos, así como la identificación de relaciones entre ellos. Su objetivo principal es comprender las causas que originan determinados eventos, ya sean de naturaleza física o social. Tal como lo sugiere su denominación, estos estudios buscan esclarecer por qué ocurre un fenómeno y bajo qué circunstancias se presenta, así como entender el vínculo existente entre dos o más variables.

El nivel de la tesis fue explicativo, ya que tuvo como objetivo principal determinar la influencia de la adición del agregado fino en las propiedades físicas y mecánicas del concreto permeable. Este nivel de investigación permitió establecer relaciones causales entre los distintos % de agregado fino y las variables evaluadas. A través de un diseño experimental, se explicó cómo las variaciones en el contenido de agregado fino afectaron el comportamiento del concreto.

#### **4.1.3. Diseño de investigación**

Según Cabezas et al. (2018) la investigación de tipo experimental tiene como finalidad establecer, con el mayor grado de fiabilidad, vínculos causales entre variables. Para ello, se aplican estímulos específicos a uno o varios grupos denominados experimentales, y los efectos observados se contrastan con aquellos obtenidos en grupos de control, los cuales no reciben el tratamiento aplicado. Esta comparación permite identificar con precisión las consecuencias atribuibles al estímulo experimental.

La tesis tuvo un diseño experimental, porque se manipuló la variable independiente, que fue el agregado fino, y se midió su influencia sobre las propiedades físicas y mecánicas del concreto permeable.

#### **4.1.4. Método de investigación**

Según Arispe et al. (2020) el método deductivo parte de conclusiones generales, para generar explicaciones particulares. Parte del análisis de los principios, teorías que son válidas para aplicarlos y generar soluciones a hechos que son particulares. (p. 56)

La tesis, por su naturaleza, empleó el método deductivo, ya que, a partir de los conocimientos generales sobre concreto permeable, se elaboraron diseños de mezcla con porcentajes (0%, 5%, 10%, 15% y 20%) de agregado fino, utilizando agregados de la cantera Monterrico - Cunyac - Curahuasi. Estos diseños permitieron crear concretos permeables para realizar ensayos de coeficiente de permeabilidad, tasa de infiltración, resistencia a la compresión y flexión, con el propósito de determinar el porcentaje más adecuado para su implementación práctica en pavimentos de vías urbanas, como veredas de la ciudad de Curahuasi.

#### **4.1.5. Enfoque de investigación**

Según Hernández et al. (2014) el enfoque cuantitativo se fundamenta con la recopilación de datos medibles, los cuales se utilizan para verificar hipótesis a través de procedimientos estadísticos. Su propósito es detectar patrones de comportamiento y comprobar hipótesis mediante el análisis numérico.

El enfoque de esta tesis fue cuantitativo, ya que se midieron los datos numéricos registrados de los diferentes ensayos a los que fueron sometidos los concretos permeables hechos con distintos porcentajes de agregado fino.

## **4.2. Ámbito temporal y espacial**

La investigación fue llevada a cabo entre los años 2023 y 2024, periodo en el cual se realizaron las actividades correspondientes a la recolección de datos y al análisis de los resultados obtenidos en el marco del estudio.

El ámbito espacial de la investigación se encontró en la ciudad de Curahuasi, específicamente en la avenida San Cristóbal, localizada en la región de Apurímac, Perú.

## **4.3. Población y muestra**

### **4.3.1. Población**

Lo dicho por Arispe et al. (2020) se entiende por población al grupo de elementos o individuos que comparten determinadas características y que se localizan en un ámbito geográfico específico. Dado que en numerosas situaciones resulta inviable examinar la totalidad de esta población debido a limitaciones de tiempo y disponibilidad de recursos, se recurre al análisis de una fracción representativa denominada muestra.

La población de la tesis estuvo dada por mezclas de concreto permeable que incorporan distintos % de agregado fino.

### **4.3.2. Muestra**

Según Arispe et al. (2020) la muestra se entiende por una parte de casos de una población en el cual se recolectan los datos. El trabajar con muestra permite: ahorrar tiempo, reduce costos y si está bien seleccionada puede ayudar con la precisión y exactitud de los datos. Otro aspecto que se tiene que tener a consideración es que la población y muestra deben estar en relación con la pregunta de investigación y objetivos, al igual que debe tener representatividad estadística.

La cantidad de probetas para la realización de los ensayos se determinó según la Norma E.060. Para cada relación a/c deben confeccionarse y curarse al menos 3 probetas cilíndricas para cada edad de ensayo de acuerdo con "Standard Practice for Making and

Curing Concrete test Specimens in the Laboratory” (ASTM C 192M) (NORMA E.060, 2020, p. 42).

**Tabla 9**

*Cantidad de probetas para ensayo de coeficiente de permeabilidad*

<b>Coeficiente de permeabilidad</b>	
% Agregado Fino	
0%	3
5%	3
10%	3
15%	3
20%	3

*Nota.* Probetas de 10 cm de diámetro x 15 cm de altura. Elaboración propia.

**Tabla 10**

*Cantidad de losas para ensayo de tasa de infiltración*

<b>Tasa de infiltración</b>	
% Agregado Fino	
0%	3
5%	3
10%	3
15%	3
20%	3

*Nota.* Losas de 0.50 cm x 0.50 cm x 0.10 cm. Elaboración propia.

**Tabla 11**

*Cantidad de probetas para ensayo de resistencia a la compresión*

<b>Resistencia a la compresión</b>				
% Agregado fino	7 días	14 días	28 días	Total
0%	3	3	3	9
5%	3	3	3	9
10%	3	3	3	9
15%	3	3	3	9
20%	3	3	3	9

*Nota.* Probetas de 15 cm de diámetro x 30 cm de altura Elaboración propia.

**Tabla 12**

*Cantidad de vigas para ensayo de resistencia a la flexión (módulo de rotura)*

<b>Resistencia a la flexión</b>	
% Agregado Fino	28 días
0%	3
5%	3
10%	3
15%	3
20%	3

*Nota.* Vigas de 15 cm x 15 cm x 55 cm. Elaboración propia.

#### **4.3.3. Muestreo**

Lo dicho por Hernández et al. (2014) el muestreo no probabilístico se refiere a un tipo de selección de unidades muestrales en el cual la elección de los elementos no se basa en el azar, sino que responde a criterios específicos establecidos según los objetivos y características del estudio.

En esta tesis el muestreo fue no probabilístico por que la cantidad de muestra elegida para la realización de los ensayos estuvo en función de las normas establecidas y no mediante una probabilidad.

#### **4.4. Instrumentos**

Según Arispe et al. (2020) son un conjunto de acciones y actividades que realiza el investigador para recolectar la información los cuales permiten lograr los objetivos y así contrastar la hipótesis de investigación. Para ello se necesita contar con las fuentes de datos, el método para la recolección y el plan de análisis de los datos. (p. 78)

En esta tesis se utilizaron los siguientes instrumentos para recolectar y organizar la información necesaria.

- Equipos de medición, los equipos de laboratorio proporcionaron valores medibles necesarios, los cuales fueron registrados en las fichas correspondientes.
- Normas técnicas, los ensayos se realizaron siguiendo los métodos de las NTP, ACI 522R-10 y la ASTM C1701.

- Software estadístico, los datos recolectados se procesaron mediante IBM SPSS Statistics Base 26 para hacer el análisis estadístico, complementado los cálculos y gráficos en Excel.
- Fichas de recolección de datos, se consigan en el apartado de Anexos 3.

## **4.5. Procedimientos**

### **4.5.1. Recolección de información**

Se realizó una exhaustiva revisión bibliográfica sobre los diferentes estudios previos relacionados con el concreto permeable, especialmente aquellos que analizan la influencia de los agregados finos en sus propiedades físicas y mecánicas.

### **4.5.2. Selección de los materiales**

Para la tesis se seleccionaron agregados finos y gruesos de la cantera Monterrico ubicado en Cunyac – Curahuasi.

### **4.5.3. Ensayos a los agregados**

Una vez obtenido los materiales se procedió a realizar los ensayos a los agregados tanto finos como gruesos en el laboratorio Lunix Ingenieros S.R.L., asegurando que cumplan con los requisitos establecidos por las NTP.

### **4.5.4. Preparación de las mezclas**

Se definieron cinco proporciones distintas de agregado fino: 0%, 5%, 10%, 15% y 20%. La elección de estos porcentajes se fundamentó en investigaciones previas que indican que la variación en el contenido de agregado fino puede afectar significativamente las propiedades tanto físicas y mecánicas del concreto en estudio. El diseño de mezcla correspondiente a cada proporción se elaboró según las directrices especificadas en la norma ACI 522R-10.

### **4.5.5. Proceso de curado**

Una vez moldeadas, las probetas, vigas y losas de concreto en estudio después de unas horas se curaron durante 28 días en condiciones de temperatura y humedad controladas. Este tiempo de curado fue necesario para permitir que el concreto alcance su resistencia máxima antes de ser sometido a las distintas pruebas.

#### **4.5.6. Ensayos de las propiedades físicas y mecánicas**

Las probetas fueron sometidas a un ensayo de resistencia a la compresión según NTP 339.034, siendo colocadas en una prensa hidráulica donde se le aplicaron una carga axial hasta la ruptura, registrando la carga máxima aplicada. Los resultados permitieron calcular la resistencia a la compresión del concreto permeable en cada mezcla a los 7, 14 y 28 días.

Se realizaron ensayos de flexión para determinar el módulo de rotura de las vigas, siguiendo la NTP 339.078. La viga se colocó en un aparato de flexión, y se empleó una carga en el centro hasta que la muestra se rompiera.

También fue desarrollado el ensayo de coeficiente de permeabilidad conforme a ACI 522R-10, utilizando un permeámetro para medir el tiempo que tarda el agua en atravesar las probetas de concreto permeable para permitir el flujo del agua, lo cual es crucial para determinar la eficacia del concreto como respuesta para facilitar un drenaje superficial adecuado durante eventos de precipitación intensa.

Finalmente se ejecutó el ensayo de tasa de infiltración, este ensayo proporcionó datos sobre la capacidad de los diferentes concretos permeables de medir la velocidad con la que el agua se introduce en la superficie, lo cual es fundamental para evitar encharcamientos.

#### **4.5.7. Análisis estadístico**

Los datos recolectados se procesaron mediante IBM SPSS Statistics Base 26 para realizar el análisis estadístico, complementado los cálculos y gráficos en Excel.

#### **4.6. Análisis de datos**

Se utilizó un análisis de datos que incluyó:

Software estadístico IBM SPSS Statistics Base 26: Con el fin de gestionar, procesar y examinar los datos recolectados durante la investigación.

ANOVA de un factor: Con el fin de identificar si existen diferencias estadísticamente significativas entre los cinco % de agregado fino (0%, 5%, 10%, 15% y 20%) en cada una de las propiedades evaluadas.

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey HSD: Para reconocer específicamente entre qué grupos existen diferencias significativas.

El nivel de significancia utilizado en el ANOVA fue de  $p < 0.05$ , lo que permitió validar las hipótesis planteadas y generar conclusiones fundamentadas.

#### **4.7. Consideraciones éticas**

En esta tesis se reconoció a todos los autores bibliográficos y se respetaron todos los aspectos religiosos, culturales y morales.

Los datos recolectados que fueron sometidos a evaluación son completamente reales y objetivos, del mismo modo fueron manipulados de manera correcta como corresponde a su aplicación para conseguir los resultados.

## V. Resultados y discusión

### 5.1. Resultados

#### 5.1.1. Resultados del objetivo específico 1

**Tabla 13**

*Coefficiente de permeabilidad del concreto permeable (0% de A.F)*

Diseño de muestra	N° de muestra	k (cm/s)	Media	Desviación estándar
0% A.F	1	0.885	0.895	0.010
	2	0.904		
	3	0.896		

*Nota.* El ensayo se realizó con un permeámetro de carga variable. Elaboración propia.

Según lo reflejado en la Tabla 13, al cumplirse el lapso de 28 días se obtuvo una media de 0.895 cm/s, acompañado de una dispersión muy baja, de 0.010 cm/s, calculada a partir de las 3 muestras evaluadas. Estos resultados evidencian la consistencia y estabilidad en el comportamiento observado bajo las condiciones del ensayo.

**Tabla 14**

*Coefficiente de permeabilidad del concreto permeable (5% de A.F)*

Diseño de muestra	N° de muestra	k (cm/s)	Media	Desviación estándar
5% A.F	1	0.717	0.716	0.006
	2	0.721		
	3	0.709		

*Nota.* El ensayo se realizó con un permeámetro de carga variable. Elaboración propia.

Según lo reflejado en la Tabla 14, al cumplirse el lapso de 28 días se obtuvo una media de 0.716 cm/s, acompañado de una dispersión muy baja, de 0.006 cm/s, calculada a partir de las 3 muestras evaluadas. Estos resultados evidencian la consistencia y estabilidad en el comportamiento observado bajo las condiciones del ensayo.

**Tabla 15**

*Coeficiente de permeabilidad del concreto permeable (10% de A.F)*

<b>Diseño de muestra</b>	<b>N° de muestra</b>	<b>k (cm/s)</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación estándar</b>
10% A.F	1	0.486	0.491	0.005
	2	0.493		
	3	0.495		

*Nota.* El ensayo se realizó con un permeámetro de carga variable. Elaboración propia.

Según lo reflejado en la Tabla 15, al cumplirse el lapso de 28 días se obtuvo una media de 0.491 cm/s, acompañado de una dispersión muy baja, de 0.005 cm/s, calculada a partir de las 3 muestras evaluadas. Estos resultados evidencian la consistencia y estabilidad en el comportamiento observado bajo las condiciones del ensayo.

**Tabla 16**

*Coeficiente de permeabilidad del concreto permeable (15% de A.F)*

<b>Diseño de muestra</b>	<b>N° de muestra</b>	<b>k (cm/s)</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación estándar</b>
15% A.F	1	0.260	0.258	0.002
	2	0.258		
	3	0.257		

*Nota.* El ensayo se realizó con un permeámetro de carga variable. Elaboración propia.

Según lo reflejado en la Tabla 16, al cumplirse el lapso de 28 días se obtuvo una media de 0.258 cm/s, acompañado de una dispersión muy baja, de 0.002 cm/s, calculada a partir de las 3 muestras evaluadas.

**Tabla 17**

*Coeficiente de permeabilidad del concreto permeable (20% de A.F)*

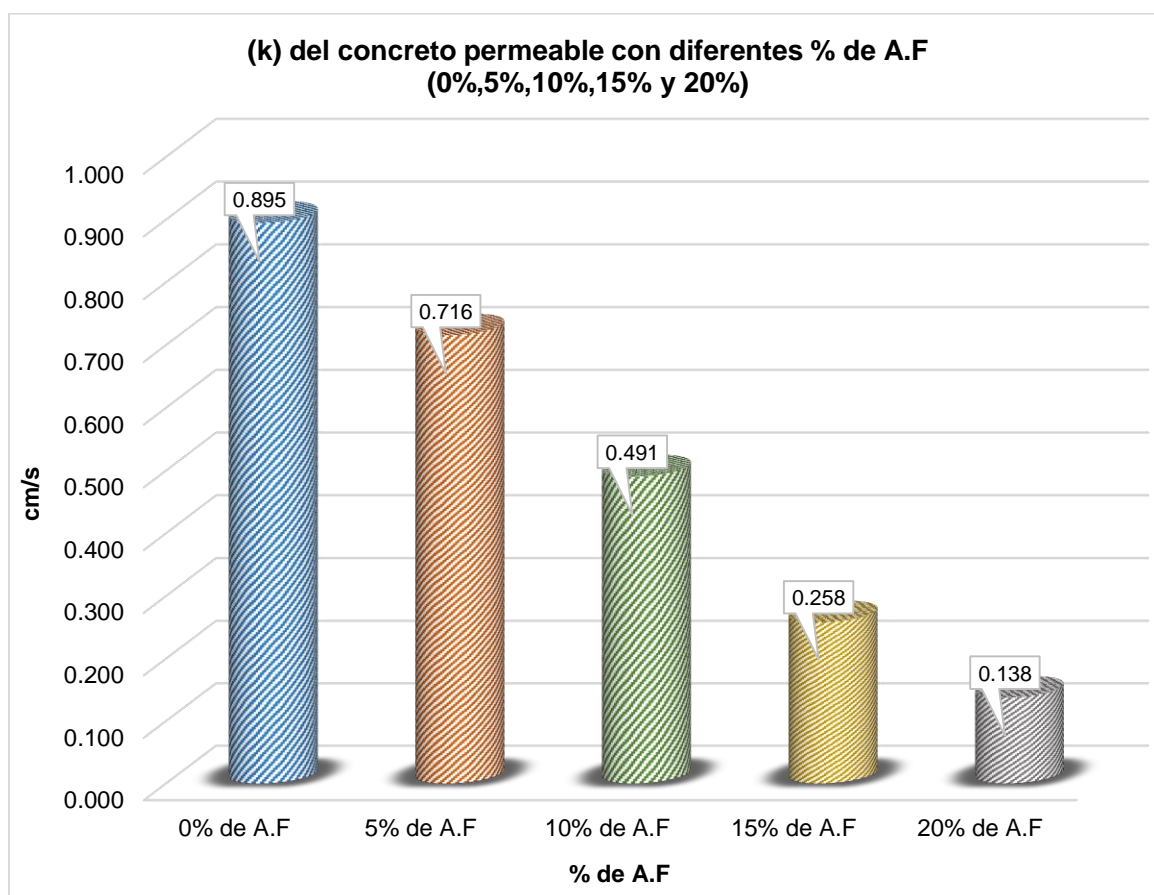
<b>Diseño de muestra</b>	<b>N° de muestra</b>	<b>k (cm/s)</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación estándar</b>
20% A.F	1	0.139	0.138	0.001
	2	0.137		
	3	0.138		

*Nota.* El ensayo se realizó con un permeámetro de carga variable. Elaboración propia.

Según lo reflejado en la Tabla 17, al cumplirse el lapso de 28 días se obtuvo una media de 0.138 cm/s, acompañado de una dispersión muy baja, de 0.001 cm/s, calculada a partir de las 3 muestras evaluadas. Estos resultados evidencian la consistencia y estabilidad en el comportamiento observado bajo las condiciones del ensayo.

### Figura 2

*Coefficiente de permeabilidad del concreto permeable con diferentes % de A.F (0%,5%,10%,15% y 20%)*



*Nota.* La figura 2 visualiza el desempeño del (k). Elaboración propia.

La Figura 2 visualiza los resultados del ensayo de coeficiente de permeabilidad tras veintiocho días de curado, considerando una integración del agregado fino en 0%, 5%, 10%, 15% y 20%, con valores registrados de (0.895, 0.716, 0.491, 0.258 y 0.138) cm/s, respectivamente.

### 5.1.2. Resultados del objetivo específico 2

**Tabla 18**

*Tasa de infiltración del concreto permeable (0% de A.F)*

Diseño de muestra	N° de muestra	I (mm/h)	Media	Desviación estándar
0% A.F	1	17027.07	17024.88	8.42
	2	17015.58		
	3	17032.00		

*Nota.* El ensayo se realizó con un anillo de infiltración. Elaboración propia.

Según lo reflejado en la Tabla 18, al cumplirse el lapso de 28 días se obtuvo una media de 17024.88 mm/h, acompañado de una dispersión muy baja, de 8.42 mm/h, calculada a partir de las 3 muestras evaluadas. Estos resultados evidencian la consistencia y estabilidad en el comportamiento observado bajo las condiciones del ensayo.

**Tabla 19**

*Tasa de infiltración del concreto permeable (5% de A.F)*

Diseño de muestra	N° de muestra	I (mm/h)	Media	Desviación estándar
5% A.F	1	13015.70	12997.62	16.05
	2	12985.07		
	3	12992.08		

*Nota.* El ensayo se realizó con un anillo de infiltración. Elaboración propia.

Según lo reflejado en la Tabla 19, al cumplirse el lapso de 28 días se obtuvo una media de 12997.62 mm/h, acompañado de una dispersión muy baja, de 16.05 mm/h, calculada a partir de las 3 muestras evaluadas. Estos resultados evidencian la consistencia y estabilidad en el comportamiento observado bajo las condiciones del ensayo.

**Tabla 20**

*Tasa de infiltración del concreto permeable (10% de A.F)*

Diseño de muestra	N° de muestra	I (mm/h)	Media	Desviación estándar
10% A.F	1	9772.89	9758.37	13.82
	2	9745.37		

Diseño de muestra	N° de muestra	I (mm/h)	Media	Desviación estándar
	3	9756.86		

*Nota.* El ensayo se realizó con un anillo de infiltración. Elaboración propia.

Según lo reflejado en la Tabla 20, al cumplirse el lapso de 28 días se obtuvo una media de 9758.37 mm/h, acompañado de una dispersión muy baja, de 13.82 mm/h, calculada a partir de las 3 muestras evaluadas. Estos resultados evidencian la consistencia y estabilidad en el comportamiento observado bajo las condiciones del ensayo.

**Tabla 21**

*Tasa de infiltración del concreto permeable (15% de A.F)*

Diseño de muestra	N° de muestra	I (mm/h)	Media	Desviación estándar
	1	6750.63		
15% A.F	2	6758.21	6754.36	3.79
	3	6754.24		

*Nota.* El ensayo se realizó con un anillo de infiltración. Elaboración propia.

Según lo reflejado en la Tabla 21, al cumplirse el lapso de 28 días se obtuvo una media de 6754.36 mm/h, acompañado de una dispersión muy baja, de 3.79 mm/h, calculada a partir de las 3 muestras evaluadas. Estos resultados evidencian la consistencia y estabilidad en el comportamiento observado bajo las condiciones del ensayo.

**Tabla 22**

*Tasa de infiltración del concreto permeable (20% de A.F)*

Diseño de muestra	N° de muestra	I (mm/h)	Media	Desviación estándar
	1	3394.98		
20% A.F	2	3394.04	3395.35	1.53
	3	3397.03		

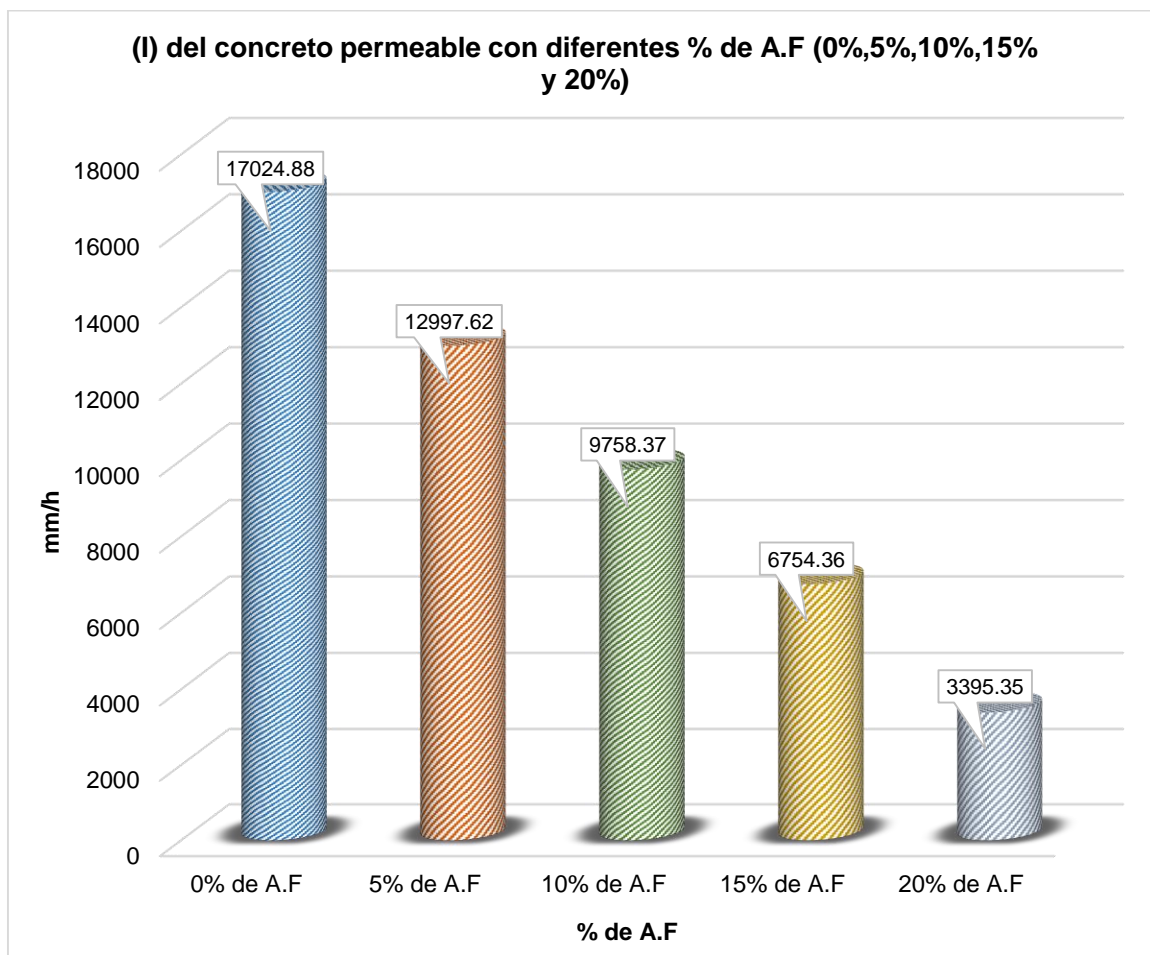
*Nota.* El ensayo se realizó con un anillo de infiltración. Elaboración propia.

Según lo reflejado en la Tabla 22, al cumplirse el lapso de 28 días se obtuvo una media de 3395.35 mm/h, acompañado de una dispersión muy baja, de 1.53 mm/h,

calculada a partir de las 3 muestras evaluadas. Estos resultados evidencian la consistencia y estabilidad en el comportamiento observado bajo las condiciones del ensayo.

### Figura 3

*Tasa de infiltración del concreto permeable con diferentes % de A.F (0%,5%,10%,15% y 20%)*



*Nota.* La figura 3 visualiza el desempeño de la (I). Elaboración propia.

La Figura 3 visualiza los resultados del ensayo de tasa de infiltración tras veintiocho días de curado, considerando una integración del agregado fino en 0%, 5%, 10%, 15% y 20%, con valores registrados de (17024.88, 12997.62, 9758.37, 6754.36 y 3395.35) mm/h, respectivamente.

### 5.1.3. Resultados del objetivo específico 3

#### 5.1.3.1. Resistencia a la compresión del concreto permeable a los 7 días

**Tabla 23**

*Resistencia a la compresión del concreto permeable (0% de A.F) a 7 días*

Diseño de muestra	N° de muestra	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Media	Desviación estándar
0% A.F	1	66.9	60.63	5.72
	2	59.3		
	3	55.7		

*Nota.* Los valores fueron obtenidos mediante el ensayo en probetas cilíndricas. Elaboración propia.

Según lo reflejado en la Tabla 23, al cumplirse el lapso de 7 días se obtuvo una media de 60.63 kg/cm<sup>2</sup>, acompañado de una dispersión muy baja, de 5.72 kg/cm<sup>2</sup>, calculada a partir de las 3 muestras evaluadas. Estos resultados evidencian la consistencia y estabilidad en el comportamiento observado bajo las condiciones del ensayo.

**Tabla 24**

*Resistencia a la compresión del concreto permeable (5% de A.F) a 7 días*

Diseño de muestra	N° de muestra	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Media	Desviación estándar
5% A.F	1	84.2	79.23	5.16
	2	79.6		
	3	73.9		

*Nota.* Los valores fueron obtenidos mediante el ensayo en probetas cilíndricas. Elaboración propia.

Según lo reflejado en la Tabla 24, al cumplirse el lapso de 7 días se obtuvo una media de 79.23 kg/cm<sup>2</sup>, acompañado de una dispersión muy baja, de 5.16 kg/cm<sup>2</sup>, calculada a partir de las 3 muestras evaluadas. Estos resultados evidencian la consistencia y estabilidad en el comportamiento observado bajo las condiciones del ensayo.

**Tabla 25**

*Resistencia a la compresión del concreto permeable (10% de A.F) a 7 días*

<b>Diseño de muestra</b>	<b>N° de muestra</b>	<b>f'c (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación estándar</b>
10% A.F	1	96.5	103.20	6.09
	2	104.7		
	3	108.4		

*Nota.* Los valores fueron obtenidos mediante el ensayo en probetas cilíndricas. Elaboración propia.

Según lo reflejado en la Tabla 25, al cumplirse el lapso de 7 días se obtuvo una media de 103.20 kg/cm<sup>2</sup>, acompañado de una dispersión muy baja, de 6.09 kg/cm<sup>2</sup>, calculada a partir de las 3 muestras evaluadas. Estos resultados evidencian la consistencia y estabilidad en el comportamiento observado bajo las condiciones del ensayo.

**Tabla 26**

*Resistencia a la compresión del concreto permeable (15% de A.F) a 7 días*

<b>Diseño de muestra</b>	<b>N° de muestra</b>	<b>f'c (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación estándar</b>
15% A.F	1	123.2	124.47	6.49
	2	118.7		
	3	131.5		

*Nota.* Los valores fueron obtenidos mediante el ensayo en probetas cilíndricas. Elaboración propia.

Según lo reflejado en la Tabla 26, al cumplirse el lapso de 7 días se obtuvo una media de 124.47 kg/cm<sup>2</sup>, acompañado de una dispersión muy baja, de 6.49 kg/cm<sup>2</sup>, calculada a partir de las 3 muestras evaluadas. Estos resultados evidencian la consistencia y estabilidad en el comportamiento observado bajo las condiciones del ensayo.

**Tabla 27**

*Resistencia a la compresión del concreto permeable (20% de A.F) a 7 días*

<b>Diseño de muestra</b>	<b>N° de muestra</b>	<b>f'c (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación estándar</b>
20% A.F	1	154.3	147.00	7.06

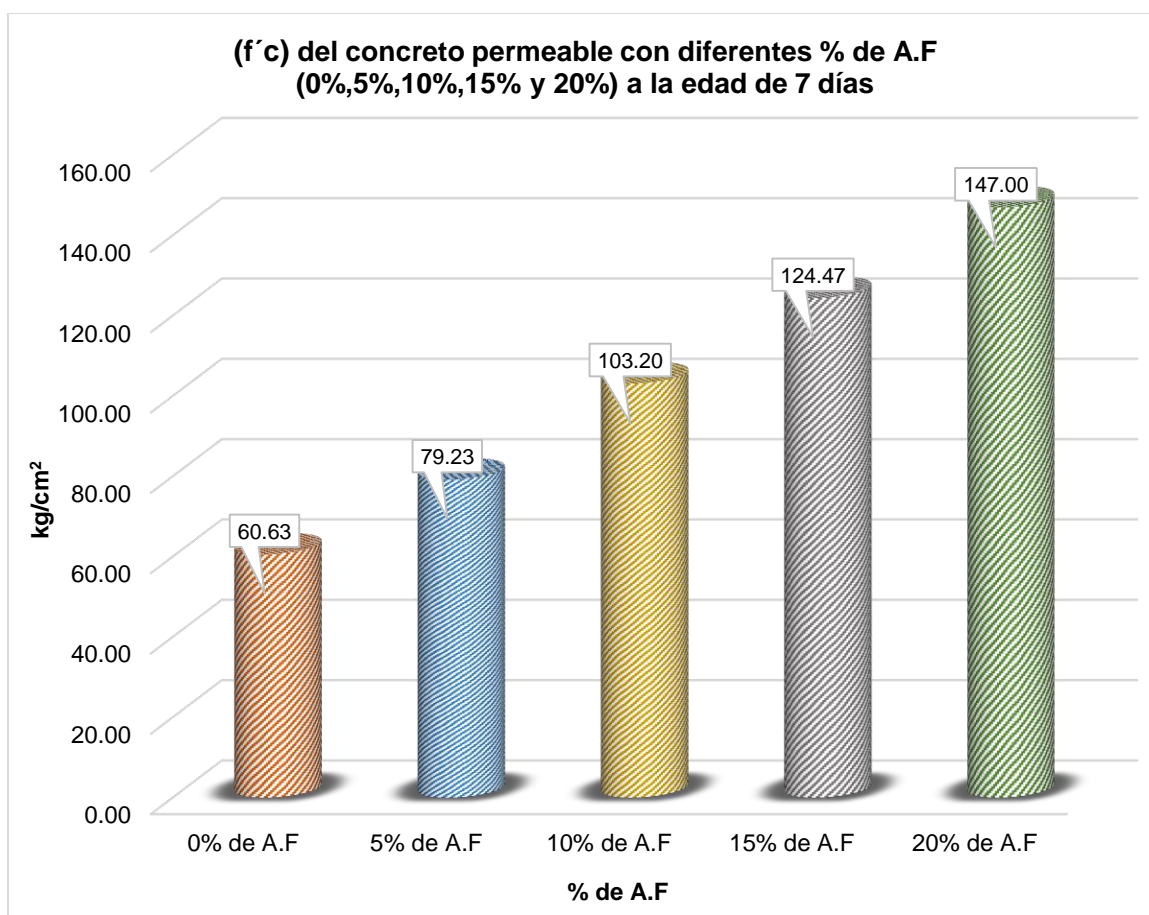
Diseño de muestra	N° de muestra	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Media	Desviación estándar
	2	140.2		
	3	146.5		

*Nota.* Los valores fueron obtenidos mediante el ensayo en probetas cilíndricas. Elaboración propia.

Según lo reflejado en la Tabla 27, al cumplirse el lapso de 7 días se obtuvo una media de 147.00 kg/cm<sup>2</sup>, acompañado de una dispersión muy baja, de 7.06 kg/cm<sup>2</sup>, calculada a partir de las 3 muestras evaluadas. Estos resultados evidencian la consistencia y estabilidad en el comportamiento observado bajo las condiciones del ensayo.

#### Figura 4

*Resistencia a la compresión del concreto permeable con diferentes % de A.F (0%,5%,10%,15% y 20%) a 7 días*



*Nota.* La figura 4 visualiza la variación de la (f'c) tras 7 días. Elaboración propia.

La Figura 4 visualiza los resultados del ensayo de resistencia a la compresión tras siete días de curado, considerando una integración del agregado fino en 0%, 5%, 10%, 15% y 20%, con valores registrados de (60.63, 79.23, 103.20, 124.47 y 147.00) kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente.

### 5.1.3.2. Resistencia a la compresión del concreto permeable a los 14 días

**Tabla 28**

*Resistencia a la compresión del concreto permeable (0% de A.F) a 14 días*

Diseño de muestra	N° de muestra	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Media	Desviación estándar
0% A.F	1	78.6	75.57	4.26
	2	70.7		
	3	77.4		

*Nota.* Los valores fueron obtenidos mediante el ensayo en probetas cilíndricas. Elaboración propia.

Según lo reflejado en la Tabla 28, al cumplirse el lapso de 14 días se obtuvo una media de 75.57 kg/cm<sup>2</sup>, acompañado de una dispersión muy baja, de 4.26 kg/cm<sup>2</sup>, calculada a partir de las 3 muestras evaluadas. Estos resultados evidencian la consistencia y estabilidad en el comportamiento observado bajo las condiciones del ensayo.

**Tabla 29**

*Resistencia a la compresión del concreto permeable (5% de A.F) a 14 días*

Diseño de muestra	N° de muestra	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Media	Desviación estándar
5% A.F	1	96.3	101.30	5.33
	2	100.7		
	3	106.9		

*Nota.* Los valores fueron obtenidos mediante el ensayo en probetas cilíndricas. Elaboración propia.

Según lo reflejado en la Tabla 29, al cumplirse el lapso de 14 días se obtuvo una media de 101.30 kg/cm<sup>2</sup>, acompañado de una dispersión muy baja, de 5.33 kg/cm<sup>2</sup>,

calculada a partir de las 3 muestras evaluadas. Estos resultados evidencian la consistencia y estabilidad en el comportamiento observado bajo las condiciones del ensayo.

**Tabla 30**

*Resistencia a la compresión del concreto permeable (10% de A.F) a 14 días*

Diseño de muestra	N° de muestra	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Media	Desviación estándar
10% A.F	1	130.9	129.67	5.46
	2	134.4		
	3	123.7		

*Nota.* Los valores fueron obtenidos mediante el ensayo en probetas cilíndricas. Elaboración propia.

Según lo reflejado en la Tabla 30, al cumplirse el lapso de 14 días se obtuvo una media de 129.67 kg/cm<sup>2</sup>, acompañado de una dispersión muy baja, de 5.46 kg/cm<sup>2</sup>, calculada a partir de las 3 muestras evaluadas. Estos resultados evidencian la consistencia y estabilidad en el comportamiento observado bajo las condiciones del ensayo.

**Tabla 31**

*Resistencia a la compresión del concreto permeable (15% de A.F) a 14 días*

Diseño de muestra	N° de muestra	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Media	Desviación estándar
15% A.F	1	149.4	155.80	6.78
	2	162.9		
	3	155.1		

*Nota.* Los valores fueron obtenidos mediante el ensayo en probetas cilíndricas. Elaboración propia.

Según lo reflejado en la Tabla 31, al cumplirse el lapso de 14 días se obtuvo una media de 155.80 kg/cm<sup>2</sup>, acompañado de una dispersión muy baja, de 6.78 kg/cm<sup>2</sup>, calculada a partir de las 3 muestras evaluadas. Estos resultados evidencian la consistencia y estabilidad en el comportamiento observado bajo las condiciones del ensayo.

**Tabla 32**

*Resistencia a la compresión del concreto permeable (20% de A.F) a 14 días*

Diseño de muestra	N° de muestra	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Media	Desviación estándar
20% A.F	1	175.8	183.47	7.55
	2	183.7		
	3	190.9		

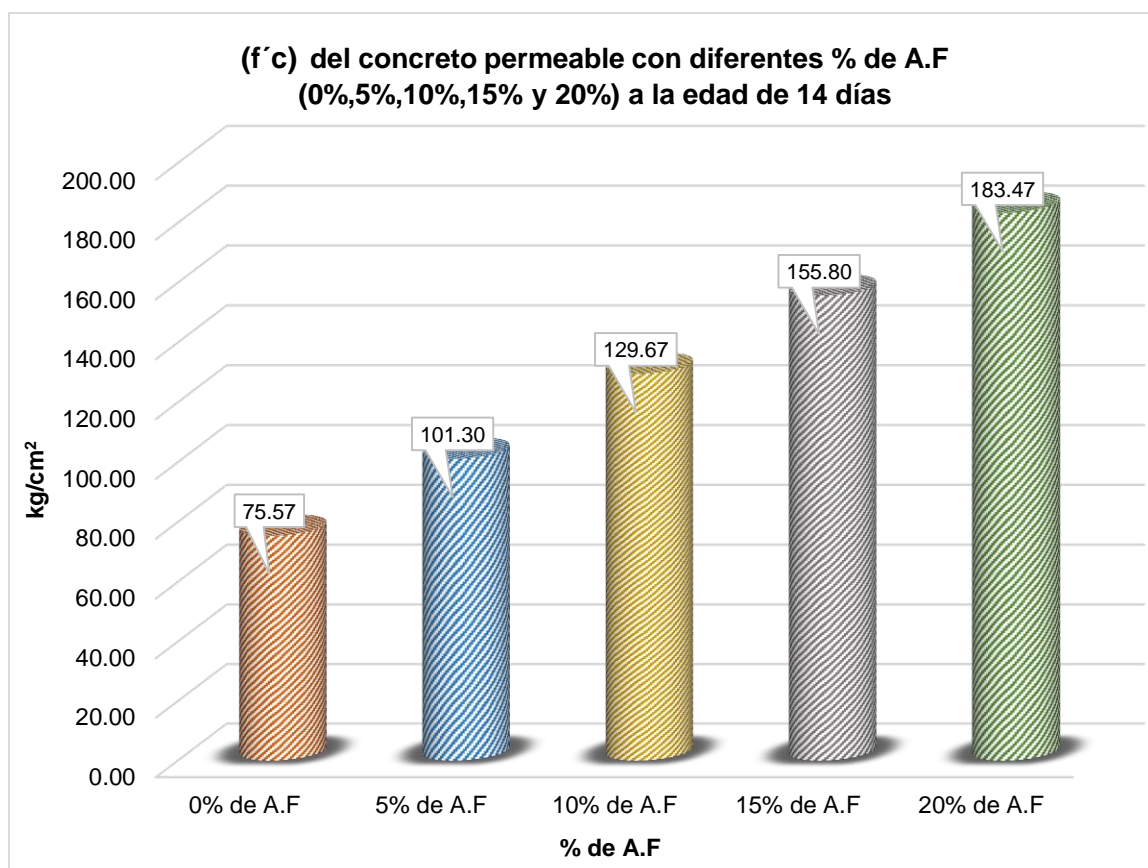
*Nota.* Los valores fueron obtenidos mediante el ensayo en probetas cilíndricas. Elaboración propia.

Según lo reflejado en la Tabla 32, al cumplirse el lapso de 14 días se obtuvo una media de 183.47 kg/cm<sup>2</sup>, acompañado de una dispersión muy baja, de 7.55 kg/cm<sup>2</sup>, calculada a partir de las 3 muestras evaluadas.

**Figura 5**

*Resistencia a la compresión del concreto permeable con diferentes % de A.F*

*(0%,5%,10%,15% y 20%) a 14 días*



*Nota.* La figura 5 visualiza la variación de la (f'c) tras 14 días. Elaboración propia.

La Figura 5 visualiza los resultados del ensayo de resistencia a la compresión tras catorce días de curado, considerando una integración del agregado fino en 0%, 5%, 10%, 15% y 20%, con valores registrados de (75.57, 101.30, 129.67, 155.80 y 183.47) kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente.

### 5.1.3.3. Resistencia a la compresión del concreto permeable a los 28 días

**Tabla 33**

*Resistencia a la compresión del concreto permeable (0% de A.F) a 28 días*

Diseño de muestra	N° de muestra	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Media	Desviación estándar
0% A.F	1	82.6	87.43	4.80
	2	92.2		
	3	87.5		

*Nota.* Los valores fueron obtenidos mediante el ensayo en probetas cilíndricas. Elaboración propia.

Según lo reflejado en la Tabla 33, al cumplirse el lapso de 28 días se obtuvo una media de 87.43 kg/cm<sup>2</sup>, acompañado de una dispersión muy baja, de 4.80 kg/cm<sup>2</sup>, calculada a partir de las 3 muestras evaluadas. Estos resultados evidencian la consistencia y estabilidad en el comportamiento observado bajo las condiciones del ensayo.

**Tabla 34**

*Resistencia a la compresión del concreto permeable (5% de A.F) a 28 días*

Diseño de muestra	N° de muestra	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Media	Desviación estándar
5% A.F	1	110.1	115.63	7.76
	2	124.5		
	3	112.3		

*Nota.* Los valores fueron obtenidos mediante el ensayo en probetas cilíndricas. Elaboración propia.

Según lo reflejado en la Tabla 34, al cumplirse el lapso de 28 días se obtuvo una media de 115.63 kg/cm<sup>2</sup>, acompañado de una dispersión muy baja, de 7.76 kg/cm<sup>2</sup>,

calculada a partir de las 3 muestras evaluadas. Estos resultados evidencian la consistencia y estabilidad en el comportamiento observado bajo las condiciones del ensayo.

**Tabla 35**

*Resistencia a la compresión del concreto permeable (10% de A.F) a 28 días*

Diseño de muestra	N° de muestra	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Media	Desviación estándar
10% A.F	1	154.8	148.40	7.40
	2	140.3		
	3	150.1		

*Nota.* Los valores fueron obtenidos mediante el ensayo en probetas cilíndricas. Elaboración propia.

Según lo reflejado en la Tabla 35, al cumplirse el lapso de 28 días se obtuvo una media de 148.40 kg/cm<sup>2</sup>, acompañado de una dispersión muy baja, de 7.40 kg/cm<sup>2</sup>, calculada a partir de las 3 muestras evaluadas. Estos resultados evidencian la consistencia y estabilidad en el comportamiento observado bajo las condiciones del ensayo.

**Tabla 36**

*Resistencia a la compresión del concreto permeable (15% de A.F) a 28 días*

Diseño de muestra	N° de muestra	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Media	Desviación estándar
15% A.F	1	187.9	178.20	8.84
	2	176.1		
	3	170.6		

*Nota.* Los valores fueron obtenidos mediante el ensayo en probetas cilíndricas. Elaboración propia.

Según lo reflejado en la Tabla 36, al cumplirse el lapso de 28 días se obtuvo una media de 178.20 kg/cm<sup>2</sup>, acompañado de una dispersión muy baja, de 8.84 kg/cm<sup>2</sup>, calculada a partir de las 3 muestras evaluadas. Estos resultados evidencian la consistencia y estabilidad en el comportamiento observado bajo las condiciones del ensayo.

**Tabla 37**

*Resistencia a la compresión del concreto permeable (20% de A.F) a 28 días*

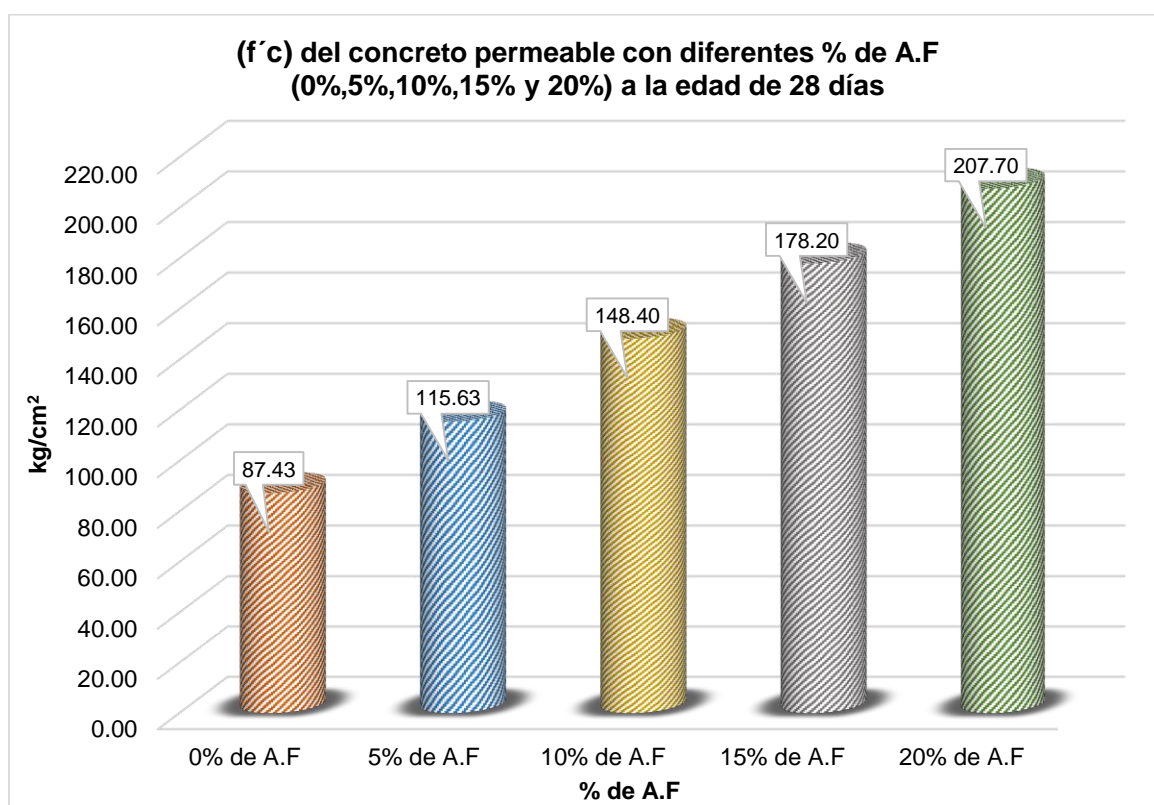
Diseño de muestra	N° de muestra	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Media	Desviación estándar
20% A.F	1	208.9	207.70	4.52
	2	211.5		
	3	202.7		

*Nota.* Los valores fueron obtenidos mediante el ensayo en probetas cilíndricas. Elaboración propia.

Según lo reflejado en la Tabla 37, al cumplirse el lapso de 28 días se obtuvo una media de 207.70 kg/cm<sup>2</sup>, acompañado de una dispersión muy baja, de 4.52 kg/cm<sup>2</sup>, calculada a partir de las 3 muestras evaluadas. Estos resultados evidencian la consistencia y estabilidad en el comportamiento observado bajo las condiciones del ensayo.

**Figura 6**

*Resistencia a la compresión del concreto permeable con diferentes % de A.F (0%, 5%, 10%, 15% y 20%) a 28 días*



*Nota.* La figura 6 visualiza la variación de la f'c tras 28 días. Elaboración propia.

La Figura 6 visualiza los resultados del ensayo de resistencia a la compresión tras veintiocho días de curado, considerando una integración del agregado fino en 0%, 5%, 10%, 15% y 20%, con valores registrados de (87.43, 115.63, 148.40, 178.20 y 207.70) kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente.

#### 5.1.4. Resultados del objetivo específico 4

**Tabla 38**

*Resistencia a la flexión (MR) del concreto permeable con 0% de A.F a 28 días*

Diseño de muestra	N° de muestra	MR (kg/cm <sup>2</sup> )	Media	Desviación estándar
0% A.F	1	17.5	17.83	0.35
	2	18.2		
	3	17.8		

*Nota.* Los valores de módulo de rotura fueron determinados a través de ensayos realizados en vigas. Elaboración propia.

Según lo reflejado en la Tabla 38, al cumplirse el lapso de 28 días se obtuvo una media de 17.83 kg/cm<sup>2</sup>, acompañado de una dispersión muy baja, de 0.35 kg/cm<sup>2</sup>, calculada a partir de las 3 muestras evaluadas. Estos resultados evidencian la consistencia y estabilidad en el comportamiento observado bajo las condiciones del ensayo.

**Tabla 39**

*Resistencia a la flexión (MR) del concreto permeable con 5% de A.F a 28 días*

Diseño de muestra	N° de muestra	MR (kg/cm <sup>2</sup> )	Media	Desviación estándar
5% A.F	1	21.3	21.50	1.81
	2	23.4		
	3	19.8		

*Nota.* Los valores de módulo de rotura fueron determinados a través de ensayos realizados en vigas. Elaboración propia.

Según lo reflejado en la Tabla 39, al cumplirse el lapso de 28 días se obtuvo una media de 21.50 kg/cm<sup>2</sup>, acompañado de una dispersión muy baja, de 1.81 kg/cm<sup>2</sup>,

calculada a partir de las 3 muestras evaluadas. Estos resultados evidencian la consistencia y estabilidad en el comportamiento observado bajo las condiciones del ensayo.

**Tabla 40**

*Resistencia a la flexión (MR) del concreto permeable con 10% de A.F a 28 días*

Diseño de muestra	N° de muestra	MR (kg/cm <sup>2</sup> )	Media	Desviación estándar
10% A.F	1	26.4	25.70	1.04
	2	24.5		
	3	26.2		

*Nota.* Los valores de módulo de rotura fueron determinados a través de ensayos realizados en vigas. Elaboración propia.

Según lo reflejado en la Tabla 40, al cumplirse el lapso de 28 días se obtuvo una media de 25.70 kg/cm<sup>2</sup>, acompañado de una dispersión muy baja, de 1.04 kg/cm<sup>2</sup>, calculada a partir de las 3 muestras evaluadas. Estos resultados evidencian la consistencia y estabilidad en el comportamiento observado bajo las condiciones del ensayo.

**Tabla 41**

*Resistencia a la flexión (MR) del concreto permeable con 15% de A.F a 28 días*

Diseño de muestra	N° de muestra	MR (kg/cm <sup>2</sup> )	Media	Desviación estándar
15% A.F	1	29.5	28.77	0.81
	2	28.9		
	3	27.9		

*Nota.* Los valores de módulo de rotura fueron determinados a través de ensayos realizados en vigas. Elaboración propia.

Según lo reflejado en la Tabla 41, al cumplirse el lapso de 28 días se obtuvo una media de 28.77 kg/cm<sup>2</sup>, acompañado de una dispersión muy baja, de 0.81 kg/cm<sup>2</sup>, calculada a partir de las 3 muestras evaluadas. Estos resultados evidencian la consistencia y estabilidad en el comportamiento observado bajo las condiciones del ensayo.

**Tabla 42**

*Resistencia a la flexión (MR) del concreto permeable con 20% de A.F a 28 días*

Diseño de muestra	N° de muestra	MR (kg/cm <sup>2</sup> )	Media	Desviación estándar
20% A.F	1	32.3	32.30	1.10
	2	33.4		
	3	31.2		

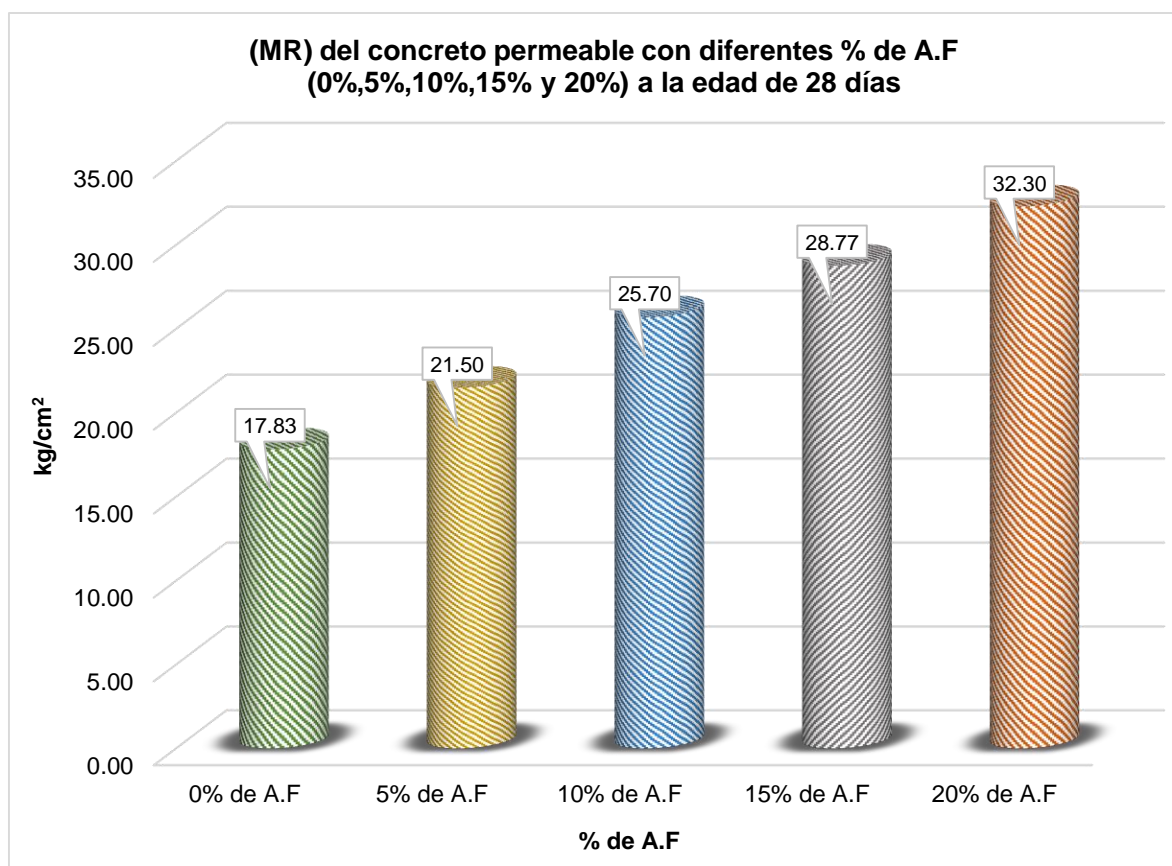
*Nota.* Los valores de módulo de rotura fueron determinados a través de ensayos realizados en vigas. Elaboración propia.

Según lo reflejado en la Tabla 42, al cumplirse el lapso de 28 días se obtuvo una media de 32.30 kg/cm<sup>2</sup>, acompañado de una dispersión muy baja, de 1.10 kg/cm<sup>2</sup>, calculada a partir de las 3 muestras evaluadas.

**Figura 7**

*Resistencia a la flexión (MR) del concreto permeable con diferentes % de A.F*

*(0%,5%,10%,15% y 20%) a 28 días*



*Nota.* La figura 7 visualiza la variación del MR tras 28 días de curado. Elaboración propia.

La Figura 7 visualiza los resultados del ensayo del módulo de rotura tras veintiocho días de curado, considerando una integración del agregado fino en 0%, 5%, 10%, 15% y 20%, con valores registrados de (17.83, 21.50, 25.70, 28.77 y 32.30) kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente.

### 5.1.5. Resultados del objetivo general

**Tabla 43**

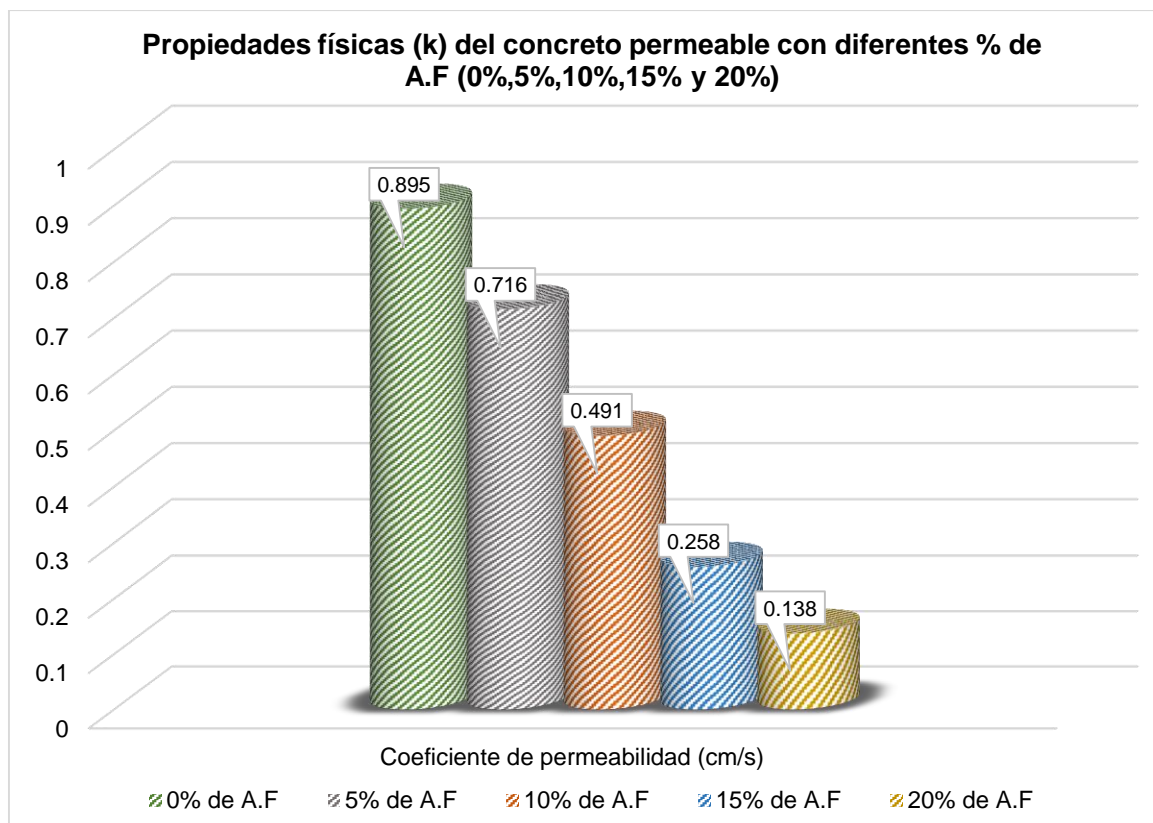
*Propiedades físicas (coeficiente de permeabilidad) del concreto permeable con diferentes % de A.F (0%,5%,10%,15% y 20%)*

Propiedades físicas	0% de A.F	5% de A.F	10% de A.F	15% de A.F	20% de A.F
k (cm/s)	0.895	0.716	0.491	0.258	0.138

*Nota.* Resultados expresados en cm/s conforme a la metodología. Elaboración propia.

**Figura 8**

*Propiedades físicas (Coeficiente de permeabilidad) del concreto permeable con diferentes % de A.F (0%,5%,10%,15% y 20%)*



*Nota.* Los resultados fueron obtenidos mediante el permeámetro. Elaboración propia.

La figura 8 se visualiza los resultados de las propiedades físicas del concreto permeable con la adición de diferentes porcentajes de agregado fino (0%, 5%, 10%, 15% y 20%) en relación con el coeficiente de permeabilidad. Registrando valores de (0.895, 0.716, 0.491, 0.258 y 0.138) cm/s, respectivamente.

**Tabla 44**

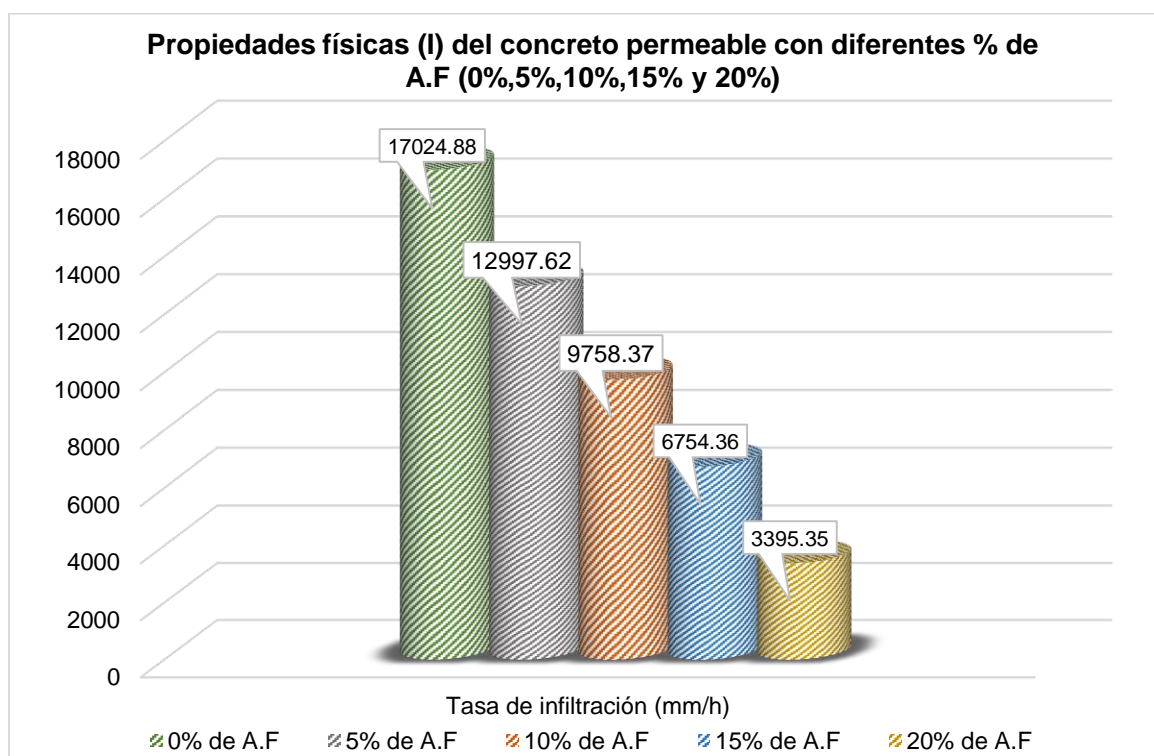
*Propiedades físicas (tasa de infiltración) del concreto permeable con diferentes % de A.F (0%,5%,10%,15% y 20%)*

Propiedades físicas	0% de A.F	5% de A.F	10% de A.F	15% de A.F	20% de A.F
I (mm/h)	17024.88	12997.62	9758.37	6754.36	3395.35

*Nota.* Resultados expresados en mm/h conforme a la metodología. Elaboración propia.

**Figura 9**

*Propiedades físicas (tasa de infiltración) del concreto permeable con diferentes % de A.F (0%,5%,10%,15% y 20%)*



*Nota.* Los resultados fueron obtenidos mediante el anillo de infiltración. Elaboración propia.

La figura 9 se visualiza los resultados de las propiedades físicas del concreto permeable con la adición de diferentes porcentajes de agregado fino (0%, 5%, 10%, 15%

y 20%) en relación con la tasa de infiltración. Registrando valores de (17024.88, 12997.62, 9758.37, 6754.36, 3395.35) mm/h, respectivamente.

**Tabla 45**

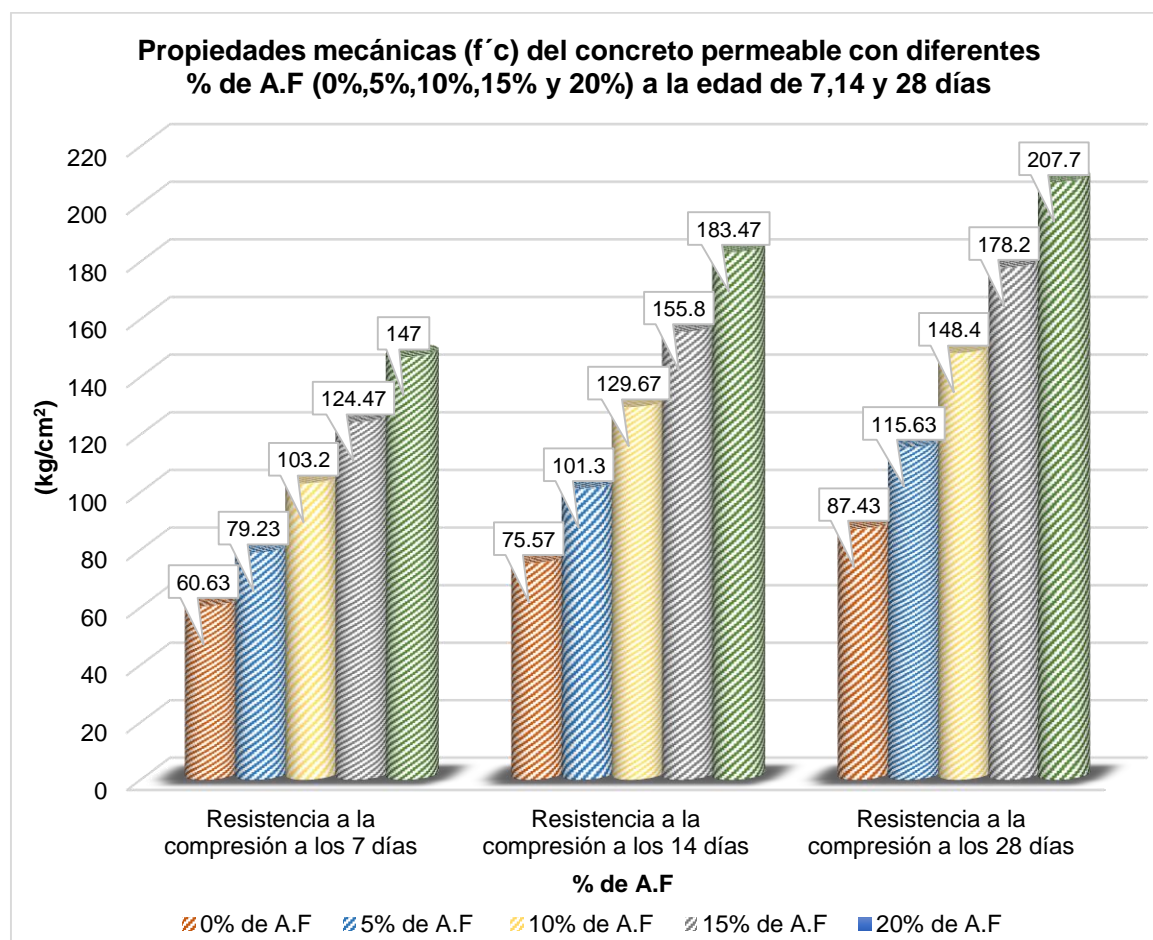
*Propiedades mecánicas (resistencia a la compresión) del concreto permeable con diferentes % de A.F (0%,5%,10%,15% y 20%)*

Propiedades mecánicas	0% de A.F	5% de A.F	10% de A.F	15% de A.F	20% de A.F
f'c (kg/cm <sup>2</sup> ) a los 7 días	60.63	79.23	103.20	124.47	147.00
f'c (kg/cm <sup>2</sup> ) a los 14 días	75.57	101.30	129.67	155.80	183.47
f'c (kg/cm <sup>2</sup> ) a los 28 días	87.43	115.63	148.40	178.20	207.70

Nota. Resultados expresados en kg/cm<sup>2</sup> conforme a la metodología Elaboración propia.

**Figura 10**

*Propiedades mecánicas (resistencia a la compresión) del concreto permeable con diferentes % de A.F (0%,5%,10%,15% y 20%)*



Nota. Los valores fueron determinados a distintas edades. Elaboración propia.

La figura 10 se visualiza los resultados obtenidos de la resistencia a la compresión del concreto permeable con diferentes adiciones de agregado fino (0%, 5%, 10%, 15% y 20%) a las edades de 7, 14 y 28 días. En donde la máxima resistencia se dio con 20% de agregado fino en cada edad dando resultados de (147.00, 183.47 y 207.7) kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente.

**Tabla 46**

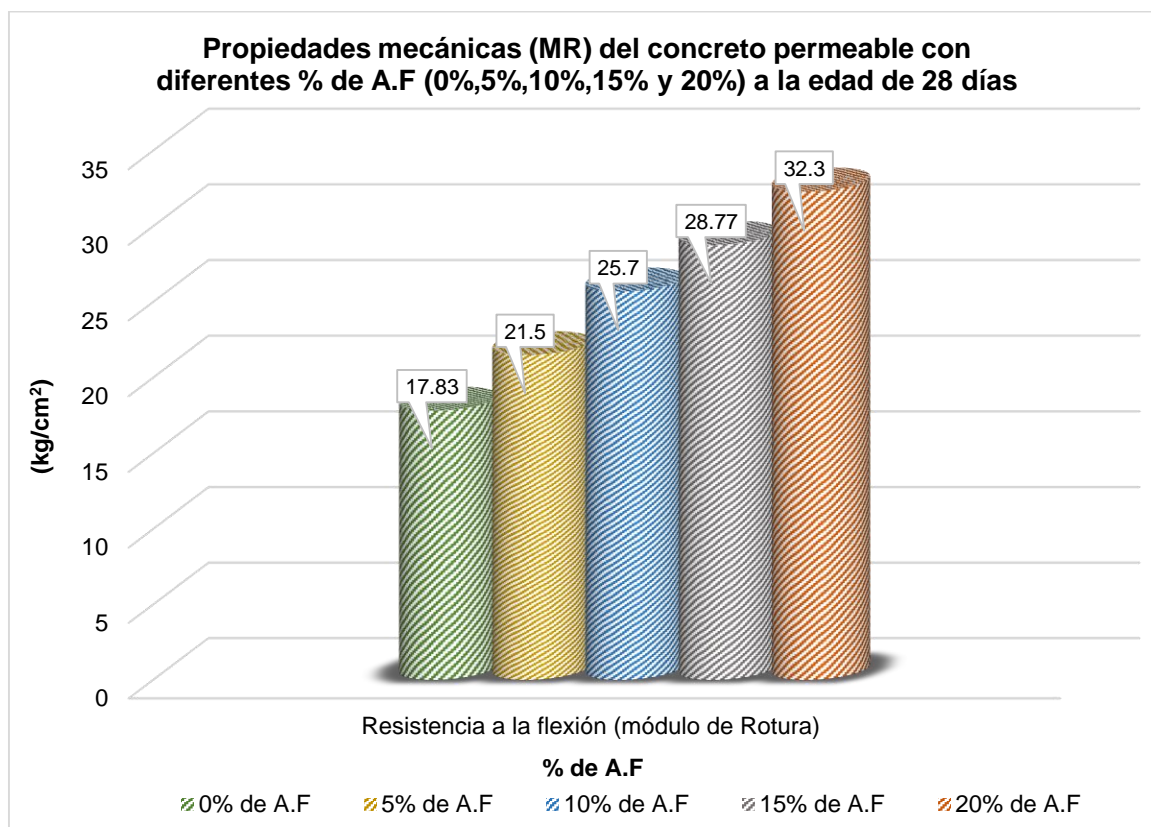
*Propiedades mecánicas (resistencia a la flexión) del concreto permeable con diferentes % de A.F (0%,5%,10%,15% y 20%)*

Propiedades mecánicas	0% de A.F	5% de A.F	10% de A.F	15% de A.F	20% de A.F
MR (kg/cm <sup>2</sup> )	17.83	21.50	25.70	28.77	32.30

*Nota.* Resultados expresados en kg/cm<sup>2</sup>. Elaboración propia.

**Figura 11**

*Propiedades mecánicas (resistencia a la flexión) del concreto permeable con diferentes % de A.F (0%,5%,10%,15% y 20%)*



*Nota.* Los valores que se muestran son datos del MR. Elaboración propia.

En la figura 11 se muestra los resultados obtenidos del módulo de rotura del concreto permeable, se puede observar que a medida que se adicione agregado fino en proporciones de 0%, 5%, 10%, 15% y 20% el módulo de rotura tiende a aumentar registrando valores de (17.83, 21.50, 25.70, 28.77 y 32.30) kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente.

## 5.2. Contratación de hipótesis

### 5.2.1. Prueba estadística para la hipótesis específica 1

**Paso 1.** Para contrastar la hipótesis se empleó el ANOVA de un factor, por que intervinieron más de 2 medias poblacionales.

**Paso 2.** Se evaluó la distribución normal de los datos en cada uno de los grupos de estudio, con el software IBM SPSS Statistics Base 26.

**H<sub>0</sub>:** La variable analizada sigue una distribución normal.

**H<sub>1</sub>:** La variable analizada no sigue una distribución normal.

**Cuando  $p < 0.05$ :** “Si el valor p es  $<$  a 0.05, se rechaza la hipótesis nula”.

**Cuando  $p \geq 0.05$ :** “Si el valor p es  $\geq$  a 0.05, no se rechaza la hipótesis nula”.

**Tabla 47**

*Prueba de normalidad del coeficiente de permeabilidad del concreto permeable*

Variable dependiente	Grupos	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	p-valor
k (cm/s)	0% de A.F	0.992	3	0.826
	5% de A.F	0.964	3	0.637
	10% de A.F	0.907	3	0.407
	15% de A.F	0.964	3	0.637
	20% de A.F	1.000	3	1.000

*Nota.* Prueba realizada mediante Shapiro-Wilk porque es precisa y confiable, y se utiliza en muestras pequeñas. Elaboración propia.

Según lo mostrado en la Tabla 47, al obtenerse valores p superiores a 0.05 en todos los grupos, se concluye que siguen una distribución normal.

**Paso 3.** Se determinó si existe homogeneidad de varianzas mediante el software IBM SPSS Statistics Base 26.

**Tabla 48**

*Prueba de homogeneidad de varianzas del coeficiente de permeabilidad del concreto permeable*

Variable dependiente		Estadístico de levene	gl1	gl2	p-valor
k (cm/s)	Se basa en la media	2.530	4	10	0.107
	Se basa en la mediana	1.290	4	10	0.337
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	1.290	4	5.337	0.380
	Se basa en la media recortada	2.440	4	10	0.115

*Nota.* Como el p-valor es mayor a 0.05 se puede afirmar que las varianzas entre los grupos son homogéneas. Elaboración propia.

**Paso 4.** Se realizó el ANOVA de un factor, mediante el software estadístico IBM SPSS Statistics Base 26.

**H<sub>0</sub>:**  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$ , Las medias de los coeficientes de permeabilidad del concreto permeable no presentan diferencias significativas.

**H<sub>1</sub>:** Al menos una de las medias ( $\mu_i$ ) del coeficiente de permeabilidad del concreto permeable difiere significativamente de las otras.

**Cuando  $p < 0.05$ :** “Si el valor  $p < a 0.05$ , se rechaza la hipótesis nula, lo que indica que existen diferencias significativas entre los grupos comparados”.

**Cuando  $p \geq 0.05$ :** “Si el valor  $p$  es  $\geq a 0.05$ , no se rechaza la hipótesis nula, lo que sugiere que no hay diferencias significativas entre los grupos evaluados”.

**Tabla 49**

*ANOVA de un factor del coeficiente de permeabilidad del concreto permeable*

k	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p-valor
Entre grupos	1.176	4	0.294	9546.878	0.000
Dentro de grupos	0.000	10	0.000		
total	1.176	14			

*Nota.* ANOVA realizado con un nivel de significancia de 0.05. Elaboración propia.

Con base en los resultados de la Tabla 49, se obtuvo un valor p inferior a 0.05, lo que conlleva al rechazo de la hipótesis nula y la aceptación de la hipótesis alterna. Se identifica que una o más de las medias del coeficiente de permeabilidad del concreto permeable difieren estadísticamente, en las dosificaciones de 0%, 5%, 10%, 15% y 20% de agregado fino. Por ello, es pertinente aplicar pruebas post hoc para determinar entre qué grupos específicos se encuentran dichas diferencias.

**Paso 5.** Se realizó las pruebas post hoc.

**Tabla 50**

*Comparaciones múltiples HSD Tukey del coeficiente de permeabilidad del concreto permeable*

Grupos (I)	Grupo (J)	Diferencia de medias (I-J)	Desv. error	p-valor
0% de A.F	5% de A.F	0.179333*	0.004531	0.000
	10% de A.F	0.403667*	0.004531	0.000
	15% de A.F	0.636667*	0.004531	0.000
	20% de A.F	0.757000*	0.004531	0.000
5% de A.F	0% de A.F	-0.179333*	0.004531	0.000
	10% de A.F	0.224333*	0.004531	0.000
	15% de A.F	0.457333*	0.004531	0.000
	20% de A.F	0.577667*	0.004531	0.000
10% de A.F	0% de A.F	-0.403667*	0.004531	0.000
	5% de A.F	-0.224333*	0.004531	0.000
	15% de A.F	0.233000*	0.004531	0.000
	20% de A.F	0.353333*	0.004531	0.000
15% de A.F	0% de A.F	-0.636667*	0.004531	0.000
	5% de A.F	-0.457333*	0.004531	0.000
	10% de A.F	-0.233000*	0.004531	0.000
	20% de A.F	0.120333*	0.004531	0.000
20% de A.F	0% de A.F	-0.757000*	0.004531	0.000
	5% de A.F	-0.577667*	0.004531	0.000
	10% de A.F	-0.353333*	0.004531	0.000
	15% de A.F	-0.120333*	0.004531	0.000

Nota. Prueba Honestly Significant Difference Tukey. Elaboración propia.

De la tabla 50 se puede observar que en cada comparación realizada con los diferentes grupos de agregado fino p-valor es menor a 0.05 en todos, lo cual indica que hay diferencias significativas en todos los grupos.

**Tabla 51**

*Subconjuntos homogéneos HSD Tukey del coeficiente de permeabilidad del concreto permeable*

Grupos	N	Subconjunto para alfa = 0.05				
		1	2	3	4	5
20% de A.F	3	0.138				
15% de A.F	3		0.258			
10% de A.F	3			0.491		
5% de A.F	3				0.716	
0% de A.F	3					0.895
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

*Nota.* Prueba Honestly Significant Difference Tukey. Elaboración propia.

La Tabla 51 expone los subconjuntos homogéneos obtenidos del análisis del coeficiente de permeabilidad. Se observa que el subconjunto conformado por los grupos con 20%, 15%, 10% y 5% de agregado fino presenta valores significativamente inferiores al grupo con 0% de agregado fino.

#### **Paso 6.** Contrastación

En la Tabla 51, se observa una tendencia decreciente en el coeficiente de permeabilidad conforme aumenta el porcentaje de agregado fino (0%, 5%, 10%, 15% y 20%), con valores de (0.895, 0.716, 0.491, 0.258 y 0.138) cm/s, respectivamente. Estos datos indican que la incorporación de agregado fino tiene un impacto significativo en el coeficiente de permeabilidad del concreto.

#### **5.2.2. Prueba estadística para la hipótesis específica 2**

**Paso 1.** Para contrastar la hipótesis se empleó el ANOVA de un factor.

**Paso 2.** Se evaluó la distribución normal de los datos en cada uno de los grupos de estudio, con el software IBM SPSS Statistics Base 26.

**H<sub>0</sub>:** La variable analizada sigue una distribución normal.

$H_1$ : La variable analizada no sigue una distribución normal.

**Cuando  $p < 0.05$ :** “Si el valor p es  $<$  a 0.05, se rechaza la hipótesis nula”.

**Cuando  $p \geq 0.05$ :** “Si el valor p es  $\geq$  a 0.05, no se rechaza la hipótesis nula”.

**Tabla 52**

*Prueba de normalidad de la tasa de infiltración del concreto permeable*

Variable dependiente	Grupos	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	p-valor
I (mm/h)	0% de A.F	0.949	3	0.567
	5% de A.F	0.911	3	0.421
	10% de A.F	0.991	3	0.819
	15% de A.F	0.999	3	0.948
	20% de A.F	0.956	3	0.597

*Nota.* Prueba realizada mediante Shapiro-Wilk porque es precisa y confiable, y se utiliza en muestras pequeñas. Elaboración propia.

Según lo mostrado en la Tabla 52, al obtenerse valores p superiores a 0.05 en todos los grupos, se concluye que siguen una distribución normal.

**Paso 3.** Se determinó si existe homogeneidad de varianzas mediante el software IBM SPSS Statistics Base 26.

**Tabla 53**

*Prueba de homogeneidad de varianzas de la tasa de infiltración del concreto permeable*

Variable dependiente		Estadístico de levene	gl1	gl2	p-valor
I (mm/h)	Se basa en la media	2.953	4	10	0.075
	Se basa en la mediana	0.952	4	10	0.474
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0.952	4	4.721	0.508
	Se basa en la media recortada	2.770	4	10	0.087

*Nota.* Como el p-valor es mayor a 0.05 se puede afirmar que las varianzas entre los grupos son homogéneas. Elaboración propia.

**Paso 4.** Se realizó el ANOVA de un factor, mediante el software estadístico IBM SPSS Statistics Base 26.

**H<sub>0</sub>:**  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$ , Las medias de las tasas de infiltración del concreto permeable no presentan diferencias significativas.

**H<sub>1</sub>:** Al menos una de las medias ( $\mu_i$ ) de las tasas de infiltración del concreto permeable difiere significativamente de las otras.

**Cuando  $p < 0.05$ :** “Si el valor p es  $<$  a 0.05, se rechaza la hipótesis nula, lo que indica que existen diferencias significativas entre los grupos comparados”.

**Cuando  $p \geq 0.05$ :** “Si el valor p es  $\geq$  a 0.05, no se rechaza la hipótesis nula, lo que sugiere que no hay diferencias significativas entre los grupos evaluados”.

**Tabla 54**

*ANOVA de un factor de la tasa de infiltración del concreto permeable*

I	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p-valor
Entre grupos	337643075.6	4	84410768.90	786975.913	0.000
Dentro de grupos	1072.597	10	107.260		
total	337644148.2	14			

*Nota.* ANOVA realizado con un nivel de significancia de 0.05. Elaboración propia.

Con base en los resultados de la Tabla 54, se obtuvo un valor p inferior a 0.05, lo que conlleva al rechazo de la hipótesis nula y la aceptación de la hipótesis alternativa. Esto sugiere que al menos una de las medias de la tasa de infiltración difiere significativamente. Por ello, es pertinente aplicar pruebas post hoc para determinar entre qué grupos específicos se encuentran dichas diferencias.

**Paso 5.** Se realizó las pruebas post hoc.

**Tabla 55**

*Comparaciones múltiples HSD Tukey de la tasa de infiltración del concreto permeable*

Grupos (I)	Grupo (J)	Diferencia de medias (I-J)	Desv. error	p-valor
	5% de A.F	4027.26667*	8.45615	0.000
0% de A.F	10% de A.F	7266.51000*	8.45615	0.000
	15% de A.F	10270.52333*	8.45615	0.000
	20% de A.F	13629.53333*	8.45615	0.000
5% de A.F	0% de A.F	-4027.26667*	8.45615	0.000

Grupos (I)	Grupo (J)	Diferencia de medias (I-J)	Desv. error	p-valor
10% de A.F	10% de A.F	3239.24333*	8.45615	0.000
	15% de A.F	6243.25667*	8.45615	0.000
	20% de A.F	9602.26667*	8.45615	0.000
	0% de A.F	-7266.51000*	8.45615	0.000
	5% de A.F	-3239.24333*	8.45615	0.000
15% de A.F	15% de A.F	3004.01333*	8.45615	0.000
	20% de A.F	6363.02333*	8.45615	0.000
	0% de A.F	-10270.52333*	8.45615	0.000
	5% de A.F	-6243.25667*	8.45615	0.000
20% de A.F	10% de A.F	-3004.01333*	8.45615	0.000
	20% de A.F	3359.01000*	8.45615	0.000
	0% de A.F	-13629.53333*	8.45615	0.000
	5% de A.F	-9602.26667*	8.45615	0.000
	10% de A.F	-6363.02333*	8.45615	0.000
	15% de A.F	-3359.01000*	8.45615	0.000

Nota. Prueba Honestly Significant Difference Tukey. Elaboración propia.

De la tabla 55 se puede observar que en cada comparación realizada con los diferentes grupos de agregado fino p-valor es menor a 0.05 en todos, lo cual indica que hay diferencias significativas en todos los grupos.

**Tabla 56**

*Subconjuntos homogéneos HSD Tukey de la tasa de infiltración del concreto permeable*

Grupos	N	Subconjunto para alfa = 0.05				
		1	2	3	4	5
20% de A.F	3	3395.35				
15% de A.F	3		6754.36			
10% de A.F	3			9758.37		
5% de A.F	3				12997.62	
0% de A.F	3					17024.88
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Nota. Prueba Honestly Significant Difference Tukey. Elaboración propia.

La Tabla 56 expone los subconjuntos homogéneos obtenidos del análisis de la tasa de infiltración del concreto permeable. Se observa que el subconjunto conformado por los

grupos con 20%, 15%, 10% y 5% de agregado fino presenta valores significativamente inferiores al grupo con 0% de agregado fino.

#### **Paso 6. Contrastación**

En la Tabla 56, se observa una tendencia decreciente en la tasa de infiltración del concreto permeable conforme aumenta el porcentaje de agregado fino (0%, 5%, 10%, 15% y 20%), con valores de (17024.88, 12997.62, 9758.37, 6754.36 y 3395.35) mm/h, respectivamente. Estos datos indican que la incorporación de agregado fino tiene un impacto significativo en la tasa de infiltración.

### **5.2.3. Prueba estadística para la hipótesis específica 3**

#### **5.2.3.1. Resistencia a la compresión del concreto permeable a los 7 días**

**Paso 1.** Para contrastar la hipótesis se empleó el ANOVA de un factor, por que intervinieron más de 2 medias poblacionales.

**Paso 2.** Se evaluó la distribución normal de los datos en cada uno de los grupos de estudio, con el software IBM SPSS Statistics Base 26.

**H<sub>0</sub>:** La variable analizada sigue una distribución normal.

**H<sub>1</sub>:** La variable analizada no sigue una distribución normal.

**Cuando  $p < 0.05$ :** “Si el valor p es  $<$  a 0.05, se rechaza la hipótesis nula”.

**Cuando  $p \geq 0.05$ :** “Si el valor p es  $\geq$  a 0.05, no se rechaza la hipótesis nula”.

#### **Tabla 57**

*Prueba de normalidad de la resistencia a la compresión del concreto permeable a 7 días*

Variable dependiente	Grupos	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	p-valor
f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	0% de A.F	0.959	3	0.612
	5% de A.F	0.996	3	0.882
	10% de A.F	0.955	3	0.589
	15% de A.F	0.971	3	0.676
	20% de A.F	0.996	3	0.883

*Nota.* Prueba realizada mediante Shapiro-Wilk porque es precisa y confiable, y se utiliza en muestras pequeñas. Elaboración propia.

Según lo mostrado en la Tabla 57, al obtenerse valores p superiores a 0.05 en todos los grupos, se concluye que siguen una distribución normal.

**Paso 3.** Se determinó si existe homogeneidad de varianzas mediante el software IBM SPSS Statistics Base 26.

**Tabla 58**

*Prueba de homogeneidad de varianzas de la resistencia a la compresión del concreto permeable a 7 días*

Variable dependiente		Estadístico de levene	gl1	gl2	p-valor
f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Se basa en la media	0.088	4	10	0.984
	Se basa en la mediana	0.048	4	10	0.995
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0.048	4	9.591	0.995
	Se basa en la media recortada	0.085	4	10	0.985

*Nota.* Como el p-valor es mayor a 0.05 se puede afirmar que las varianzas entre los grupos son homogéneas. Elaboración propia.

**Paso 4.** Se realizó el análisis de varianza de un factor, mediante el software IBM SPSS Statistics Base 26.

**H<sub>0</sub>:**  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$ , Las medias de la resistencia a la compresión del concreto permeable no presentan diferencias significativas.

**H<sub>1</sub>:** Al menos una de las medias ( $\mu_i$ ) de la resistencia a la compresión del concreto permeable difiere significativamente de las otras.

**Cuando  $p < 0.05$ :** “Si el valor p es  $<$  a 0.05, se rechaza la hipótesis nula, lo que indica que existen diferencias significativas entre los grupos comparados”.

**Cuando  $p \geq 0.05$ :** “Si el valor p es  $\geq$  a 0.05, no se rechaza la hipótesis nula, lo que sugiere que no hay diferencias significativas entre los grupos evaluados”.

**Tabla 59**

*ANOVA de un factor de la resistencia a la compresión del concreto permeable a 7 días*

<b>f'c</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>gl</b>	<b>Media Cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Entre grupos	14269.809	4	3567.452	94.647	0.000
Dentro de grupos	376.920	10	37.692		
total	14646.729	14			

*Nota.* ANOVA realizado con un nivel de significancia de 0.05. Elaboración propia.

Con base en los resultados de la Tabla 59, se obtuvo un valor p inferior a 0.05, lo que conlleva al rechazo de la hipótesis nula y la aceptación de la hipótesis alternativa. Esto sugiere que al menos una de las medias de la resistencia a la compresión del concreto permeable a los 7 días, difiere significativamente. Por ello, es pertinente aplicar pruebas post hoc para determinar entre qué grupos específicos se encuentran dichas diferencias.

**Paso 5.** Se realizó las pruebas post hoc.

**Tabla 60**

*Comparaciones múltiples HSD Tukey de la resistencia a la compresión del concreto permeable a 7 días*

<b>Grupos (I)</b>	<b>Grupo (J)</b>	<b>Diferencia de medias (I-J)</b>	<b>Desv. error</b>	<b>p-valor</b>
	5% de A.F	-18.60000*	5.01278	0.026
0% de A.F	10% de A.F	-42.56667*	5.01278	0.000
	15% de A.F	-63.83333*	5.01278	0.000
	20% de A.F	-86.36667*	5.01278	0.000
	0% de A.F	18.60000*	5.01278	0.026
5% de A.F	10% de A.F	-23.96667*	5.01278	0.005
	15% de A.F	-45.23333*	5.01278	0.000
	20% de A.F	-67.76667*	5.01278	0.000
	0% de A.F	42.56667*	5.01278	0.000
10% de A.F	5% de A.F	23.96667*	5.01278	0.005
	15% de A.F	-21.26667*	5.01278	0.012
	20% de A.F	-43.80000*	5.01278	0.000
	0% de A.F	63.83333*	5.01278	0.000
15% de A.F	5% de A.F	45.23333*	5.01278	0.000
	10% de A.F	21.26667*	5.01278	0.012

Grupos (I)	Grupo (J)	Diferencia de medias (I-J)	Desv. error	p-valor
20% de A.F	20% de A.F	-22.53333*	5.01278	0.008
	0% de A.F	86.36667*	5.01278	0.000
	5% de A.F	67.76667*	5.01278	0.000
	10% de A.F	43.80000*	5.01278	0.000
	15% de A.F	22.53333*	5.01278	0.008

Nota. Prueba Honestly Significant Difference Tukey. Elaboración propia.

De la tabla 60 se puede observar que en cada comparación realizada con los diferentes grupos de agregado fino p-valor es menor a 0.05 en todos, lo cual indica que hay diferencias significativas en todos los grupos.

**Tabla 61**

*Subconjuntos homogéneos HSD Tukey de la resistencia a la compresión del concreto permeable a 7 días*

Grupos	N	Subconjunto Para alfa = 0.05				
		1	2	3	4	5
0% de A.F	3	60.63				
5% de A.F	3		79.23			
10% de A.F	3			103.20		
15% de A.F	3				124.47	
20% de A.F	3					147.00
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Nota. Prueba Honestly Significant Difference Tukey. Elaboración propia.

La Tabla 61 muestra los subconjuntos homogéneos de la resistencia a la compresión del concreto permeable a los 7 días, evidenciando que los grupos con 5%, 10%, 15% y 20% de agregado fino presentan valores superiores en comparación con el grupo que no contiene agregado fino (0%).

#### **Paso 6. Contrastación**

Según la Tabla 61, se observa que al incrementar el porcentaje de agregado fino en proporciones de 0%, 5%, 10%, 15% y 20%, la resistencia a la compresión del concreto permeable a los 7 días muestra un aumento progresivo, con valores de (60.63, 79.23, 103.20, 124.47 y 147.00) kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente. Esto evidencia que la presencia de

agregado fino tiene un efecto significativo en el incremento de la resistencia a la compresión.

### 5.2.3.2. Resistencia a la compresión del concreto permeable a los 14 días

**Paso 1.** Para contrastar la hipótesis se empleó el ANOVA de un factor, por que intervinieron más de 2 medias poblacionales.

**Paso 2.** Se evaluó la distribución normal de los datos en cada uno de los grupos de estudio, con el software IBM SPSS Statistics Base 26.

**H<sub>0</sub>:** La variable analizada sigue una distribución normal.

**H<sub>1</sub>:** La variable analizada no sigue una distribución normal.

**Cuando  $p < 0.05$ :** “Si el valor  $p$  es  $<$  a 0.05, se rechaza la hipótesis nula”.

**Cuando  $p \geq 0.05$ :** “Si el valor  $p$  es  $\geq$  a 0.05, no se rechaza la hipótesis nula”.

**Tabla 62**

*Prueba de normalidad de la resistencia a la compresión del concreto permeable a 14 días*

Variable dependiente	Grupos	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	p-valor
f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	0% de A.F	0.861	3	0.270
	5% de A.F	0.990	3	0.813
	10% de A.F	0.962	3	0.624
	15% de A.F	0.992	3	0.829
	20% de A.F	0.999	3	0.949

*Nota.* Prueba realizada mediante Shapiro-Wilk porque es precisa y confiable, y se utiliza en muestras pequeñas. Elaboración propia.

Según lo mostrado en la Tabla 62, al obtenerse valores  $p$  superiores a 0.05 en todos los grupos, se concluye siguen una distribución normal.

**Paso 3.** Se determinó si existe homogeneidad de varianzas mediante el software IBM SPSS Statistics Base 26.

**Tabla 63**

*Prueba de homogeneidad de varianzas de la resistencia a la compresión del concreto permeable a 14 días*

Variable dependiente		Estadístico de levene	gl1	gl2	p-valor
f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Se basa en la media	0.186	4	10	0.940
	Se basa en la mediana	0.183	4	10	0.942
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0.183	4	9.546	0.942
	Se basa en la media recortada	0.187	4	10	0.940

*Nota.* Como el p-valor es mayor a 0.05 se puede afirmar que las varianzas entre los grupos son homogéneas. Elaboración propia.

**Paso 4.** Se realizó el ANOVA de un factor, mediante el software IBM estadístico SPSS Statistics Base 26.

**H<sub>0</sub>:**  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$ , Las medias de la resistencia a la compresión del concreto permeable no presentan diferencias significativas.

**H<sub>1</sub>:** Al menos una de las medias ( $\mu_i$ ) de la resistencia a la compresión del concreto permeable difiere significativamente de las otras.

**Cuando  $p < 0.05$ :** "Si el valor p es  $<$  a 0.05, se rechaza la hipótesis nula, lo que indica que existen diferencias significativas entre los grupos comparados".

**Cuando  $p \geq 0.05$ :** "Si el valor p es  $\geq$  a 0.05, no se rechaza la hipótesis nula, lo que sugiere que no hay diferencias significativas entre los grupos evaluados".

**Tabla 64**

*ANOVA de un factor de la resistencia a la compresión del concreto permeable a 14 días*

f'c	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p-valor
Entre grupos	21922.756	4	5480.689	152.904	0.000
Dentro de grupos	358.440	10	35.844		
total	22281.196	14			

*Nota.* ANOVA realizado con un nivel de significancia de 0.05. Elaboración propia.

Con base en los resultados de la Tabla 64, se obtuvo un valor  $p$  inferior a 0.05, lo que conlleva al rechazo de la hipótesis nula y la aceptación de la hipótesis alternativa. Esto sugiere que al menos una de las medias de la resistencia a la compresión del concreto permeable, difiere significativamente. Por ello, es pertinente aplicar pruebas post hoc para determinar entre qué grupos específicos se encuentran dichas diferencias.

**Paso 5.** Se realizó las pruebas post hoc.

**Tabla 65**

*Comparaciones múltiples HSD Tukey de la resistencia a la compresión del concreto permeable a 14 días*

Grupos (I)	Grupo (J)	Diferencia de medias (I-J)	Desv. error	p-valor
0% de A.F	5% de A.F	-25.73333*	4.88835	0.003
	10% de A.F	-54.10000*	4.88835	0.000
	15% de A.F	-80.23333*	4.88835	0.000
	20% de A.F	-107.90000*	4.88835	0.000
5% de A.F	0% de A.F	25.73333*	4.88835	0.003
	10% de A.F	-28.36667*	4.88835	0.001
	15% de A.F	-54.50000*	4.88835	0.000
	20% de A.F	-82.16667*	4.88835	0.000
10% de A.F	0% de A.F	54.10000*	4.88835	0.000
	5% de A.F	28.36667*	4.88835	0.001
	15% de A.F	-26.13333*	4.88835	0.002
	20% de A.F	-53.80000*	4.88835	0.000
15% de A.F	0% de A.F	80.23333*	4.88835	0.000
	5% de A.F	54.50000*	4.88835	0.000
	10% de A.F	26.13333*	4.88835	0.002
	20% de A.F	-27.66667*	4.88835	0.002
20% de A.F	0% de A.F	107.90000*	4.88835	0.000
	5% de A.F	82.16667*	4.88835	0.000
	10% de A.F	53.80000*	4.88835	0.000
	15% de A.F	27.66667*	4.88835	0.002

*Nota.* Prueba Honestly Significant Difference Tukey. Elaboración propia.

Según la Tabla 65, todos los grupos de agregado fino presentan diferencias significativas entre sí, lo cual indica que hay diferencias significativas en todos los grupos.

**Tabla 66**

*Subconjuntos homogéneos HSD Tukey de la resistencia a la compresión del concreto permeable a 14 días*

Grupos	N	Subconjunto para alfa = 0.05				
		1	2	3	4	5
0% de A.F	3	75.57				
5% de A.F	3		101.30			
10% de A.F	3			129.67		
15% de A.F	3				155.80	
20% de A.F	3					183.47
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

*Nota.* Prueba Honestly Significant Difference Tukey. Elaboración propia.

La Tabla 66 muestra los subconjuntos homogéneos de la resistencia a la compresión del concreto permeable a los 14 días, evidenciando que los grupos con 5%, 10%, 15% y 20% de agregado fino presentan valores superiores en comparación con el grupo que no contiene agregado fino (0%).

#### **Paso 6. Contrastación**

Según la Tabla 66, se observa que al incrementar el porcentaje de agregado fino en proporciones de 0%, 5%, 10%, 15% y 20%, la resistencia a la compresión del concreto permeable a los 14 días muestra un aumento progresivo, con valores de (75.57, 101.30, 129.67, 155.80 y 183.47) kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente. Esto evidencia que la presencia de agregado fino tiene un efecto significativo en el incremento de la resistencia a la compresión.

#### **5.2.3.3. Resistencia a la compresión del concreto permeable a los 28 días**

**Paso 1.** Para contrastar la hipótesis se empleó el ANOVA de un factor, por que intervinieron más de 2 medias poblacionales.

**Paso 2.** Se evaluó la distribución normal de los datos en cada uno de los grupos de estudio, con el software IBM SPSS Statistics Base 26.

**H<sub>0</sub>:** La variable analizada sigue una distribución normal.

**H<sub>1</sub>:** La variable analizada no sigue una distribución normal.

**Cuando  $p < 0.05$ :** “Si el valor  $p$  es  $<$  a 0.05, se rechaza la hipótesis nula”.

**Cuando  $p \geq 0.05$ :** “Si el valor  $p$  es  $\geq$  a 0.05, no se rechaza la hipótesis nula”.

**Tabla 67**

*Prueba de normalidad de la resistencia a la compresión del concreto permeable a 28 días*

Variable dependiente	Grupos	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	p-valor
f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	0% de A.F	1.000	3	0.977
	5% de A.F	0.862	3	0.272
	10% de A.F	0.960	3	0.617
	15% de A.F	0.958	3	0.604
	20% de A.F	0.947	3	0.557

*Nota.* Prueba realizada mediante Shapiro-Wilk porque es precisa y confiable, y se utiliza en muestras pequeñas. Elaboración propia.

Según lo mostrado en la Tabla 67, al obtenerse valores  $p$  superiores a 0.05 en todos los casos, se concluye que siguen una distribución normal.

**Paso 3.** Se determinó si existe homogeneidad de varianzas mediante el software IBM SPSS Statistics Base 26.

**Tabla 68**

*Prueba de homogeneidad de varianzas de la resistencia a la compresión del concreto permeable a 28 días*

Variable dependiente		Estadístico de levene	gl1	gl2	p-valor
f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Se basa en la media	0.743	4	10	0.584
	Se basa en la mediana	0.182	4	10	0.942
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0.182	4	7.529	0.941
	Se basa en la media recortada	0.685	4	10	0.619

*Nota.* Como el  $p$ -valor es mayor a 0.05 se puede afirmar que las varianzas entre los grupos son homogéneas. Elaboración propia.

**Paso 4.** Se realizó el ANOVA de un factor, mediante el software IBM SPSS Statistics Base 26.

**H<sub>0</sub>:  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$** , Las medias de la resistencia a la compresión del concreto permeable no presentan diferencias significativas.

**H<sub>1</sub>**: Al menos una de las medias ( $\mu_i$ ) de la resistencia a la compresión del concreto permeable difiere significativamente de las otras.

**Cuando  $p < 0.05$** : “Si el valor p es  $<$  a 0.05, se rechaza la hipótesis nula, lo que indica que existen diferencias significativas entre los grupos comparados”.

**Cuando  $p \geq 0.05$** : “Si el valor p es  $\geq$  a 0.05, no se rechaza la hipótesis nula, lo que sugiere que no hay diferencias significativas entre los grupos evaluados”.

**Tabla 69**

*ANOVA de un factor de la resistencia a la compresión del concreto permeable a 28 días*

f'c	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p-valor
Entre grupos	27572.476	4	6893.119	145.722	0.000
Dentro de grupos	473.033	10	47.303		
total	28045.509	14			

*Nota.* ANOVA realizado con un nivel de significancia de 0.05. Elaboración propia.

Con base en los resultados de la Tabla 69, se obtuvo un valor p inferior a 0.05, lo que conlleva al rechazo de la hipótesis nula y la aceptación de la hipótesis alternativa. Esto sugiere que al menos una de las medias de la resistencia a la compresión del concreto permeable, difiere significativamente. Por ello, es pertinente aplicar pruebas post hoc para determinar entre qué grupos específicos se encuentran dichas diferencias.

**Paso 5.** Se realizó las pruebas post hoc.

**Tabla 70**

*Comparaciones múltiples HSD Tukey de la resistencia a la compresión del concreto permeable a 28 días*

Grupos (I)	Grupo (J)	Diferencia de medias (I-J)	Desv. error	p-valor
	5% de A.F	-28.20000*	5.61565	0.004
0% de A.F	10% de A.F	-60.96667*	5.61565	0.000
	15% de A.F	-90.76667*	5.61565	0.000

Grupos (I)	Grupo (J)	Diferencia de medias (I-J)	Desv. error	p-valor
5% de A.F	20% de A.F	-120.26667*	5.61565	0.000
	0% de A.F	28.20000*	5.61565	0.004
	10% de A.F	-32.76667*	5.61565	0.001
	15% de A.F	-62.56667*	5.61565	0.000
	20% de A.F	-92.06667*	5.61565	0.000
10% de A.F	0% de A.F	60.96667*	5.61565	0.000
	5% de A.F	32.76667*	5.61565	0.001
	15% de A.F	-29.80000*	5.61565	0.002
	20% de A.F	-59.30000*	5.61565	0.000
15% de A.F	0% de A.F	90.76667*	5.61565	0.000
	5% de A.F	62.56667*	5.61565	0.000
	10% de A.F	29.80000*	5.61565	0.002
	20% de A.F	-29.50000*	5.61565	0.003
20% de A.F	0% de A.F	120.26667*	5.61565	0.000
	5% de A.F	92.06667*	5.61565	0.000
	10% de A.F	59.30000*	5.61565	0.000
	15% de A.F	29.50000*	5.61565	0.003

Nota. Prueba Honestly Significant Difference Tukey. Elaboración propia.

De la tabla 70 se puede observar que en cada comparación realizada con los diferentes grupos de agregado fino p-valor es menor a 0.05 en todos, lo cual indica que hay diferencias significativas en todos los grupos.

**Tabla 71**

*Subconjuntos homogéneos HSD Tukey de la resistencia a la compresión del concreto permeable a 28 días*

Grupos	N	Subconjunto para alfa = 0.05				
		1	2	3	4	5
0% de A.F	3	87.43				
5% de A.F	3		115.63			
10% de A.F	3			148.40		
15% de A.F	3				178.20	
20% de A.F	3					207.70
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Nota. Prueba Honestly Significant Difference Tukey. Elaboración propia.

La Tabla 71 muestra los subconjuntos homogéneos de la resistencia a la compresión del concreto permeable a los 28 días, evidenciando que los grupos con 5%, 10%, 15% y 20% de agregado fino presentan valores superiores en comparación con el grupo que no contiene agregado fino (0%).

#### **Paso 6. Contrastación**

Según la Tabla 71, se observa que al incrementar el porcentaje de agregado fino en la resistencia a la compresión del concreto permeable a los 28 días muestra un aumento progresivo, con valores de (87.43, 115.63, 148.40, 178.20 y 207.70) kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente. Esto evidencia que la presencia de agregado fino tiene un efecto significativo en el incremento de la resistencia a la compresión.

#### **5.2.4. Prueba estadística para la hipótesis específica 4**

**Paso 1.** Para contrastar la hipótesis se empleó el ANOVA de un factor, por que intervinieron más de 2 medias poblacionales.

**Paso 2.** Se evaluó la distribución normal de los datos en cada uno de los grupos.

**H<sub>0</sub>:** La variable analizada sigue una distribución normal.

**H<sub>1</sub>:** La variable analizada no sigue una distribución normal.

**Cuando  $p < 0.05$ :** “Si el valor p es  $<$  a 0.05, se rechaza la hipótesis nula”.

**Cuando  $p \geq 0.05$ :** “Si el valor p es  $\geq$  a 0.05, no se rechaza la hipótesis nula”.

#### **Tabla 72**

*Prueba de normalidad de la resistencia a la flexión (módulo de rotura) del concreto permeable a 28 días*

Variable dependiente	Grupos	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	p-valor
MR (kg/cm <sup>2</sup> )	0% de A.F	0.993	3	0.843
	5% de A.F	0.991	3	0.817
	10% de A.F	0.828	3	0.183
	15% de A.F	0.980	3	0.726
	20% de A.F	1.000	3	1.000

*Nota.* Prueba realizada mediante Shapiro-Wilk. Elaboración propia.

Según lo mostrado en la Tabla 72, al obtenerse valores  $p$  superiores a 0.05 en todos los grupos, se concluye que siguen una distribución normal.

**Paso 3.** Se determinó si existe homogeneidad de varianzas mediante el software IBM SPSS Statistics Base 26.

**Tabla 73**

*Prueba de homogeneidad de varianza de la resistencia a la flexión (módulo de rotura) del concreto permeable a 28 días*

Variable dependiente		Estadístico de levene	gl1	gl2	p-valor
MR (kg/cm <sup>2</sup> )	Se basa en la media	1.307	4	10	0.332
	Se basa en la mediana	0.680	4	10	0.621
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0.680	4	6.377	0.629
	Se basa en la media recortada	1.264	4	10	0.346

*Nota.* Como el  $p$ -valor es mayor a 0.05 se puede afirmar que las varianzas entre los grupos son homogéneas. Elaboración propia.

**Paso 4.** Se realizó el ANOVA de un factor, mediante el software IBM SPSS Statistics Base 26.

**H<sub>0</sub>:**  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$ , Las medias de la resistencia a la flexión del concreto permeable no presentan diferencias significativas.

**H<sub>1</sub>:** Al menos una de las medias ( $\mu_i$ ) de la resistencia a la flexión del concreto permeable difiere significativamente de las otras.

**Cuando  $p < 0.05$ :** “Si el valor  $p$  es  $<$  a 0.05, se rechaza la hipótesis nula, lo que indica que existen diferencias significativas entre los grupos comparados”.

**Cuando  $p \geq 0.05$ :** “Si el valor  $p$  es  $\geq$  a 0.05, no se rechaza la hipótesis nula, lo que sugiere que no hay diferencias significativas entre los grupos evaluados”.

**Tabla 74**

*ANOVA de un factor de la resistencia a la flexión (módulo de rotura) del concreto permeable a 28 días*

MR	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p-valor
Entre grupos	394.011	4	98.503	77.602	0.000
Dentro de grupos	12.693	10	1.269		
total	406.704	14			

*Nota.* ANOVA realizado con un nivel de significancia de 0.05. Elaboración propia.

Con base en los resultados de la Tabla 74, se obtuvo un valor p inferior a 0.05, lo que conlleva al rechazo de la hipótesis nula y la aceptación de la hipótesis alternativa. Esto sugiere que al menos una de las medias de la resistencia a la flexión (módulo de rotura) difiere significativamente. Por ello, es pertinente aplicar pruebas post hoc para determinar entre qué grupos específicos se encuentran dichas diferencias.

**Paso 5.** Se realizó las pruebas post hoc.

**Tabla 75**

*Comparaciones múltiples HSD Tukey de la resistencia a la flexión (módulo de rotura) del concreto permeable a 28 días*

Grupos (I)	Grupo (J)	Diferencia de medias (I-J)	Desv. error	p-valor
0% de A.F	5% de A.F	-3.66667*	0.91990	0.017
	10% de A.F	-7.86667*	0.91990	0.000
	15% de A.F	-10.93333*	0.91990	0.000
	20% de A.F	-14.46667*	0.91990	0.000
5% de A.F	0% de A.F	3.66667*	0.91990	0.017
	10% de A.F	-4.20000*	0.91990	0.007
	15% de A.F	-7.26667*	0.91990	0.000
	20% de A.F	-10.80000*	0.91990	0.000
10% de A.F	0% de A.F	7.86667*	0.91990	0.000
	5% de A.F	4.20000*	0.91990	0.007
	15% de A.F	-3.06667*	0.91990	0.047
15% de A.F	20% de A.F	-6.60000*	0.91990	0.000
	0% de A.F	10.93333*	0.91990	0.000
	5% de A.F	7.26667*	0.91990	0.000

Grupos (I)	Grupo (J)	Diferencia de medias (I-J)	Desv. error	p-valor
20% de A.F	10% de A.F	3.06667*	0.91990	0.047
	20% de A.F	-3.53333*	0.91990	0.021
	0% de A.F	14.46667*	0.91990	0.000
	5% de A.F	10.80000*	0.91990	0.000
	10% de A.F	6.60000*	0.91990	0.000
	15% de A.F	3.53333*	0.91990	0.021

*Nota.* Prueba Honestly Significant Difference Tukey. Elaboración propia.

De la tabla 75 se puede observar que en cada comparación realizada con los diferentes grupos de agregado fino p-valor es menor a 0.05 en todos, lo cual indica que hay diferencias significativas en todos los grupos.

**Tabla 76**

*Subconjuntos homogéneos HSD Tukey de la resistencia a la flexión (módulo de rotura) del concreto permeable a 28 días*

Grupos	N	Subconjunto Para Alfa = 0.05				
		1	2	3	4	5
0% de A.F	3	17.83				
5% de A.F	3		21.50			
10% de A.F	3			25.70		
15% de A.F	3				28.77	
20% de A.F	3					32.30
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

*Nota.* Prueba Honestly Significant Difference Tukey. Elaboración propia.

La Tabla 76 muestra los subconjuntos homogéneos de la resistencia a la flexión (módulo de rotura) del concreto permeable a los 28 días, evidenciando que los grupos con 5%, 10%, 15% y 20% de agregado fino presentan valores superiores en comparación con el grupo que no contiene agregado fino (0%).

#### **Paso 6.** Contrastación

Según la Tabla 76, se observa que al incrementar el porcentaje de agregado fino en proporciones de 0 %, 5 %, 10 %, 15 % y 20 %, la resistencia a la flexión (módulo de rotura) del concreto permeable a los 28 días muestra un aumento progresivo, con valores

de (17.87, 21.50, 25.70, 28.77 y 32.30, respectivamente. Esto evidencia que la presencia de agregado fino tiene un efecto significativo en el incremento de la resistencia a la flexión (módulo de rotura).

### **5.3. Discusión**

#### **5.3.1. Discusión de los resultados de hipótesis específica 1**

Los resultados del coeficiente de permeabilidad evidencian una reducción gradual conforme se adicione el agregado fino en el concreto permeable: con 0% fue de 0.895 cm/s, disminuyendo a 0.716 cm/s con 5%, 0.491 cm/s con 10%, 0.258 cm/s con 15% y 0.138 cm/s con 20%. Este comportamiento es consistente con la reducción en la interconectividad de los vacíos del concreto debido al aumento del agregado fino, lo cual disminuye la capacidad de infiltración del agua.

El análisis estadístico mediante ANOVA confirmó que las diferencias en el coeficiente de permeabilidad entre los cinco porcentajes son estadísticamente significativas (valor de  $p < 0.05$ ), lo que indica que el agregado fino tiene una influencia sobre la habilidad de infiltración del concreto permeable. La prueba de comparación múltiple Tukey HSD también reveló diferencias significativas entre los grupos, destacando una disminución marcada entre cada nivel de agregado fino evaluado.

El incremento del contenido en la mezcla de agregado fino genera una disminución en la permeabilidad, debido al efecto de relleno que reduce los vacíos entre los agregados gruesos, limitando así la continuidad de los canales de infiltración. Si bien este aumento contribuye a mejorar las resistencias a compresión y flexión, dichas mejoras estructurales se obtienen en detrimento de la capacidad de permeabilidad del material.

Esta afirmación es respaldada por Peralta y Huamolle (2023), quienes reportaron valores del coeficiente de permeabilidad de 0.217 cm/s con 0% de agregado fino, 0.149 cm/s con 5% y 0.139 cm/s con 20%. Estos resultados evidencian que al incrementar la proporción de agregado fino en la mezcla de concreto permeable, el coeficiente de permeabilidad disminuye. Esto se ocurre ya que el agregado fino se aloja entre los vacíos del agregado grueso, reduciendo tanto el tamaño como la cantidad de poros conectados

por donde puede fluir el agua. Esta compactación incrementa la densidad del concreto y obstaculiza la formación de canales continuos para el paso del agua, generando así una estructura más densa y menos permeable.

Asimismo, Kanashiro y Monzón (2020) evidencian que el coeficiente de permeabilidad del concreto permeable disminuye progresivamente conforme se incrementa el contenido de agregado fino. En sus resultados, con 0 % de agregado fino se obtuvo un valor de 1.685 cm/s, mientras que con 5 % fue de 0.910 cm/s, con 10 % de 0.462 cm/s, con 15 % de 0.142 cm/s y con 20 % de 0.089 cm/s todo esto debido a que el agregado fino interactúa con la pasta de cemento, creando una estructura más cerrada. Este matriz cementante, combinada con el agregado fino, bloquea los canales de infiltración, lo que disminuye la capacidad de paso del agua.

De manera similar, Villanueva Quispe (2020) reportó que el coeficiente de permeabilidad alcanzó un valor elevado de 0.32 cm/s cuando no se utilizó agregado fino en la mezcla. Posteriormente, al incorporar 5%, 10% y 15% de agregado fino, los valores descendieron a 0.29 cm/s, 0.26 cm/s y 0.22 cm/s, respectivamente. Esto indica que todas las mezclas evaluadas mantienen su condición de concreto permeable al estar dentro de los rangos permitidos; sin embargo, se evidencia que, al aumentar la proporción de agregado fino, la permeabilidad reduce, mostrando una relación inversamente proporcional.

Adicionalmente, para complementar este análisis y validar la aplicabilidad del concreto permeable en el lugar de estudio, se realizó el estudio hidrológico que determinó la intensidad máxima de lluvia en la avenida San Cristóbal de la ciudad de Curahuasi, obteniendo un valor de 19.37 mm/h, equivalente a 0.000538 cm/s. Comparando este dato con los coeficientes de permeabilidad obtenidos, se observa que incluso al 20% de agregado fino (0.138 cm/s), el concreto permeable posibilita el tránsito del agua a una velocidad apreciable.

### **5.3.2. Discusión de los resultados de hipótesis específica 2**

Los hallazgos obtenidos de la tasa de infiltración indican una reducción gradual a medida que se adiciona agregado fino en la mezcla de concreto permeable. Con un 0% de agregado fino, se registró una tasa de infiltración de 17024.88 mm/h; al incorporar un 5%, esta disminuyó a 12997.62 mm/h; con un 10%, fue de 9758.37 mm/h; al 15%, bajó a 6754.36 mm/h; y finalmente, con un 20% de agregado fino, se alcanzó un valor de 3395.35 mm/h. Este comportamiento refleja la pérdida de interconexión entre los vacíos del concreto conforme se eleva el contenido de porcentaje de agregado fino, lo que provoca una menor capacidad de infiltración del agua.

El análisis estadístico mediante ANOVA confirmó que las diferencias en la tasa de infiltración entre los cinco porcentajes son estadísticamente significativas (valor de  $p < 0.05$ ), lo que indica que el % de agregado fino tiene una influencia directa sobre la habilidad del flujo de agua dentro del concreto permeable. La prueba de comparación múltiple Tukey HSD también reveló diferencias significativas entre los grupos, destacando una disminución marcada entre cada nivel de agregado fino evaluado.

A medida que se coloca agregado fino, la tasa de infiltración del concreto disminuye, ya que este material tiende a ocupar los espacios entre los agregados gruesos. Esta acción restringe el flujo del agua dentro de la superficie del concreto permeable.

Esta idea es respaldada por el estudio de Loza y Machacca (2022), quienes evaluaron la tasa de infiltración del concreto permeable utilizando mezclas con 5% y 15% de agregado fino en diferentes husos granulométricos. Con 5% de agregado fino, se obtuvieron los siguientes resultados: IP 67 con 9409.42 mm/h, IP 7 con 4206.94 mm/h, IP 89 con 2233.19 mm/h, HE 67 con 2692.56 mm/h, HE 7 con 5296.73 mm/h y HE 89 con 9132.41 mm/h. En cambio, con 15% de agregado fino, las tasas de infiltración fueron significativamente menores: IP 67 con 1467.76 mm/h, IP 7 con 1553.58 mm/h, IP 89 con 1376.66 mm/h, HE 67 con 1452.04 mm/h, HE 7 con 1214.14 mm/h y HE 89 con 5059.62 mm/h. Estos resultados evidencian que, al colocar el contenido de agregado fino en la

mezcla, la tasa de infiltración disminuye, debido a que el material fino se deposita en los espacios entre los agregados gruesos, reduciendo la cantidad y el tamaño de los poros.

### **5.3.3. Discusión de los resultados de hipótesis específica 3**

Al evaluar la capacidad mecánica a compresión a los 7 días en mezclas de concreto permeable con diferentes proporciones de agregado fino, se observó un incremento gradual en los valores obtenidos conforme se aumentaba dicho material. Las resistencias registradas fueron de 60.63 kg/cm<sup>2</sup> sin agregado fino (0%), 79.23 kg/cm<sup>2</sup> al emplear un 5%, 103.20 kg/cm<sup>2</sup> con 10%, 124.47 kg/cm<sup>2</sup> al 15% y 147.00 kg/cm<sup>2</sup> al 20%. Estos resultados reflejan que la incorporación de agregado fino contribuye favorablemente en el desempeño mecánico del concreto. El análisis estadístico mediante ANOVA mostró diferencias significativas entre los grupos, con un valor de p inferior a 0.05, lo que indica que la variación del agregado fino influye en la resistencia. Además, la prueba de comparaciones múltiples con el método HSD de Tukey evidenció que todas las dosificaciones con agregado fino presentaron incrementos estadísticamente significativos en comparación con la mezcla sin dicho componente, siendo más notorias estas diferencias en los porcentajes más altos.

Tras 14 días, se evidenció nuevamente un incremento sostenido en la capacidad mecánica a compresión conforme se incrementaba el % de agregado fino en la mezcla. La mezcla sin agregado fino (0%) obtuvo una resistencia de 75.57 kg/cm<sup>2</sup>, en cambio las mezclas con 5%, 10%, 15% y 20% alcanzaron valores de 101.30 kg/cm<sup>2</sup>, 129.67 kg/cm<sup>2</sup>, 155.80 kg/cm<sup>2</sup> y 183.47 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente. Al igual que en la evaluación a los 7 días, el análisis de varianza reveló diferencias estadísticamente significativas entre los grupos ( $p < 0.05$ ), y las comparaciones múltiples realizadas mediante el test HSD de Tukey confirmaron que los mayores incrementos en la resistencia se dieron en las mezclas con porcentajes más elevados de agregado fino.

Finalmente, a los 28 días, la resistencia aumentó aún más en todos los grupos con agregado fino. Los resultados fueron: 87.43 kg/cm<sup>2</sup> con el 0%, 115.63 kg/cm<sup>2</sup> con el 5%, 148.40 kg/cm<sup>2</sup> con el 10%, 178.20 kg/cm<sup>2</sup> con el 15% y 207.70 kg/cm<sup>2</sup> con el 20%. El

ANOVA también reveló diferencias significativas entre los porcentajes ( $p < 0.05$ ), y el análisis de Tukey corroboró que el aumento en la resistencia fue progresivo y más pronunciado conforme aumentaba el contenido del agregado fino.

En conclusión, los resultados obtenidos en los tres tiempos de ensayo (7, 14 y 28 días) muestran que la adición de agregado fino incrementa la capacidad mecánica a compresión del concreto permeable. Este comportamiento fue consistente a lo largo del tiempo, y los análisis estadísticos ANOVA y Tukey confirmaron que las diferencias observadas son estadísticamente significativas.

Este patrón de incremento de la resistencia a la compresión indica que, conforme se añade el porcentaje de agregado fino, la mezcla de concreto permeable muestra una mayor capacidad para soportar cargas, lo cual es consistente con las expectativas de que la adición del concreto permeable influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto permeable. Esto se debe a que el agregado fino contribuye a una mayor densificación de la mezcla, ocupando los vacíos entre el agregado grueso y permitiendo una mejor cohesión interna. Además, el incremento del agregado fino proporciona una mayor superficie de contacto para la hidratación del cemento, lo que mejora la formación de pasta y fortalece la estructura del concreto. Como resultado, el concreto se vuelve más compacto y resistente.

Es importante resaltar que la discusión se enfoca en los resultados de los 28 días, ya que este es el periodo estándar para la evaluación completa de la resistencia a la compresión del concreto en la industria. Los 28 días permiten alcanzar una mayor hidratación del cemento y una mayor madurez en la mezcla, lo que refleja mejor su comportamiento a largo plazo en condiciones reales de servicio, especialmente para aplicaciones en pavimentos urbanos. En cambio, los resultados a los 7 y 14 días suelen ser útiles para una evaluación preliminar de la evolución de la resistencia, pero no proporcionan la estabilidad y confiabilidad necesarias para la toma de decisiones definitivas sobre el desempeño del concreto.

De lo expuesto, se infiere que un mayor porcentaje de agregado fino en la mezcla se traduce en un incremento de la resistencia a la compresión. Esta afirmación concuerda con los hallazgos reportados por Peralta y Huamolle (2023), quienes evaluaron la resistencia a la compresión del concreto permeable con adiciones de 0%, 10% y 20% de agregado fino. A los 7 días, los valores obtenidos fueron de 40.28 kg/cm<sup>2</sup>, 62.86 kg/cm<sup>2</sup> y 115.60 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente. A los 21 días, las resistencias aumentaron a 52.88 kg/cm<sup>2</sup>, 96.32 kg/cm<sup>2</sup> y 140.71 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que a los 28 días alcanzaron 70.92 kg/cm<sup>2</sup>, 108.67 kg/cm<sup>2</sup> y 173.68 kg/cm<sup>2</sup>. Estos resultados evidencian que la incorporación progresiva de agregado fino tiene un impacto positivo y significativo sobre la capacidad mecánica del concreto.

Asimismo, Kanashiro y Monzón (2020) señalan que incorporar agregado fino en la estructura de la mezcla para la elaboración de concreto permeable contribuye al incremento de su resistencia a la compresión. Esta afirmación se respalda con los resultados obtenidos en sus ensayos a los 28 días, donde las muestras con distintos porcentajes de agregado fino presentaron promedios de resistencia de 81.638 kg/cm<sup>2</sup> para el 0%, 121.074 kg/cm<sup>2</sup> con 5%, 183.908 kg/cm<sup>2</sup> con 10%, 231.873 kg/cm<sup>2</sup> con 15% y 288.159 kg/cm<sup>2</sup> con 20%. Estos datos demuestran que, a mayor proporción de agregado fino, mayor es la resistencia a la compresión alcanzada por el concreto permeable.

De igual manera, en el estudio desarrollado por Villanueva Quispe (2020), se evidenció que la resistencia a la compresión del concreto permeable aumenta conforme se adiciona el contenido de agregado fino en la mezcla. A los 28 días, los valores obtenidos fueron de 118.46 kg/cm<sup>2</sup> para el 0%, 142.48 kg/cm<sup>2</sup> con 5%, 173.51 kg/cm<sup>2</sup> con 10% y 207.56 kg/cm<sup>2</sup> con 15% de agregado fino. El autor concluye que existe una relación directamente proporcional entre el porcentaje de agregado fino y la resistencia a la compresión, lo cual se atribuye a que la mayor presencia de dicho material reduce la cantidad de vacíos en la estructura del concreto, mejorando así sus propiedades mecánicas.

Este comportamiento es particularmente relevante para aplicaciones en pavimentos urbanos como son las veredas, estacionamientos y pasajes peatonales de la ciudad de Curahuasi especialmente en la avenida San Cristóbal. Dado que esta zona experimenta altas precipitaciones y los sistemas de drenaje actuales son insuficientes.

#### **5.3.4. Discusión de los resultados de hipótesis específica 4**

Los resultados correspondientes a la resistencia a la flexión del concreto permeable, evaluada a los 28 días, reflejan un comportamiento análogo al observado en la resistencia a la compresión, en relación con la presencia del agregado fino en la mezcla. Se evidencia un incremento gradual en los valores de resistencia a medida que se incrementa el porcentaje de agregado fino incorporado. En este sentido, los valores obtenidos fueron: 17.87 kg/cm<sup>2</sup> para la mezcla sin agregado fino, 21.50 kg/cm<sup>2</sup> con 5%, 25.70 kg/cm<sup>2</sup> con 10%, 28.77 kg/cm<sup>2</sup> con 15% y 32.30 kg/cm<sup>2</sup> con 20% de agregado fino. Este patrón de resultados permite inferir que el aumento del contenido de agregado fino en la mezcla favorece significativamente la capacidad del concreto para soportar esfuerzos de flexión. Este incremento puede atribuirse a una mejor cohesión interna dentro de la mezcla, lo cual incrementa su rigidez y resistencia frente a deformaciones. Asimismo, conforme se eleva el porcentaje de agregado fino, la mezcla se torna más compacta y uniforme, lo que a su vez favorece una distribución más eficiente de las cargas aplicadas y una mejora en el comportamiento mecánico del concreto.

Los resultados obtenidos muestran que el concreto permeable con un 20% de agregado fino no es apropiado para su uso en pavimentos rígidos que demanden elevada resistencia a la flexión, según lo estipulado por la norma Pavimentos Urbanos C.E. 0.10, la cual establece un valor mínimo de módulo de rotura de 34 kg/cm<sup>2</sup>. En esta investigación, la mezcla con dicho porcentaje alcanzó un valor de 32.30 kg/cm<sup>2</sup>, quedando por debajo del umbral requerido. No obstante, en el caso de veredas que constituyen el propósito principal de este estudio dicho concreto sí cumple con los criterios normativos, por lo que representa una opción factible para este tipo de infraestructura urbana.

Conforme a los análisis estadísticos efectuados, se comprobó que los aumentos en la resistencia a la flexión fueron significativos desde el punto de vista estadístico, lo cual respalda la existencia de una relación directa entre el contenido de agregado fino y el incremento de dicha propiedad mecánica. Este comportamiento coincide con investigaciones anteriores que señalan que una mayor proporción de agregado fino mejora las características mecánicas del concreto permeable, haciéndolo más apropiado para su uso en pavimentos urbanos sometidos a cargas tanto estáticas como dinámicas. En este sentido, Kanashiro y Monzón (2020) sostienen que incorporar agregado fino en la mezcla contribuye a elevar la resistencia a la flexión (módulo de rotura); sus ensayos mostraron valores de 19.348 kg/cm<sup>2</sup> con 0% de agregado fino, 23.505 kg/cm<sup>2</sup> con 5%, 30.547 kg/cm<sup>2</sup> con 10%, 33.654 kg/cm<sup>2</sup> con 15% y 39.709 kg/cm<sup>2</sup> con 20%, todos medidos a los 28 días de curado.

Villanueva Quispe (2020) evidenció que, al incrementar el porcentaje de agregado fino en las mezclas de concreto, la resistencia a la flexión medida a los 28 días presentó un aumento progresivo. El mayor valor se registró con un 15% de agregado fino, alcanzando un promedio de 32.50 kg/cm<sup>2</sup>. En segundo lugar, la mezcla con 10% obtuvo 28.37 kg/cm<sup>2</sup>, seguida por la que contenía 5%, con 24.54 kg/cm<sup>2</sup>. La menor resistencia correspondió a la mezcla sin agregado fino, que alcanzó solo 21.08 kg/cm<sup>2</sup>. Por otra parte, la norma CE.010 del Reglamento Nacional de Edificaciones, referida a pavimentos urbanos, establece que para vías locales, colectoras y arteriales se requiere una resistencia a la flexión de 34 kg/cm<sup>2</sup>. Si este valor no se alcanza, las mezclas pueden emplearse en elementos como veredas, ciclovías, pasajes peatonales o aceras, donde la exigencia se reduce a aproximadamente 28 kg/cm<sup>2</sup>. En ese sentido, la mezcla con 15% de agregado fino se acerca al requerimiento para vías, mientras que la que contiene 10% resulta adecuada para aplicaciones en pavimentos de uso especial.

### **5.3.5. Discusión de los resultados de hipótesis general**

La incorporación de agregado fino evidenció influencia notable en las propiedades físicas y mecánicas del concreto permeable, logrando un equilibrio entre el incremento de

la resistencia y la disminución tanto del coeficiente de permeabilidad como de la velocidad de infiltración. Los hallazgos obtenidos fueron comparados con estudios previos, lo que permitió respaldar su pertinencia y coherencia.

Los resultados de las resistencias mecánicas evidenciaron un incremento progresivo con cada aumento del porcentaje de agregado fino. Este comportamiento es consistente con lo reportado por Peralta y Huamolle (2023), quien encontró que la densidad y la interconexión de la matriz cementicia mejoran al reducir los vacíos con agregado fino. Asimismo, Kanashiro y Monzón (2020) concluyó que la inclusión de hasta un 20% de agregado fino optimiza la resistencia a la compresión, hallazgo que coincide con el estudio.

Se observó una reducción del coeficiente de permeabilidad con el aumento del porcentaje de agregado fino. No obstante, incluso con el 20% de agregado fino, el concreto conservó una capacidad de infiltración suficiente para manejar el paso del agua a través de él ya que este valor del coeficiente de permeabilidad es mayor que la intensidad máxima de lluvia obtenida en el estudio hidrológico de la avenida San Cristóbal de Curahuasi. Este resultado es congruente con lo encontrado por Kanashiro y Monzón (2020), quien destacó que, aunque la permeabilidad disminuye con mayor proporción de agregado fino, el material sigue siendo funcional para pavimentos permeables en zonas urbanas. Donde obtuvo con 20% de agregado fino un coeficiente de permeabilidad de 0.089 cm/s en donde el lugar de su estudio tiene una intensidad máxima de lluvia de 19.37 mm/hr demostrando que puede evacuar las aguas pluviales. De igual manera la tasa de infiltración disminuyó a conforme se adicionaba agregado fino. Pero al igual que el coeficiente de permeabilidad con el 20% de agregado fino, el concreto conservó una capacidad de infiltración suficiente para infiltrar agua en la superficie del concreto permeable y evitar encharcamientos.

En general, los hallazgos de este trabajo no solo confirman tendencias observadas en investigaciones previas, sino que también aportan evidencia específica para la zona de Curahuasi principalmente para la avenida San Cristóbal, demostrando que el concreto permeable con agregado fino puede equilibrar resistencia y permeabilidad, siendo apto para su implementación en veredas.

## **VI. Conclusiones**

### **6.1. Conclusión del objetivo específico 1**

La evaluación del coeficiente de permeabilidad en función a la adición del agregado fino nos indica que disminuye significativamente a medida que se incrementa el porcentaje de agregado fino en el concreto permeable. Se observó que el valor máximo de permeabilidad (0.895 cm/s) corresponde al 0% de agregado fino, mientras que el valor mínimo (0.138 cm/s) se alcanzó con el 20% de agregado fino, evidenciando la influencia del agregado en las propiedades físicas del concreto permeable.

### **6.2. Conclusión del objetivo específico 2**

La evaluación dio a conocer que la adición de agregado fino influye de manera directa en la tasa de infiltración del concreto permeable. Los resultados experimentales muestran una disminución progresiva de la tasa de infiltración según se incrementa el agregado fino en la mezcla: con 0% de agregado fino se registró una tasa de 17024.88 mm/h, reduciéndose a 12997.62 mm/h con 5%, 9758.37 mm/h con 10%, 6754.36 mm/h con 15% y 3395.35 mm/h con 20%. Esta tendencia confirma que el agregado fino reduce la tasa de infiltración del concreto al ocupar los vacíos entre los agregados gruesos, disminuyendo la cantidad y el tamaño de los poros interconectados por donde se infiltra el agua. Aunque el aumento del agregado fino reduce la tasa de infiltración, este con el 20% sigue cumpliendo con las necesidades de poder evacuar las aguas pluviales de la Avenida San Cristóbal de la ciudad de Curahuasi.

### **6.3. Conclusión del objetivo específico 3**

En la evaluación de la resistencia a la compresión del concreto permeable, se evidenció que el aumento del porcentaje de agregado fino mejora significativamente esta propiedad mecánica. A los 7, 14 y 28 días, las resistencias incrementaron progresivamente desde un 0% hasta un 20% de agregado fino, siendo este último el que alcanzó el valor más alto en cada edad evaluada. Este comportamiento demuestra que la adición de agregado fino proporciona mayor densidad, contribuyendo a un incremento en la resistencia, sin comprometer la permeabilidad del concreto. Probando que es apto para su

aplicación en pavimentos urbanos como las veredas de la ciudad de Curahuasi especialmente para la avenida San Cristóbal.

#### **6.4. Conclusión del objetivo específico 4**

Los resultados de la evaluación de la resistencia a la flexión (módulo de rotura) del concreto permeable muestran un incremento progresivo con el contenido del porcentaje de agregado fino. A los 28 días de curado, el concreto con mayor porcentaje (20%) presentó los valores más altos de resistencia a la flexión, lo que indica que el agregado fino tiene una influencia significativa en las propiedades mecánicas del concreto permeable permitiendo su uso en pavimentos como las veredas de la avenida San Cristóbal de la ciudad de Curahuasi.

#### **6.5. Conclusión del objetivo general**

En este estudio finalmente se ha determinado la influencia del agregado fino en las propiedades físicas y mecánicas del concreto permeable, encontrándose que el incremento del porcentaje de agregado fino en las mezclas de concreto permeable mejora progresivamente la resistencia a la compresión, la resistencia a la flexión (módulo de rotura) y mantiene una capacidad adecuada del coeficiente de permeabilidad y la tasa de infiltración al agua. Los resultados obtenidos muestran un aumento significativo de las propiedades mecánicas según se incrementa el porcentaje de agregado fino, con un máximo en el 20% de agregado fino, alcanzando la mayor resistencia sin comprometer excesivamente la capacidad de drenaje.

Sin embargo, aunque el agregado fino incrementa las propiedades mecánicas, su efecto en la disminución del coeficiente de permeabilidad y la tasa de infiltración es claro, aunque aún dentro de los rangos adecuados para permitir la infiltración de aguas pluviales. Esto es relevante para áreas urbanas como la ciudad de Curahuasi principalmente para la avenida San Cristóbal, donde la infiltración del agua es crucial para reducir el riesgo de inundaciones, y el concreto permeable podría ofrecer una solución viable.

## **VII. Recomendaciones**

### **7.1. Recomendación de la conclusión específica 1**

Se recomienda continuar con el estudio para investigar cómo canalizar eficientemente el agua que fluye a través del concreto permeable. Aunque el análisis realizado hasta ahora ha demostrado que el concreto permeable con agregado fino cumple con los requisitos de infiltración, es necesario evaluar cómo se maneja esa agua una vez que se infiltra en el suelo. Esto incluye estudiar los mecanismos de captación y conducción del agua hacia sistemas de drenaje o almacenamiento, así como su interacción con el suelo circundante. La implementación de soluciones de canalización adecuadas garantizará que el agua infiltrada no cause problemas de saturación o afecte la estabilidad del terreno, permitiendo una gestión más eficiente de las aguas pluviales en las áreas urbanas.

### **7.2. Recomendación de la conclusión específica 2**

Se recomienda realizar ensayos periódicos de la tasa de infiltración en muestras representativas del concreto permeable para verificar que el contenido de agregado fino no afecte negativamente la capacidad de drenaje. De esta manera, se podrá garantizar que el pavimento mantenga una tasa de infiltración adecuada para la gestión eficiente del agua pluvial y prevenir problemas de acumulación o encharcamiento.

### **7.3. Recomendación de la conclusión específica 3**

Es importante considerar la realización de investigaciones futuras con porcentajes mayores al 20% de agregado fino en el concreto permeable. Esto permitiría analizar su comportamiento mecánico, especialmente la resistencia a la compresión, y determinar su viabilidad para ser empleado en pavimentos rígidos destinados a vías de mayor exigencia estructural y tránsito vehicular. Esta ampliación del rango de estudio podría contribuir al desarrollo de nuevas aplicaciones del concreto permeable en infraestructura urbana.

### **7.4. Recomendación de la conclusión específica 4**

Se recomienda realizar estudios adicionales enfocados en el comportamiento a la flexión del concreto permeable con distintos porcentajes de agregado fino. Esto permitirá evaluar si el incremento de la resistencia observado continúa en proporciones mayores al

20%, con el objetivo de ampliar su uso en elementos estructurales donde la resistencia a la flexión sea un factor determinante, como en pavimentos que soporten cargas dinámicas, pasos vehiculares ligeros y zonas de tránsito peatonal intenso.

#### **7.5. Recomendación de la conclusión general**

Se recomienda promover la implementación del concreto permeable con agregado fino en proyectos urbanos, no solo en pavimentos de veredas, sino también en otras áreas susceptibles a inundaciones o con problemas de drenaje, como parques y calles de bajo tránsito. Además, sería útil desarrollar guías técnicas y normativas locales que estandaricen su uso y fomenten la investigación continua sobre su desempeño a largo plazo, teniendo en cuenta factores como la durabilidad, la capacidad de infiltración y su interacción con diferentes tipos de suelo. La investigación futura debe enfocarse en optimizar las mezclas, evaluar su comportamiento en condiciones climáticas extremas y explorar soluciones de canalización adecuadas para el agua infiltrada, contribuyendo a un enfoque integral de gestión de aguas pluviales en entornos urbanos.

## VIII. Referencias

American Concrete Institute. (2010). *ACI 522R-10: Report on pervious concrete*.  
<https://www.concrete.org>

Arcos Mansilla, C. C. (2022). *Concreto permeable para el control de aguas pluviales en vías urbanas en la ciudad de Abancay, 2019* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac]. Repositorio Institucional UNAMBA.  
<https://repositorio.unamba.edu.pe/handle/UNAMBA/1080>

Arispe Alburqueque, C. M., Yangali Vicente, J. S., Guerrero Bejarano, M. A., Rivera Lozada de Bonilla, O., Acuña Gamboa, L. A. y Arellano Sacramento, C. A. (2020). *La investigación científica: Una aproximación para los estudios de posgrado* (1ª ed.). Editorial UIDE. <https://ulibros.com/la-investigacion-cientifica-cqczc.html>

ASTM International. (2017). *ASTM C1701/C1701M-17: Standard test method for infiltration rate of in place pervious concrete*. [https://www.astm.org/c1701\\_c1701m-17.html](https://www.astm.org/c1701_c1701m-17.html)

Caballero Fernández, J. L., Ladino Guavita, B. F. y Sucunchoque Herrera, A. C. (2019). *Diseño de una mezcla de concreto poroso que cumpla con la normatividad vigente en lo concerniente a la resistencia* [Tesis de grado, Universidad Cooperativa de Colombia]. Repositorio Institucional UCC.  
<https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/a0e98081-fb81-4751-b455-f5aa85af0a07/content>

Cabezas Mejía, E. D., Andrade Naranjo, D. y Torres Santamaría, J. (Eds.). (2018). *Introducción a la metodología de la investigación científica*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/15424>

Centro de Operaciones de Emergencia Nacional de Apurímac (COEN). (2022, enero 17). *Reporte complementario N.º 410 - 17/1/2022 / COEN - INDECI / 18:50 horas (Reporte N.º 2)* [Informe]. Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI).  
<https://portal.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2022/01/REPORTE-COMPLEMENTARIO-N%C2%BA-410-17ENE2022-LLUVIAS-INTENSAS-EN-EL-DISTRITO-DE-CURAHUASI-APUR%C3%8DMAC-2.pdf>

Cervantes Cárdenas, A. F. (2020). *Estudio de factibilidad del concreto permeable y su posible aplicación en la ciudad de Barranquilla, Colombia* [Tesis de pregrado, Universidad de la Costa – CUC]. Repositorio Institucional CUC. <https://hdl.handle.net/11323/7557>

Curahuasi en Redes Canal Digital. (2024, septiembre 27). *Apurímac: Barrio San Cristóbal afectado por la lluvia*. [Fotografía]. Facebook. <https://www.facebook.com/photo/?fbid=947359670764322&set=pcb.947360054097617>

Debnath, B. y Sarkar, P. P. (2019). Permeability prediction and pore structure feature of pervious concrete using brick as aggregate. *Construction and Building Materials*, 213, 643-651. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.04.099>.

Esquerre Garcia, M. M. y Silva Silva, H. W. (2019). *Propuesta de diseño de pavimento drenante para la captación de agua de lluvias en zonas urbanas del norte del Perú* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias]. Repositorio Académico UPC. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/625617>

Exitosa Noticias. (2023, marzo 22). *Apurímac: Persistente lluvia cae sobre el valle de Curahuasi* [Video]. Facebook. <https://www.facebook.com/Exitosanoticias/videos/apur%C3%ADmac-persistente-lluvia-cae-sobre-el-valle-de-curahuasi/241503954964456/>

Flores Quispe, C. E. y Pacompia Calcina, I. A. (2015). *Diseño de mezcla de concreto permeable con adición de tiras de plástico para pavimentos  $f'c$  175 kg/cm<sup>2</sup> en la ciudad de Puno* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Del Altiplano]. Repositorio Institucional UNAP. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/2230>

Guamán Zambrano, M. F. (2019). *Propuesta de un pavimento de concreto permeable para estacionamientos en zonas urbanas, que evite el estancamiento de aguas pluviales* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Machala]. Repositorio Institucional UTMACH. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/13884>

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

Hung, V. V., Seo, S. Y., Kim, H. W., & Lee, G. C. (2021). Permeability and strength of pervious concrete according to aggregate size and blocking material. *Sustainability*, 13(1), 1–13. <https://doi.org/10.3390/su13010426>

Jacinto Aquino, J. E. (2021). *Diseño de mezcla de concreto permeable utilizando diferentes porcentajes de agregado fino y aditivos en la ciudad de Chiclayo* [Tesis de pregrado, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo]. Repositorio Institucional USAT. <http://hdl.handle.net/20.500.12423/3189>.

Kanashiro Vergara, J. H. y Monzón Cárdenas, E. (2020). *Determinación del rango óptimo de agregado fino en concreto permeable evaluado a partir de curvas de aproximación para su aplicación en pavimentos especiales, cusco 2019* [Tesis de pregrado, Universidad Andina del Cusco]. Repositorio Institucional UAC. <https://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/4182>.

Li, J., Zhang, Y., Liu, G., & Xinghai, P. (2017). Preparation and performance evaluation of an innovative pervious concrete pavement. *Construction and Building Materials*, 138, 479-485. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.01.137>

Loza Delgado, S.S. y Machacca Ccalloquispe, R. S. (2022). *Estudio de la influencia del tipo de cemento y granulometrías de agregado fino y grueso en las propiedades físicas y mecánicas de pavimento de concreto hidráulico poroso en la ciudad de Arequipa* [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. Repositorio Institucional Continental. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/12124>

Mamani Tique, J. E. y Huayna Toque, H. (2021). *Concreto permeable como alternativa de drenaje de las aguas pluviales en pavimentos rígidos en la ciudad universitaria de la UNA – Puno* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Institucional UNAP. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/16895>

Norma Técnica Peruana NTP 339.034. (2015). *Concreto. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en*

*muestras cilíndricas* (4.<sup>a</sup> ed.). Instituto Nacional de Calidad – INACAL.  
<http://salalecturavirtual.inacal.gob.pe:8098/>

Norma Técnica Peruana NTP 339.078. (2012; rev. 2017). *Concreto. Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo* (3.<sup>a</sup> ed.). Instituto Nacional de Calidad – INACAL. <http://salalecturavirtual.inacal.gob.pe:8098/>

Norma Técnica Peruana NTP 339.183. (2013; rev.2018). *Concreto. Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio* (2.<sup>a</sup> ed.). Instituto Nacional de Calidad – INACAL.  
<http://salalecturavirtual.inacal.gob.pe:8098/>

Norma Técnica Peruana NTP 339.185. (2013; rev. 2018). *Agregados. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado* (2.<sup>a</sup> ed.). Instituto Nacional de Calidad – INACAL.  
<http://salalecturavirtual.inacal.gob.pe:8098/>

Norma Técnica Peruana NTP 400.012. (2013; rev.2018). *Agregados. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global* (3.<sup>a</sup> ed.). Instituto Nacional de Calidad – INACAL. <http://salalecturavirtual.inacal.gob.pe:8098/>

Norma Técnica Peruana NTP 400.017. (2011; rev. 2016). *Agregados. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("peso unitario") y los vacíos en los agregados* (3.<sup>a</sup> ed.). Instituto Nacional de Calidad – INACAL.  
<http://salalecturavirtual.inacal.gob.pe:8098/>

Norma Técnica Peruana NTP 400.021. (2013; rev. 2018). *Agregados. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso* (3.<sup>a</sup> ed.). Instituto Nacional de Calidad – INACAL.  
<https://salalecturavirtual.inacal.gob.pe:8098/>

Norma Técnica Peruana NTP 400.022. (2013; rev. 2018). *Agregados. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción*

del agregado fino (3.<sup>a</sup> ed.). Instituto Nacional de Calidad – INACAL.  
<https://salalecturavirtual.inacal.gob.pe:8098/>

Norma Técnica Peruana NTP 400.037. (2021). *Agregados. Agregados para concreto. Especificaciones* (5.<sup>a</sup> ed.). Instituto Nacional de Calidad – INACAL.  
<https://salalecturavirtual.inacal.gob.pe:8098/>

Obregón Mendoza, R. D. (2019). *Resistencia y permeabilidad de concreto permeable  $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$  añadiendo 10%, 20% y 30 % de agregado fino* [Tesis de pregrado, Universidad San Pedro]. Repositorio Institucional USP.  
<https://repositorio.usanpedro.edu.pe/items/dede7762-d061-466e-a303-c48ce5187728>

Ore Andrade, H. O. R. y Portillo Díaz, M. A. (2019). *Propuesta de diseño de mezcla para un concreto permeable de  $FC=175\text{kg/cm}^2$  en veredas* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Institucional UPC.  
<http://hdl.handle.net/10757/635423>.

Peralta Rodríguez, I. K. y Huamolles Rengifo, D. A. (2023). *Influencia del agregado fino y piedra chancada Huso 67 en las propiedades del concreto permeable para vías urbanas, Tacna, 2022* [Tesis de pregrado, Universidad Privada de Tacna]. Repositorio Institucional UPT. <https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/2779>.

Reglamento Nacional de Edificaciones. (2010). *Norma técnica CE.010: Pavimentos urbanos* [Decreto Supremo N° 010-2010-VIVIENDA]. Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción – SENCICO. [https://cdn-web.construccion.org/normas/rne2012/rne2006/files/titulo2/05\\_CE/Pavimentos\\_Urbanos.pdf](https://cdn-web.construccion.org/normas/rne2012/rne2006/files/titulo2/05_CE/Pavimentos_Urbanos.pdf)

Reglamento Nacional de Edificaciones. (2020). *Norma E.060: Concreto armado* (Ed.). Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción – SENCICO. <https://www.cip.org.pe/publicaciones/2021/enero/portal/e.060-concreto-armado-sencico.pdf>

Sánchez Berrios, M. A. (2023). *Comportamiento del concreto permeable con incorporación de diferentes porcentajes de agregado fino y adición de nanosílice en la*

*ciudad Jaén - Cajamarca* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca].  
Repositorio Institucional UNC. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/6263>

Villanueva Quispe, K. J. (2020). *Influencia de diferentes porcentajes del agregado fino en las propiedades mecánicas e hidráulicas de un concreto permeable, en Trujillo 2020* [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional UPN.  
<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/24085>

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes