

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL: DE INGENIERÍA CIVIL



Tesis

**Evaluación de las propiedades del concreto permeable con microsílíce y
plastificante para pavimentos en la Av. Tupac Amaru, Tamburco, 2024**

Asesor:

MSc. Maldonado Mendivil Ángel

Autor:

Salas Huallpa William

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°: 064

En la ciudad de Abancay, a los veinte siete días del mes de agosto del 2025, siendo las 11:00 am horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 0730-2025- EPIC-FI-UTEA-SA de fecha 21 de agosto del 2025, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería:

Presidenta :	Dra. Vera Teves, Rosa Marina
Dictaminante :	Ing. Cayo Baca, Holguer
Replicante :	Mag. Loayza Elguera, Rodrigo

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

☒ Tesis ☐ Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

Evaluación de las propiedades del concreto permeable con microsilice y plastificante para pavimentos en la Av. Tupac Amaru, Tamburco, 2024

Desarrollado por las (los) Bachilleres (es):

Br: Salas Hualpa, William

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 (**)
Salas Hualpa, William	Aprobado

Siendo las 12:08m horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidenta: Dra. Vera Teves, Rosa Marina

Dictaminante: Ing. Cayo Baca, Holguer

Replicante: Mag. Loayza Elguera, Rodrigo

Abancay, 28 de agosto del 2025

Se expide la presente
conforme al Libro de
Actas de Sustentación de
Tesis, consignado en los
folios N° 360

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

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

Reporte de similitud

William Salas Huallpa

TESIS CON DEPOSITO

 Evaluación de las propiedades del concreto permeable con microsílíce y plastificante para pavimentos en la Av. Tupac Amaru, Tamburco, 2024

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::3117:589582604

Fecha de entrega

12 may 2026, 12:18 GMT-5

Fecha de descarga

12 may 2026, 12:42 GMT-5

Nombre del archivo

TESIS CON DEPOSITO.docx

Tamaño del archivo

13.6 MB

109 páginas

17.465 palabras

98.067 caracteres



Página 2 de 112 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid::3117:589582604

20% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 20%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Metadatos

Datos del Autor		
Apellidos y nombres	:	Salas Hualpa William
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Número de Documento de Identidad	:	47370470
URL ORCID	:	https://orcid.org/0009-0004-4282-5104
Datos del Asesor		
Apellidos y nombres	:	Maldonado Mendivil Ángel
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Número de Documento de Identidad	:	06788424
URL ORCID	:	https://orcid.org/0000-0001-9002-1910
Datos de la investigación		
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	:	2024
Fuente de financiamiento	:	Autofinanciado
Porcentaje de similitud	:	20%
URL de OCDE	:	https://purl.org/pe-repo/ocde/ford# 2.01.01

Dedicatoria

A Dios por ser mi guía; a mis padres Trinidad y Cirilo por su apoyo incondicional en mi vida profesional; a mi hijo Sebastián Sting y mi esposa Kay Joshelyn que son mi mayor motivación.

Agradecimiento

A mi Asesor: MSc. Ángel Maldonado Mendivil, por sus consejos y apoyo incondicional en la elaboración académica del presente informe de investigación.

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar las propiedades del concreto permeable con la incorporación de microsílice y plastificante, aplicado en pavimentos de la Av. Tupac Amaru, distrito de Tamburco. Se desarrolló un estudio de tipo aplicada, con enfoque cuantitativo y diseño experimental. Se elaboraron 36 briquetas para ensayos de compresión, 36 vigas para flexión y 12 briquetas para permeabilidad, cumpliendo con normas ACI 522R-10, CE.010 del RNE y MTC. Se utilizaron tres proporciones de microsílice (2.5%, 5% y 10%) y una cantidad fija de plastificante (500 ml por bolsa de cemento). Los resultados mostraron que las dosificaciones con 2.5% y 5% mejoraron significativamente la resistencia a la compresión, alcanzando 260.56 kg/cm² y 275.96 kg/cm² a los 28 días, lo que representa un incremento del 7.15% y 13.5% respecto al diseño patrón, y hasta un 31.41% por encima del valor mínimo requerido (210 kg/cm²). En cambio, el diseño con 10% redujo la resistencia a 194.52 kg/cm². Respecto a la permeabilidad, los valores disminuyeron desde 0.105 cm/s (patrón) hasta 0.078 cm/s (5% microsílice), sin afectar la función drenante. Se concluye que el uso de microsílice en proporciones entre 2.5% y 5%, combinado con plastificante, optimiza las propiedades mecánicas e hidráulicas del concreto permeable, validando su aplicación como una solución sostenible para pavimentos urbanos con problemas de escorrentía.

Palabras clave: concreto permeable, resistencia, permeabilidad.

Abstract

The objective of this study was to evaluate the properties of pervious concrete with the addition of silica fume and plasticizer, applied to pavements on Av. Tupac Amaru, Tamburco District. An applied study was conducted with a quantitative approach and experimental design. Thirty-six briquettes were prepared for compression tests, 36 beams for flexure, and 12 briquettes for permeability, complying with ACI 522R-10, CE.010 of the RNE (National Institute of Standards and Technology), and MTC. Three proportions of silica fume (2.5%, 5%, and 10%) and a fixed amount of plasticizer (500 ml per bag of cement) were used. The results showed that the 2.5% and 5% dosages significantly improved compressive strength, reaching 260.56 kg/cm² and 275.96 kg/cm² at 28 days, representing an increase of 7.15% and 13.5% compared to the standard design, and up to 31.41% above the minimum required value (210 kg/cm²). In contrast, the 10% design reduced strength to 194.52 kg/cm². Regarding permeability, values decreased from 0.105 cm/s (standard) to 0.078 cm/s (5% silica fume), without affecting drainage function. It is concluded that the use of microsilica in proportions between 2.5% and 5%, combined with a plasticizer, optimizes the mechanical and hydraulic properties of permeable concrete, validating its application as a sustainable solution for urban pavements with runoff problems.

Key words: permeable concrete, resistance, permeability.

Índice General

Portada.....	i
Acta de sustentación	ii
Metadatos.....	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
Índice General	ix
Índice de tablas	xiii
Índice de Figuras.....	xvi
Índice de Anexos	xvii
I. Introducción.....	18
II. Planteamiento del problema.....	20
2.1. Descripción y formulación del problema.....	20
2.2. Objetivos	22
2.2.1. Objetivo General.....	22
2.2.2. Objetivo Específicos	22
2.3. Justificación e importancia	22
2.4. Hipótesis	23
2.5. Variables	24

III. Marco Teórico.....	26
3.1. Antecedentes	26
3.1.1. Antecedentes Internacionales	26
3.1.2. Antecedentes Nacionales	28
3.1.3. Antecedentes Locales	30
3.2. Bases teóricas.....	32
3.2.1. Estudio Hidrológico.....	32
3.2.2. Demanda del Trafico	34
3.2.3. Concreto poroso	35
3.2.4. Microsilice.....	37
3.2.5. Diseño de Mezcla del Concreto poroso.....	39
3.2.6. Agregados del Concreto Poroso.....	40
3.2.7. Ensayos del Concreto Permeable	42
3.3. Definición de términos.....	43
3.3.1. Pavimento Urbano.....	43
3.3.2. Concreto.....	44
3.3.3. Cemento	44
3.3.4. Agregados	44
3.3.5. Pasta de cemento.....	44
3.3.6. Agua Pluvial	44
3.3.7. Escorrentía	45
3.3.8. Coeficiente de Escorrentía	45

3.3.9. Cuenca Hidrográfica.....	45
3.3.10. Drenar	45
3.3.11. Duración de Lluvia.....	45
3.3.12. Plastificante	45
3.3.13. Microsílice	45
3.3.14. Permeabilidad	46
3.3.15. Ensayo a la Compresión	46
3.3.16. Ensayo a la Flexión del Concreto	46
3.3.17. Inundación en Pavimentos	46
3.3.18. Hidroplaneo	46
IV. Metodología.....	47
4.1. Tipo y nivel de Investigación	47
4.2. Ámbito temporal y espacial	48
4.3. Población y Muestra.....	49
4.4. Instrumentos	50
4.5. Procedimientos	51
4.6. Análisis de datos	51
4.7. Consideraciones Éticas.....	52
V. Resultados y discusión.....	53
5.1. Análisis de Datos y Resultados Procesados	53
5.1.1. Análisis de trafico	53
5.1.2. Análisis hidrológico.....	54

5.1.3. Análisis de materiales.....	59
5.1.4. Diseño y Dosificación para Concreto permeable.....	60
5.1.5. Ensayo de compresión	61
5.1.6. Ensayo de flexión	66
5.1.7. Ensayo de permeabilidad	72
5.2. Discusión de resultados	76
5.3. Prueba de hipótesis.....	78
VI. Conclusiones.....	80
VII. Recomendaciones.....	82
VIII. Referencias	84
IX. Anexos	89

Índice de tablas

Tabla 1	Operacionalización de Variables.....	24
Tabla 2	Precipitaciones máximas por año	55
Tabla 3	Cálculo de Caudal de diseño en Microcuenca	58
Tabla 4	Propiedades del agregado huso N°8 de la cantera.....	59
Tabla 5	Dosificación del concreto permeable por metro cubico.....	60
Tabla 6	Dosificación de diseños de mezcla de concreto poroso por volumen de testigo de concreto de 15 cm x 30 cm.....	60
Tabla 7	Resistencia y promedio de resistencia del Diseño patrón a la edad de 7 días	61
Tabla 8	Resistencia y promedio de Diseño 1 (2.5% microsilice) a la edad de 7 días	61
Tabla 9	Resistencia y promedio de resistencia del Diseño 2 (5% microsilice) a la edad de 7 días.....	61
Tabla 10	Resistencia y promedio de resistencia del Diseño 3 (10% microsilice) a la edad de 7 días.....	62
Tabla 11	Resistencia y promedio de resistencia del Diseño patrón a los 14 días.....	62
Tabla 12	Resistencia y promedio de Diseño 1 (2.5% microsilice) a la edad de 14 días	62
Tabla 13	Resistencia y promedio de resistencia del Diseño 2 (5% microsilice) a la edad de 14 días.....	63
Tabla 14	Resistencia y promedio de resistencia del Diseño 3 (10% microsilice) a la edad de 14 días.....	63
Tabla 15	Resistencia y promedio de resistencia del D. patrón a la edad de 28 días	63

Tabla 16 Resistencia y promedio de Diseño 1 (2.5% microsilice) a la edad de 28 días	64
Tabla 17 Resistencia y promedio de resistencia del Diseño 2 (5% microsilice) a la edad de 28 días.....	64
Tabla 18 Resistencia y promedio de resistencia del Diseño 3 (10% microsilice) a la edad de 28 días.....	65
Tabla 19 Resistencia y promedio de resistencia a flexión del Diseño patrón a la edad de 7 días.....	67
Tabla 20 Resistencia y promedio de resistencia a flexión del Diseño 1 (2.5% microsilice) a la edad de 7 días	67
Tabla 21 Resistencia y promedio de resistencia a flexión del Diseño 2 (5% microsilice) a la edad de 7 días	67
Tabla 22 Resistencia y promedio de resistencia a flexión del Diseño 3 (10% microsilice) a la edad de 7 días	68
Tabla 23 Resistencia y promedio de resistencia a flexión del Diseño patrón a los 14 días	68
Tabla 24 Resistencia y promedio de resistencia a flexión del Diseño 1 (2.5% microsilice) a la edad de 14 días	68
Tabla 25 Resistencia y promedio de resistencia a flexión del Diseño 2 (5% microsilice) a la edad de 14 días	69
Tabla 26 Resistencia y promedio de resistencia a flexión del Diseño 3 (10% microsilice) a la edad de 14 días	69
Tabla 27 Resistencia y promedio de resistencia a flexión del Diseño patrón a la edad de 28 días.....	69

Tabla 28 Resistencia y promedio de resistencia a flexión del Diseño 1 (2.5% microsilice) a la edad de 28 días	70
Tabla 29 Resistencia y promedio de resistencia a flexión del Diseño 2 (5% microsilice) a la edad de 28 días	71
Tabla 30 Resistencia y promedio de resistencia a flexión del Diseño 3 (10% microsilice) a la edad de 28 días	71
Tabla 31 Resultados de ensayo de permeabilidad	75

Índice de Figuras

Figura 1 Concreto poroso	37
Figura 2 Microsilice.....	39
Figura 3 Delimitación del área de investigación	49
Figura 4 Áreas tributarias de la microcuenca de estudio	54
Figura 5 Áreas de aporte delimitadas de la microcuenca.....	55
Figura 6 Curvas IDF	57
Figura 7 Hietograma de precipitaciones de diseño.....	57
Figura 8 Resumen de resistencia a compresión por edades.....	66
Figura 9 Resumen de resistencia a flexión de testigos de concreto permeable por edades.	72
Figura 10 Equipo para ensayo de permeabilidad	73
Figura 11 Resultados del ensayo de permeabilidad	75

Índice de Anexos

Anexo 1. Matriz de Consistencias.....	90
Anexo 2. Matriz de Operacionalización de Variables.....	91
Anexo 3. Ficha técnica de materiales.....	92
Anexo 4. Datos Senamhi.....	100
Anexo 5. Ubicación del área de Investigación.....	104
Anexo 6. Panel fotográfico.....	106

I. Introducción

La investigación titulada Evaluación de las propiedades del concreto permeable con microsílice y plastificante para pavimentos en la Av. Tupac Amaru, Tamburco, 2024 surge como una respuesta a los problemas recurrentes de inundaciones y el deterioro de los pavimentos convencionales en la ciudad de Abancay. La creciente expansión urbana ha provocado la impermeabilización de grandes áreas debido al uso generalizado de concreto tradicional, lo cual ha incrementado el escurrimiento superficial y ha dificultado la gestión eficaz de las aguas pluviales. En este escenario, el concreto permeable se presenta como una alternativa innovadora, ya que favorece la infiltración del agua a través de su estructura, reduciendo así el escurrimiento y promoviendo un desarrollo urbano más sostenible.

Sin embargo, a pesar de sus múltiples ventajas, el concreto permeable enfrenta el desafío de mejorar su resistencia mecánica, lo que plantea la necesidad de explorar nuevas estrategias para optimizar sus propiedades. Una posible solución a este reto es la incorporación de aditivos como la microsílice y el plastificante, los cuales han mostrado ser efectivos en la mejora de la durabilidad y resistencia del concreto convencional. No obstante, su impacto específico en el rendimiento del concreto permeable y su aplicación en pavimentos urbanos aún no ha sido suficientemente investigado.

El objetivo de esta investigación es evaluar el efecto de diferentes proporciones de microsílice (2.5%, 5% y 10%) y plastificante, sobre la resistencia del concreto permeable, con el fin de determinar su viabilidad para su uso en pavimentos urbanos en Abancay. Además, este estudio busca generar conocimiento técnico sobre el uso de aditivos en concreto permeable y contribuir al desarrollo de soluciones sostenibles para la infraestructura vial de la ciudad.

La investigación se lleva a cabo en tres fases. En la primera, se analiza la calidad de los agregados extraídos de la cantera de Murillo, ubicada en Pachachaca, Abancay, para diseñar la mezcla adecuada. En la segunda fase, se fabrican las probetas de concreto y se realizan los ensayos correspondientes conforme a las normativas NTP, ACI

y ASTM, evaluando propiedades como el asentamiento, la resistencia y la permeabilidad. Finalmente, se analizan los resultados obtenidos en función de la cantidad de microsílíce incorporada, lo que permitirá extraer conclusiones que se alineen con los objetivos establecidos en esta investigación.

II. Planteamiento del problema

2.1. Descripción y formulación del problema

Descripción

El concreto permeable ha sido reconocido internacionalmente como una solución efectiva para mitigar los efectos negativos de la escorrentía superficial y las inundaciones en zonas urbanas. Según el ACI (2010), su uso en lugares como Florida, EE. UU., se justifica por tres razones fundamentales: la necesidad de gestionar eficientemente el agua de lluvia debido al crecimiento poblacional; la posibilidad de favorecer la recarga de acuíferos al permitir la infiltración en el mismo lugar de precipitación; y su menor costo frente a soluciones tradicionales que requieren infraestructura de drenaje.

En el contexto nacional, las lluvias estacionales en Perú afectan tanto áreas urbanas como rurales, generando escorrentías que deterioran la infraestructura vial y dificultan el tránsito vehicular y peatonal. A pesar de sus beneficios, el uso del concreto permeable en el país aún es limitado, lo que incrementa la vulnerabilidad de las ciudades ante estos eventos, como lo advierte Ramos (2019).

En la ciudad de Abancay, particularmente en el distrito de Tamburco, se presentan problemas recurrentes de inundaciones durante la temporada de lluvias. Las zonas más afectadas son las partes bajas y planas, como la Av. Tupac Amaru, donde la impermeabilidad de los pavimentos tradicionales, hechos con concreto convencional, impide la infiltración del agua, aumentando la escorrentía y acelerando el deterioro del pavimento. Esta situación se ve agravada por un sistema de drenaje pluvial deficiente o inexistente, lo que genera encharcamientos, salpicaduras, hidroplaneo y riesgo para la movilidad urbana.

Además, la expansión urbana y la construcción continua de nuevas vías con materiales tradicionales no permeables han intensificado el problema, generando acumulación de agua, sedimentación y colmatación de las superficies viales. Esto

demanda soluciones sostenibles e innovadoras que no solo permitan la infiltración del agua, sino que también ofrezcan la resistencia mecánica necesaria para el tránsito.

El concreto permeable surge como una alternativa viable. No obstante, su principal limitación radica en su menor resistencia estructural respecto al concreto convencional. Para superar esta debilidad, se ha propuesto la incorporación de aditivos como la microsílice y el plastificante, los cuales han demostrado mejorar la cohesión de la mezcla y aumentar la resistencia en otros tipos de concreto. Sin embargo, su efecto específico en el concreto permeable, especialmente en las condiciones locales de Abancay, aún no ha sido suficientemente investigado.

Por ello, esta investigación se orienta a evaluar el comportamiento del concreto permeable con adición de microsílice y plastificante, con el fin de determinar su viabilidad técnica para pavimentos urbanos en la Av. Tupac Amaru, Tamburco. Se busca así ofrecer una alternativa constructiva sostenible que contribuya a resolver los problemas de drenaje urbano, mejorando tanto la durabilidad como la capacidad hidráulica de las vías, y elevando la calidad de vida de los ciudadanos.

Formulación del Problema de investigación

Problema General

- ¿Cuál es el efecto de la incorporación de microsílice y plastificante en las propiedades del concreto permeable utilizado para pavimentos en la Av. Tupac Amaru, Tamburco, 2024?

Problemas Específicos

- ¿Cómo impacta la adición de microsílice y plastificante en la resistencia a la compresión del concreto permeable?
- ¿De qué manera afecta la incorporación de microsílice y plastificante a la resistencia a la flexión del concreto permeable?
- ¿Cómo varía la permeabilidad del concreto permeable con la adición de microsílice y plastificante?

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo General

- Evaluar las propiedades del concreto permeable con microsílice y plastificante para pavimentos en la Av. Tupac Amaru, Tamburco, 2024.

2.2.2. Objetivo Específicos

- Determinar la influencia de la incorporación de microsílice y plastificante en la resistencia a la compresión del concreto permeable.
- Analizar el efecto del uso de microsílice y plastificante en la resistencia a la flexión del concreto permeable.
- Evaluar cómo afecta la adición de microsílice y plastificante a la permeabilidad del concreto permeable.

2.3. Justificación e importancia

La presente investigación tiene como propósito evaluar la influencia de la microsílice y el plastificante en las propiedades del concreto permeable, analizando su comportamiento estructural y su eficiencia hidráulica en la infiltración de aguas pluviales. Esta evaluación busca determinar la viabilidad de su aplicación en pavimentos urbanos, particularmente en la ciudad de Abancay, como una alternativa técnica y sostenible frente a problemas recurrentes como inundaciones, encharcamientos, salpicaduras, hidroplaneo y dificultades en el tránsito vehicular y peatonal.

El uso de microsílice se justifica por su capacidad de mejorar la cohesión interna del concreto, reducir la porosidad capilar y aumentar significativamente su resistencia mecánica, superando una de las principales limitaciones del concreto permeable: su menor capacidad estructural frente al concreto tradicional. Asimismo, la plastificante mejora la trabajabilidad de la mezcla sin comprometer la relación agua-cemento, permitiendo una mejor compactación y durabilidad del material.

Si bien existen investigaciones que validan el uso del concreto permeable para la gestión de aguas pluviales en diferentes contextos, en Abancay y específicamente en el distrito de Tamburco, su aplicación es aún incipiente y carece de estudios técnicos adaptados a las condiciones locales, como la climatología, la topografía y el tipo de tránsito.

En este sentido, esta investigación aporta evidencia empírica y técnica que permitirá orientar futuras intervenciones en infraestructura vial urbana. Los resultados generarán conocimiento aplicable al diseño de pavimentos que combinen resistencia mecánica adecuada con capacidad de infiltración, contribuyendo así a reducir la vulnerabilidad urbana frente a eventos climáticos extremos y mejorar la calidad de vida de la población.

2.4. Hipótesis

Hipótesis General

- La incorporación de microsílice y plastificante en el concreto permeable influye significativamente en la resistencia mecánica y la permeabilidad del material, mejorando su viabilidad para su uso en pavimentos urbanos de la Av. Tupac Amaru, Tamburco.

Hipótesis Específicas

- La adición de microsílice en diferentes proporciones (2.5%, 5% y 10%) mejora la resistencia a la compresión del concreto permeable, optimizando su desempeño estructural en pavimentos urbanos.
- La incorporación de microsílice influye en la permeabilidad del concreto permeable, afectando su capacidad de infiltración de aguas pluviales.
- La combinación de microsílice y plastificante contribuye a mejorar la resistencia a la flexión del concreto permeable, ampliando su aplicación en pavimentos urbanos con tráfico moderado.

- El empleo de concreto permeable con microsilíce y plastificante en la Av. Tupac Amaru, Tamburco, reducirá la acumulación de agua en la superficie, mitigando problemas como encharcamientos e hidroplaneo.

2.5. Variables

Tabla 1

Operacionalización de Variables

VARIABLE	DESCRIPCION DE LA VARIABLE	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE	Las propiedades del concreto permeable en estado endurecido se definen por su comportamiento mecánico e hidráulico, determinado por su porosidad, contenido de pasta, grado de compactación y calidad del agregado, lo cual influye directamente en su resistencia y durabilidad (Kosmatka, Kerkhoff & Panarese, 2011; ACI 522R-10, 2010).	Corresponde a la evaluación cuantitativa del comportamiento del concreto permeable al someterlo a ensayos normalizados de resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y coeficiente de permeabilidad, realizados a los 7, 14 y 28 días de curado. La variable se ve influida por la presencia de microsilíce y plastificante en diferentes proporciones.	• Resistencia a la compresión • Resistencia a la flexión • Permeabilidad	• Kg/cm² • Cm/s	Ficha de recolección de datos y equipos para ensayos de laboratorio.
MICROSILICE Y PLASTIFICANTE	La microsilíce (sílice activa) es un aditivo mineral altamente reactivo que mejora la resistencia mecánica y durabilidad del concreto al rellenar vacíos capilares y promover la formación de productos	Son los aditivos incorporados en la mezcla de concreto permeable con fines experimentales. La microsilíce se dosifica en proporciones de 2.5%, 5% y 10% respecto al peso	• Dosificación del microsilíce	• Al 2.5% del peso del cemento • Al 5% del peso del cemento • Al 10% del peso del cemento • 500 ml por bolsa de	Ficha para recolección de información/datos.

cementantes del cemento, y el
adicionales (Neville, plastificante en
2012). El una proporción
plastificante, por su constante de 250
parte, actúa como ml por bolsa de
aditivo químico que cemento (42.5
incrementa la fluidez kg). Se evalúa su
de la mezcla sin influencia sobre
aumentar la relación las propiedades
agua/cemento, del concreto
favoreciendo la mediante
trabajabilidad y la ensayos
resistencia mecánica normalizados.
(Sika, 2022; Mehta &
Monteiro, 2014).

cemento
(super-
plastificant
e)

Nota. Elaboración propia

III. Marco Teórico

3.1. Antecedentes

3.1.1. Antecedentes Internacionales

- a) En la investigación hecha por Abad y Remache (2023) intitulada: “Análisis comparativo del comportamiento de mezclas de concreto permeable fabricado con diferentes tipos de cementos”; realizaron un estudio comparativo sobre mezclas de concreto permeable elaboradas con cementos GU, HE y HS, con el objetivo de analizar su impacto en la resistencia mecánica y la infiltración. Usando el diseño ACI 522R-10, evaluaron especímenes cilíndricos a distintas edades de curado (3 a 45 días). Encontraron que el cemento HE alcanzó la mayor resistencia a compresión (20,03 MPa) y tracción (2,61 MPa) a los 28 días, mientras que el cemento GU mostró la mayor permeabilidad (1,69 cm/s), y el cemento HS tuvo resultados intermedios. Concluyeron que el tipo de cemento influye significativamente en la resistencia, permeabilidad y trabajabilidad del concreto permeable.
- b) El artículo desarrollado por Goran & Kevern(2020), tuvo como objetivo analizar el efecto del humo de sílice en la resistencia y durabilidad del concreto permeable, partiendo de la evidencia anecdótica que sugiere sus beneficios. La metodología incluyó la evaluación de mezclas de pasta con distintas proporciones de humo de sílice (hasta 10% como reemplazo del cemento Portland), estudiando sus propiedades reológicas para entender su impacto en la trabajabilidad y rendimiento del concreto. Inicialmente, las muestras de concreto permeable se elaboraron con compactación fija y áridos de grava de río, observándose que la trabajabilidad influía directamente en el contenido de huecos y, por ende, en el rendimiento. Posteriormente, se controló el contenido de huecos (20%) variando la energía de compactación y empleando tanto grava de río como piedra caliza más rugosa. Los resultados indicaron

que una dosificación del 5% de humo de sílice optimiza la trabajabilidad, resistencia y durabilidad del concreto permeable, concluyendo que este aditivo mejora significativamente sus propiedades cuando se controla adecuadamente la compactación y la porosidad.

- c) Sanes (2017) en su tesis de maestría titulada “Influencia de microfibras de polipropileno y microsílíce en la resistencia de concretos”, tuvo como objetivo determinar el efecto de la microsílíce en la resistencia a compresión de concretos diseñados para soportar 3,000 y 4,000 PSI. La metodología fue de tipo mixta, combinando una fase de revisión bibliográfica con una etapa experimental en la que se diseñaron las mezclas, se prepararon las muestras y se realizaron ensayos de compresión a los 7 y 28 días, incorporando microsílíce en proporciones del 1% al 4% en peso del cemento. Los resultados mostraron que la adición de un 2% de microsílíce fue la más efectiva para mejorar la resistencia a compresión, mientras que porcentajes superiores no aportaron mejoras significativas. El estudio concluyó que el uso óptimo de microsílíce se sitúa en torno al 2%, ya que incrementos mayores no generan beneficios adicionales en la resistencia del concreto.
- d) En el Artículo desarrollado por Anjos et al. (2022) , desarrollaron una investigación enfocada en evaluar el desempeño real de pavimentos permeables de concreto, considerando que, si bien estos materiales son una alternativa eficaz para gestionar la escorrentía superficial y mitigar inundaciones, su comportamiento ha sido estudiado principalmente en laboratorio, sin profundizar en su rendimiento en condiciones reales y el efecto de la colmatación. El objetivo fue analizar el comportamiento mecánico e hidráulico de estos pavimentos en un campo experimental que simula condiciones reales de uso. La metodología incluyó la medición de propiedades como la resistencia a compresión y tracción, porosidad, permeabilidad y la reducción progresiva de su capacidad hidráulica debido a la colmatación. Los

resultados permitieron identificar cómo el pavimento permeable mantiene sus propiedades estructurales y funcionales a lo largo del tiempo, y mostraron la importancia de la colmatación como factor crítico de deterioro hidráulico. La investigación concluye que es esencial establecer directrices constructivas y controles de calidad más rigurosos para garantizar la durabilidad y efectividad de estos pavimentos, reafirmando su papel clave en la sostenibilidad urbana.

3.1.2. Antecedentes Nacionales

a) Un estudio reciente publicado en 2024 por Torre y otros, titulado "Uso de las redes neuronales artificiales en el estudio del coeficiente de permeabilidad de concretos adicionados con microsílice, metacaolín y puzolana", buscó predecir la permeabilidad del concreto con adiciones minerales ultrafinas utilizando redes neuronales artificiales. En la parte experimental, se crearon mezclas de concreto sin adición y con adiciones de metacaolín, microsílice y puzolana. Se encontraron valores de permeabilidad en un rango de $[0.12, 733] \times 10^{-13}$ m/s. Mediante análisis de varianza, se determinó que a los 28 días, la permeabilidad del concreto se estabiliza con las adiciones de microsílice y puzolana, pero no con la adición de metacaolín. Se probaron diferentes arquitecturas de redes neuronales artificiales, obteniendo correlaciones de 0.904 a 0.907 en la fase de simulación. Además, se obtuvieron redes neuronales que permiten predecir de manera segura los coeficientes de permeabilidad en los concretos adicionados. Se concluyó que las adiciones de microsílice y puzolana afectan de manera inversa la permeabilidad del concreto y que esta se estabiliza a los 28 días.

b) Challco y Tuesta, en su tesis de 2024 titulada "Propuesta de diseño de concreto permeable con microsílice reforzado con fibras de basalto para incrementar su resistencia, posibilitar su uso en el pavimento y mitigar las deficiencias del alcantarillado existente durante la época de lluvias en el distrito

de Wanchaq - Cusco", buscaron diseñar un concreto permeable más resistente que pueda emplearse en pavimentos y contribuir a la gestión eficiente de aguas pluviales en zonas con infraestructura deficiente. La metodología incluyó el desarrollo de cuatro mezclas de concreto permeable con 9.5% de microsílice y fibras de basalto en proporciones de 0%, 0.1%, 0.2% y 0.3%. Los resultados indicaron que la mezcla óptima fue la que incorporó un 0.1% de fibras de basalto, mostrando mejoras significativas en resistencia y rendimiento hidráulico. La investigación concluyó que esta combinación ofrece una alternativa viable y más durable para pavimentos permeables, además de ser económicamente competitiva frente al concreto permeable convencional.

c) Ayala Mas, en su estudio de 2024 titulado "Evaluación de la resistencia de un concreto permeable aplicando micro sílice", analizó el efecto de la incorporación de micro sílice en distintas proporciones sobre la resistencia del concreto permeable. Los resultados demostraron que la micro sílice mejora significativamente la cohesión y la resistencia del concreto permeable. La investigación concluyó que este aditivo es eficaz para fortalecer las propiedades mecánicas del concreto, haciéndolo más apto para aplicaciones que requieren alta durabilidad y resistencia.

d) García y Gutiérrez, en su investigación de 2022 titulada "Adición de microsílice en la resistencia del concreto en Trujillo, 2022", buscaron determinar la incidencia de la adición de microsílice en la resistencia del concreto en la localidad de Trujillo. La metodología fue un diseño de investigación experimental y nivel explicativo. Se obtuvo como principales resultados que el 10% de adición de microsílice logra alcanzar los mayores alcances de resistencia mecánica en comparación del diseño patrón. Se concluyó que la utilización de este aditivo logra influir eficientemente en la resistencia del concreto para su aplicación en distintas obras de ingeniería.

e) Cachay, en su estudio de 2022 titulado "Variación de la resistencia a compresión de un concreto permeable de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con aditivo plastificante Sikament® 290N al reemplazar en diferentes porcentajes el agregado grueso por agregado de concreto reciclado", analizó cómo varía la resistencia de un concreto permeable con $f'c$ de 210 kg/cm^2 al incorporar el aditivo plastificante y reemplazar el agregado grueso en proporciones de 10%, 20% y 30% por agregado de concreto reciclado. Los resultados mostraron que la resistencia óptima se logró con un 20% de agregado de concreto reciclado, alcanzando 251.61 kg/cm^2 , lo que representa un incremento del 15.52% respecto a las muestras sin agregado de concreto reciclado. El estudio concluye que la incorporación de agregado de concreto reciclado no solo mejora la resistencia, sino que también favorece la reutilización de residuos de construcción y demolición.

3.1.3. Antecedentes Locales

- a) El estudio realizado por Arcos mansilla (2022) denominada "Concreto poroso para el control de aguas pluviales en calles urbanas de Abancay" tuvo por finalidad hallar la resistencia a la compresión, la flexión y el análisis de la permeabilidad del concreto poroso, siguiendo la norma ACI 211.3R-02. Elaboró concreto con una resistencia a compresión ($f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$) y con porcentajes de porosidad del 12%, 17% y 22%. Se concluyó que el tratamiento T1 con un 12% de vacío del Huso 8 posee la mayor resistencia. También se observó que el Huso 67 tiene menor resistencia en todos los porcentajes de vacío en comparación con el Huso 8, por lo que el tratamiento T2 es crucial para el diseño del concreto permeable. El módulo de ruptura de los tratamientos T1 con 12% de vacío y T2 con 17% de vacío del Huso 8 no es significativamente diferente. Sin embargo, T1 es significativamente diferente de T3 con 22% de vacío del Huso 8 y del Huso 67 respectivamente. En cuanto

a la flexión, no hay motivos para afirmar que son diferentes bajo el mismo porcentaje de vacío. También es importante notar que a mayor porcentaje de vacío se reduce la flexión. En cuanto a la permeabilidad, se encontró que el tratamiento T2 con 17% de vacío correspondiente al Huso 8 es adecuado para el control de aguas pluviales en vías urbanas de Abancay, ya que permite una mayor permeabilidad con buena resistencia, lo cual facilita un buen drenaje y durabilidad.

b) La investigación de Sánchez Córdova (2024) tuvo como objetivo analizar el impacto de la microsílíce en la resistencia del concreto permeable para infraestructura vial en Abancay. Se llevó a cabo un estudio experimental con enfoque cuantitativo, aplicando la normativa ACI 522-R10 para evaluar el comportamiento del concreto en función del análisis hidrológico, de tráfico y del agregado del huso N°8. El estudio utilizó un total de 36 briquetas para ensayos de compresión, 36 vigas para tracción y 12 briquetas para permeabilidad. Los resultados indicaron que la precipitación máxima en la zona alcanzó 61.74 mm/h/m², mientras que la permeabilidad óptima del concreto se estableció en 12%. Para soportar un tráfico moderado, se determinó que la resistencia requerida debía ser de 300 kg/cm². Los diseños con 5% y 10% de microsílíce mostraron una mejora significativa en la resistencia a compresión, flexión y permeabilidad, cumpliendo con las normativas CE.010-RNE y MTC. No obstante, el diseño con 15% de microsílíce redujo la resistencia mecánica, aunque mantuvo una permeabilidad adecuada. Concluye que la incorporación de 5% y 10% de microsílíce en el concreto permeable optimiza sus propiedades estructurales y de infiltración, haciéndolo apto para pavimentos urbanos.

3.2. Bases teóricas

3.2.1. Estudio Hidrológico

Un estudio hidrológico es un análisis técnico que evalúa el comportamiento del agua en una cuenca o zona específica, considerando factores como precipitación, escorrentía, infiltración y capacidad de drenaje (Chow et al., 1988). En el contexto de pavimentos permeables, este estudio adquiere relevancia al determinar la eficiencia del concreto poroso para manejar el flujo pluvial y reducir inundaciones (López & Rodríguez, 2018).

En Perú, el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI, 2020) establece que los estudios hidrológicos son fundamentales para proyectos de infraestructura urbana, ya que permiten predecir el impacto de las lluvias y diseñar sistemas de drenaje sostenibles. En el caso de la Av. Tupac Amaru (Tamburco), este análisis debe considerar las características climáticas de la región Apurímac, donde las precipitaciones varían entre 600 y 800 mm anuales, con intensidad en época de lluvias (diciembre a marzo).

Parámetros Hidrológicos Clave

Precipitación y Escorrentía

La precipitación es el principal factor que influye en el diseño de pavimentos permeables. Según Villón (2014), el cálculo de la intensidad de lluvia (en mm/h) se realiza mediante curvas IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia), las cuales pueden obtenerse de datos históricos del SENAMHI. La escorrentía superficial, por otro lado, depende de la permeabilidad del suelo y la pendiente del terreno (Aparicio, 2017).

En zonas urbanas como Tamburco, la impermeabilización del suelo aumenta la escorrentía, lo que exige sistemas de infiltración eficientes. El Manual de Drenaje Urbano de la Universidad Nacional de Ingeniería (Universidad Nacional de Ingeniería [UNI], 2019) recomienda el uso del método racional modificado para estimar el caudal pico en áreas pequeñas:

$$Q=C \cdot I \cdot A$$

Donde:

Q = Caudal máximo (m³/s)

C = Coeficiente de escorrentía (adimensional)

I = Intensidad de lluvia (mm/h)

A = Área de la cuenca (ha)

Infiltración y Capacidad de Drenaje

La infiltración es crítica en pavimentos permeables, ya que determina cuánta agua puede ser absorbida por el concreto y el subsuelo. Según Díaz (2021), la tasa de infiltración depende de la porosidad del material y las propiedades del suelo subyacente. En suelos arcillosos, como los presentes en algunas zonas de Apurímac, la capacidad de infiltración es reducida, por lo que se requiere una capa de base granular para mejorar el drenaje (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [MVCS], 2018).

Aplicación en Pavimentos Permeables

Los pavimentos permeables, como el concreto con microsilice y plastificante, deben diseñarse considerando:

Capacidad de Infiltración: Debe superar la intensidad máxima de lluvia esperada (López & Rodríguez, 2018).

Reducción de Escorrentía: Estudios en la Pontificia Universidad Católica del Perú (Pontificia Universidad Católica del Perú [PUCP], 2020) demuestran que estos pavimentos pueden reducir hasta un 70% la escorrentía superficial en comparación con pavimentos convencionales.

Resistencia a la Obstrucción: La microsilice mejora la durabilidad y reduce el sellado de los poros, manteniendo la permeabilidad (Zhang et al., 2020).

Normativa y Estándares

En Perú, el Reglamento Nacional de Edificaciones (MVCS, 2021) y el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC, 2021) establecen pautas para el diseño de drenaje en pavimentos. A nivel internacional, la American Society of Civil Engineers

(ASCE, 2015) recomienda que los pavimentos permeables tengan una permeabilidad mínima de 0,01 cm/s para garantizar un drenaje efectivo.

3.2.2. Demanda del Trafico

La demanda del tráfico corresponde al volumen vehicular que circula por una vía en un período específico, siendo un factor determinante en el diseño, capacidad y durabilidad de los pavimentos (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC], 2018). García (2019) sostiene que este parámetro es esencial para evaluar las cargas repetidas que afectarán la estructura del pavimento, particularmente en zonas urbanas como la Av. Tupac Amaru en Tamburco, donde la fluctuación del flujo vehicular entre horas pico y períodos de baja demanda es significativa.

Factores que Influyen en la Demanda del Tráfico

Investigaciones realizadas en el contexto peruano, como las del Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI] (2021), identifican el crecimiento poblacional y el incremento del parque automotor como los principales impulsores del aumento en la demanda del tráfico. Además, el MTC (2020) resalta que la ausencia de rutas alternas y la expansión urbana desorganizada intensifican la congestión, incrementando la presión sobre la infraestructura vial existente.

Desde una perspectiva global, el Highway Capacity Manual (Transportation Research Board [TRB], 2016) establece que la demanda no solo depende del número de vehículos, sino también de su tipología (livianos, pesados, motocicletas), dado que los vehículos pesados generan un mayor impacto en la degradación de los pavimentos. Este aspecto es crítico en el diseño de concretos permeables, ya que deben resistir tanto la magnitud como el tipo de carga vehicular.

Metodologías para Evaluar la Demanda del Tráfico

En el ámbito peruano, el Manual de Diseño de Pavimentos Urbanos (MTC, 2018) propone la realización de aforos vehiculares para calcular el tránsito promedio diario (TPD) y la distribución direccional. Por su parte, Rodríguez (2022) sugiere que, en áreas

urbanas como Tamburco, es indispensable incorporar estudios de generación de viajes para anticipar incrementos futuros en la demanda.

Técnicamente, el método más empleado para proyectar la demanda es el modelo de crecimiento exponencial, fundamentado en datos históricos del tráfico (Vásquez, 2020). No obstante, en regiones con rápido desarrollo urbano, como la Av. Tupac Amaru, se recomienda complementar con herramientas de simulación, como las implementadas en el software VISSIM (PTV Group, 2019).

Impacto en el Diseño de Pavimentos

La demanda del tráfico influye directamente en las especificaciones técnicas del pavimento, incluyendo espesores y materiales. De acuerdo con el Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial (RNGIV, 2019), en vías con alto tránsito de vehículos pesados, como las avenidas principales, se requieren mezclas de concreto con aditivos que mejoren su resistencia y vida útil. En este contexto, la incorporación de microsílice y plastificantes en el concreto permeable busca optimizar su comportamiento frente a cargas dinámicas y condiciones ambientales adversas (Ghezzi & Lozano, 2021).

3.2.3. Concreto poroso

El concreto poroso, también denominado concreto permeable o permeable, es un material cementicio de baja relación agua-cemento, caracterizado por su estructura interna interconectada que permite el paso de agua y aire (Delgado, 2019). A diferencia del concreto convencional, su diseño incluye un reducido contenido de finos o su eliminación total, lo que genera una porosidad entre el 15% y 30%, con una capacidad de infiltración que varía entre 120 y 320 L/m²/min (American Concrete Institute [ACI], 2010).

Este material es ampliamente utilizado en pavimentos urbanos debido a su capacidad para mitigar inundaciones, recargar acuíferos y reducir el efecto de isla de calor (Chávez, 2021). En el contexto peruano, su aplicación se ha incrementado en proyectos de infraestructura sostenible, especialmente en zonas con alta precipitación pluvial o problemas de drenaje (Guerra & Mendoza, 2020).

Composición y Proporciones

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [MVCS], 2018), el concreto poroso se compone de:

Agregado grueso: Piedra triturada de tamaño uniforme (9.5 mm a 12.5 mm), sin arena fina para mantener la porosidad.

Cemento Portland: Generalmente Tipo I o IP, en proporciones entre 250 kg/m³ y 400 kg/m³.

Aditivos: Plastificantes para mejorar manejabilidad sin aumentar agua, y microsilíce para incrementar resistencia (Pacheco, 2022).

Relación agua-cemento (a/c): Oscila entre 0.27 y 0.34 para evitar segregación (ACI, 2010).

Propiedades Físicas y Mecánicas

Las principales propiedades evaluadas en el concreto poroso incluyen:

Permeabilidad: Capacidad de filtrar agua, medida en cm/s (Chávez, 2021).

Resistencia a la compresión: Varía entre 7 MPa y 28 MPa, dependiendo del diseño de mezcla (MVCS, 2018).

Durabilidad: Sensible a ciclos de hielo-deshielo en climas fríos, pero mejora con aditivos como microsilíce (Pacheco, 2022).

En el Perú, su uso en vías como la Av. Tupac Amaru (Tamburco) es viable por su contribución al manejo de aguas pluviales y reducción de inundaciones (Guerra & Mendoza, 2020). Sin embargo, requiere mantenimiento periódico para evitar obstrucción de poros (Delgado, 2019).

Figura 1

Concreto poroso



Nota. Ilustración que muestra el funcionamiento del concreto permeable, extraída de Cementos Torices. (s.f.).

3.2.4. Microsilice

La microsilice, también conocida como humo de sílice, es un material ultrafino obtenido como subproducto de la producción de silicio metálico o ferrosilicio en hornos de arco eléctrico (Zhang et al., 2020). Este material está compuesto principalmente por partículas de dióxido de silicio (SiO_2) no cristalino, con un tamaño promedio de 0.1 a 0.5 micrones, lo que le confiere propiedades puzolánicas altamente reactivas (Mehta & Monteiro, 2014).

En el Perú, la microsilice ha sido estudiada como aditivo para mejorar las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto, especialmente en estructuras expuestas a condiciones ambientales agresivas (Villarreal & Soto, 2019). Su uso en mezclas de concreto permeable es relevante debido a su capacidad para reducir la porosidad y aumentar la resistencia a la compresión (García & Alva, 2021).

Propiedades y Composición

La microsilice se caracteriza por su elevada superficie específica (15,000–25,000 m^2/kg), lo que incrementa su reactividad con el hidróxido de calcio (Ca(OH)_2) liberado

durante la hidratación del cemento, formando silicatos de calcio hidratados (C-S-H) adicionales (Neville, 2019). Según estudios realizados en la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), la adición de microsílice en proporciones del 5% al 10% del peso del cemento puede mejorar significativamente la resistencia mecánica y reducir la permeabilidad del concreto (Villarreal & Soto, 2019).

Además, su composición química típica incluye:

SiO_2 (85–98%) – Principal componente reactivo.

Óxidos de aluminio (Al_2O_3), hierro (Fe_2O_3) y calcio (CaO) – En menores proporciones (Zhang et al., 2020).

Efectos en el Concreto Permeable

En el concreto permeable, la microsílice actúa como un modificador de la microestructura, reduciendo los espacios vacíos interconectados y mejorando la cohesión entre la pasta de cemento y los agregados (García & Alva, 2021). Esto se traduce en:

Mayor resistencia a la compresión y flexión.

Reducción de la permeabilidad, mejorando la durabilidad frente a agentes químicos.

Control de la segregación y exudación, especialmente cuando se combina con superplastificantes (Mehta & Monteiro, 2014).

Aplicaciones en Pavimentos

En pavimentos, la incorporación de microsílice en el concreto permeable puede mitigar problemas como el deterioro por cargas cíclicas y la infiltración de agua, factores críticos en vías urbanas como la Av. Tupac Amaru (Villarreal & Soto, 2019). Estudios internacionales respaldan su uso en climas húmedos, donde la resistencia a la abrasión y al ataque de sulfatos es esencial (Neville, 2019).

Figura 2

Microsilice



Nota. ilustración gráfica del microsilice tomada de (ALPA Powder Technology)

3.2.5. Diseño de Mezcla del Concreto poroso

El concreto poroso, también conocido como concreto permeable, es un material de construcción diseñado para permitir el paso del agua a través de su estructura, reduciendo así la escorrentía superficial y favoreciendo la recarga de acuíferos (Delgado, 2020). A diferencia del concreto convencional, su diseño de mezcla incorpora un bajo contenido de finos, lo que genera una red de vacíos interconectados que varían entre el 15% y 30% (American Concrete Institute [ACI], 2010).

Metodología de Diseño de Mezcla

El diseño de mezcla del concreto poroso se basa en criterios específicos que garantizan su permeabilidad, resistencia mecánica y durabilidad. Según el Comité ACI 522, el proceso considera los siguientes aspectos clave:

Selección de materiales:

Agregado grueso: Debe ser de tamaño uniforme (generalmente entre 9.5 mm y 19 mm) y con baja cantidad de finos para asegurar la porosidad (Gonzales & Díaz, 2019).

Cemento y adiciones: El uso de microsílice mejora la resistencia y reduce la segregación, mientras que los aditivos plastificantes optimizan la trabajabilidad sin afectar la permeabilidad (Villarreal, 2021).

Relación agua/cemento (a/c): Suele oscilar entre 0.28 y 0.35 para equilibrar manejabilidad y resistencia (Neville, 2013).

Proporcionamiento:

El método más utilizado en Perú es el método volumétrico, donde se calcula el volumen de vacíos deseado y se ajustan las proporciones de agregado, cemento y agua (Instituto Nacional de Calidad [INACAL], 2018).

La norma ASTM C1688 proporciona directrices para evaluar la densidad y permeabilidad del concreto poroso (ASTM International, 2014).

Control de calidad:

Se deben realizar ensayos de permeabilidad (norma ASTM C1701) y resistencia a la compresión (norma NTP 334.090) para verificar el cumplimiento de especificaciones (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [MVCS], 2017).

3.2.6. Agregados del Concreto Poroso

Los agregados son componentes esenciales en la fabricación de concreto poroso, ya que constituyen aproximadamente el 80% del volumen total de la mezcla (Gonzales, 2020). En el caso del concreto permeable, los agregados deben cumplir requisitos específicos de granulometría, resistencia y forma para garantizar la formación de una estructura interconectada de vacíos que permita el paso del agua (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC], 2018).

A diferencia del concreto convencional, donde se emplean agregados finos y gruesos, el concreto poroso utiliza principalmente agregados gruesos de tamaño uniforme (entre 9.5 mm y 19 mm), eliminando o reduciendo significativamente la fracción de arena para facilitar la permeabilidad (Flores & Rojas, 2019). Según el Instituto

Nacional de Calidad (INACAL, 2021), los agregados deben ser de origen natural o triturado, con baja absorción de agua y alta resistencia al desgaste para asegurar durabilidad en pavimentos.

Selección y Calidad de los Agregados

La Norma Técnica Peruana (NTP) 400.037 (2020) establece que los agregados para concreto permeable deben provenir de fuentes limpias, libres de materia orgánica, arcillas y partículas finas que puedan obstruir los poros. Además, deben cumplir con los límites de abrasión (máximo 40% según ASTM C131) y resistencia a la fragmentación (MTC, 2018).

Investigaciones realizadas por la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP, 2022) indican que los agregados de origen volcánico, como la piedra chancada de canteras locales, presentan mejores propiedades de adherencia con la pasta de cemento y mayor resistencia mecánica en comparación con agregados calcáreos. Sin embargo, en ausencia de estos materiales, se recomienda el uso de agregados silíceos triturados, siempre que cumplan con los requisitos de durabilidad (Guerra et al., 2021).

Influencia de los Agregados en las Propiedades del Concreto Permeable

La forma y textura superficial de los agregados influyen directamente en la permeabilidad y resistencia del concreto poroso. Según estudios de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI, 2020), los agregados angulares y rugosos mejoran la cohesión de la mezcla, mientras que los redondeados favorecen una mayor permeabilidad, pero reducen la resistencia a la compresión.

Por otro lado, la gradación del agregado es determinante en la formación de vacíos. Una distribución uniforme (sin finos) permite alcanzar porosidades entre el 15% y 25%, necesarias para un drenaje eficiente en pavimentos (Flores & Rojas, 2019). No obstante, el INACAL (2021) advierte que una porosidad excesiva puede comprometer la resistencia estructural, por lo que se requiere un equilibrio entre permeabilidad y capacidad de carga.

3.2.7. Ensayos del Concreto Permeable

El concreto permeable es un material con alta porosidad que permite el paso de agua y aire, siendo utilizado en pavimentos para mitigar inundaciones y recargar acuíferos (Delgado et al., 2020). Para garantizar su calidad y desempeño, se realizan diversos ensayos que evalúan sus propiedades físicas, mecánicas y hidráulicas. Estos ensayos son fundamentales para determinar su aplicabilidad en proyectos viales, como el caso de la Av. Tupac Amaru en Tamburco.

Ensayos de Propiedades Físicas

Densidad y Porosidad

La densidad y porosidad son parámetros clave que influyen en la permeabilidad y resistencia del concreto permeable. Según la Norma Técnica Peruana (NTP) 400.037 (2021), la densidad se determina mediante el método gravimétrico, mientras que la porosidad se calcula mediante la relación entre el volumen de vacíos y el volumen total de la muestra. Estudios realizados por Morales y Rojas (2019) indican que un contenido de vacíos entre 15% y 25% es óptimo para garantizar permeabilidad sin comprometer la resistencia.

Permeabilidad

La permeabilidad es la propiedad más importante del concreto permeable y se mide mediante ensayos de infiltración. La Norma ASTM C1701 (2017) establece un método estandarizado para evaluar la tasa de permeabilidad en el laboratorio y campo. En investigaciones peruanas, se ha utilizado el permeámetro de carga constante para medir el flujo de agua a través del material (Gutiérrez, 2020).

Ensayos de Propiedades Mecánicas

Resistencia a la Compresión

La resistencia a la compresión se evalúa según la NTP 334.090 (2020), utilizando probetas cilíndricas sometidas a carga axial. Debido a su alta porosidad, el concreto permeable presenta resistencias menores que el concreto convencional, generalmente entre 7 y 28 MPa (Vásquez & Díaz, 2018). La adición de microsílíce mejora esta

propiedad al rellenar microporos y aumentar la cohesión de la matriz cementicia (Pacheco et al., 2021).

Resistencia a la Flexión y Desgaste

Para pavimentos, la resistencia a la flexión (ASTM C78) y el desgaste superficial (ASTM C944) son relevantes. Estudios desarrollados en la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) demostraron que el uso de aditivos plastificantes incrementa la durabilidad del concreto permeable frente a cargas dinámicas (López, 2022).

Ensayos de Durabilidad

Resistencia a Ciclos de Humedad-Secado y Congelamiento-Descongelamiento

En zonas con alta variación térmica, como Tamburco, es crucial evaluar la durabilidad del concreto permeable. La Norma ASTM C666 (2015) establece procedimientos para determinar su resistencia a ciclos de congelamiento-descongelamiento. Investigaciones de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) indican que la microsílíce reduce la degradación por fisuración (Quispe & Mendoza, 2020).

Resistencia Química

La exposición a sales y agentes químicos puede afectar la integridad del material. Según la NTP 399.060 (2019), se realizan ensayos de inmersión en soluciones sulfatadas para evaluar su comportamiento. Resultados de estudios peruanos confirman que el concreto permeable con aditivos presenta mayor resistencia a la sulfatación (Torres, 2021).

3.3. Definición de términos

3.3.1. Pavimento Urbano

Estructura conformada por capas de materiales seleccionados, diseñada para soportar el tránsito vehicular y peatonal en áreas urbanas. Su función principal es

distribuir las cargas y proporcionar una superficie segura y duradera (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú [MTC], 2020).

3.3.2. Concreto

Material compuesto por cemento, agregados (finos y gruesos) y agua, que al endurecer forma una masa sólida con alta resistencia a la compresión. Es ampliamente utilizado en construcción debido a su durabilidad y versatilidad (Gonzales, 2019).

3.3.3. Cemento

Material pulverizado obtenido de la calcinación de caliza y arcilla, que al mezclarse con agua actúa como aglutinante en la formación de morteros y concretos. En el Perú, el tipo más empleado es el cemento Portland (Instituto Nacional de Calidad [INACAL], 2021).

3.3.4. Agregados

Materiales granulares, como arena (agregado fino) y grava (agregado grueso), que constituyen entre el 60% y 75% del volumen total del concreto. Su calidad influye directamente en la resistencia y trabajabilidad de la mezcla (Villavicencio, 2018).

3.3.5. Pasta de cemento

Mezcla homogénea de cemento y agua que actúa como ligante en el concreto, recubriendo los agregados y permitiendo su cohesión. Su proporción determina la resistencia y permeabilidad del material (Neville, 2019).

3.3.6. Agua Pluvial

Precipitación líquida que cae desde la atmósfera y puede acumularse en superficies urbanas. Su manejo inadecuado genera problemas de inundaciones y deterioro en pavimentos (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI], 2022).

3.3.7. Escorrentía

Flujo superficial de agua que no es absorbido por el suelo y discurre sobre la superficie, común en zonas con pavimentos impermeables. Contribuye a la saturación de sistemas de drenaje (Aparicio, 2017).

3.3.8. Coeficiente de Escorrentía

Valor adimensional que expresa la relación entre el volumen de agua que escurre y la precipitación total recibida en una zona. Depende de factores como la permeabilidad del suelo y la pendiente (Chow et al., 2020).

3.3.9. Cuenca Hidrográfica

Área delimitada topográficamente donde el agua converge hacia un mismo punto de drenaje. Su gestión es clave para prevenir inundaciones en entornos urbanos (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2021).

3.3.10. Drenar

Proceso de eliminar el exceso de agua de una superficie o estructura, ya sea por infiltración natural o sistemas artificiales, para evitar acumulaciones perjudiciales (MTC, 2020).

3.3.11. Duración de Lluvia

Período temporal en el que ocurre una precipitación continua. Es un parámetro esencial para el diseño de sistemas de drenaje urbano (SENAMHI, 2022).

3.3.12. Plastificante

Aditivo químico que mejora la trabajabilidad del concreto reduciendo la cantidad de agua necesaria, sin afectar su resistencia. Incrementa la durabilidad del material (Ramachandran, 2018).

3.3.13. Microsílice

Material ultrafino derivado de la producción de silicio, compuesto principalmente por dióxido de silicio (SiO_2). Se emplea en concretos de alto desempeño para mejorar resistencia y reducción de poros (Mehta & Monteiro, 2017).

3.3.14. Permeabilidad

Propiedad de un material que permite el paso de fluidos a través de sus poros. En pavimentos, una alta permeabilidad reduce la escorrentía y previene inundaciones (MTC, 2020).

3.3.15. Ensayo a la Compresión

Prueba estandarizada (ASTM C39) que mide la resistencia máxima del concreto ante cargas axiales. Es fundamental para garantizar la calidad del material (INACAL, 2021).

3.3.16. Ensayo a la Flexión del Concreto

Método (ASTM C78) para evaluar la resistencia a la tracción indirecta en vigas de concreto, determinando su capacidad para soportar esfuerzos de flexión (Gonzales, 2019).

3.3.17. Inundación en Pavimentos

Acumulación anormal de agua en la superficie de rodadura, causada por sistemas de drenaje insuficientes o alta impermeabilidad del pavimento (Aparicio, 2017).

3.3.18. Hidroplaneo

Fenómeno en el que una capa de agua separa las llantas de un vehículo del pavimento, reduciendo el control direccional. Ocurre en superficies con pobre drenaje (Chow et al., 2020).

IV. Metodología

4.1. Tipo y nivel de Investigación

Tipo de investigación

Revisada la teoría indicada por Carrasco Díaz (2006), el estudio realizado es de tipo aplicada debido a que tiene propósitos prácticos definidos para actuar, transformar. Modificar o producir cambios de un determinado sector o realidad.

Nuestra investigación se ajusta a esto porque vamos a analizar y medir los cambios en los diseños y describir cómo mejoran las características de las variables. De esta manera, verificaremos si logramos nuestros objetivos y demostraremos las hipótesis que hemos planteado. El objetivo final es cambiar o mejorar las propiedades del concreto poroso.

Nivel de investigación

Revisada la teoría indicada por HERNANDEZ, FERNANDEZ y BAPTISTA (2006), la investigación presente es de nivel explicativo debido a que se centra en explicar el por qué se relacionan las variables.

Diseño de la investigación

Según la teoría indicada por Borja S.(2016) refiere a un diseño experimental por que se medirá las variables (resistencia del concreto permeable y permeabilidad) en laboratorio, clasificándolo después de acuerdo a estas variables teniendo en cuenta normas descritas en el RNE, ACI, NTP.

Método

El método de la presente investigación acorde lo indicado por Borja S. (2016) es Experimental, debido a que la hipótesis de la investigación será verificada mediante la manipulación de las variables y su medición de los efectos de la variable independiente.

Enfoque de la Investigación

Según la teoría indicada por Borja S. (2016) refiere a un enfoque cuantitativo debido a que se realizara mediciones de forma numérica para establecer con exactitud patrones de comportamiento del concreto permeable frente a la incorporación del microsilice.

4.2. Ámbito temporal y espacial

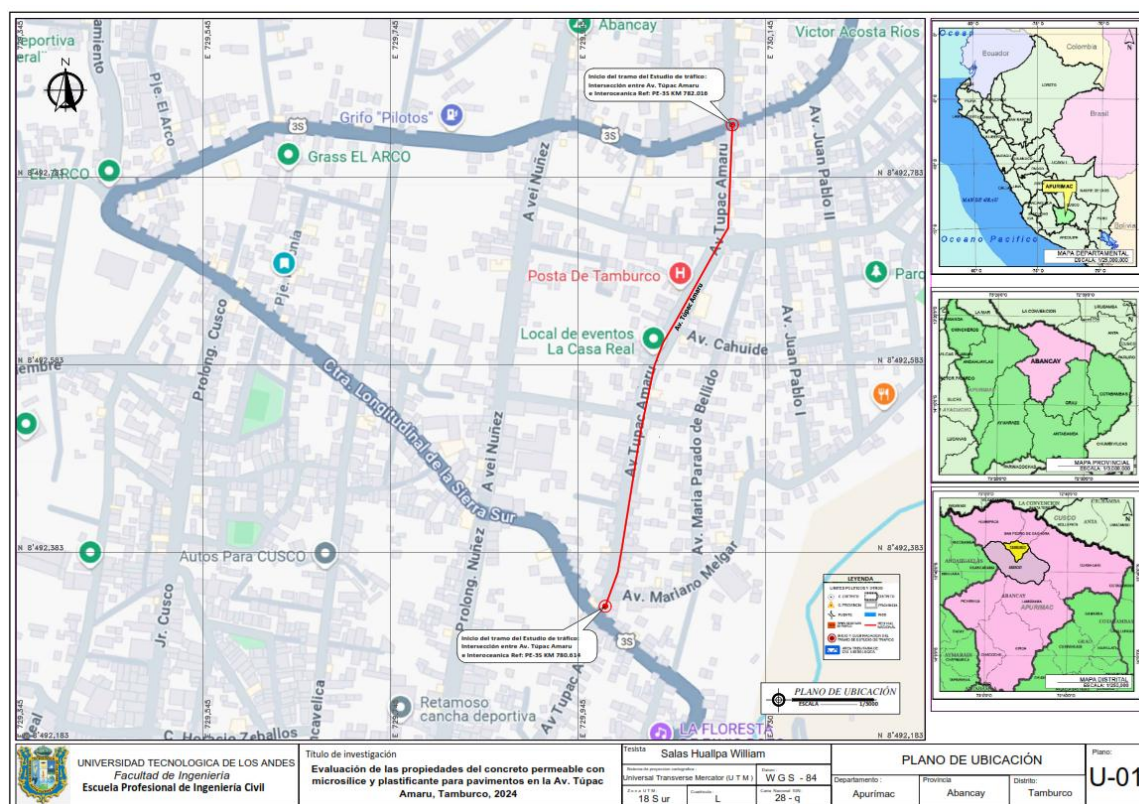
Ámbito temporal

La presente investigación se ejecutó en del año 2024 y 2025, entre el periodo de noviembre a febrero recíprocamente.

Ámbito espacial

El ámbito de aplicación de la tesis, será para la Av. Tupac Amaru, Tamburco (Área < 5km²); por lo tanto, se delimito el área tomando en cuenta la facilidad para recolectar datos y hacer estudios como es el estudio hidrológico de manera más certera donde los resultados sean más confiables y también tomando en cuenta que es una vía de tráfico ligero.

Figura 3
Delimitación del área de investigación



Nota. Elaboración Propia

Entonces, la delimitación del presente trabajo es que la investigación se limita a Abancay en el distrito de Tamburco y al área de investigación delimitada principalmente; es decir, con sus características y condiciones particulares. Por lo tanto, los resultados no podrían generalizarse a toda la ciudad, visto que cada zona presenta características particulares como son: el tráfico, área de aporte de precipitación, otros. Asimismo, para el estudio se utilizó como agregado la gradación huso 8 y el aditivo adicional de microsilice; es decir, no puede estandarizarse los resultados para otra gradación de agregado u otro aditivo debiéndose realizarse otras investigaciones de requerirse.

4.3. Población y Muestra

- Población: El concreto permeable con dosificaciones que consideren el microsilice en proporciones de 0%, 2.5%, 5 % y 10%.

- Muestra: 36 testigos cilíndricos de concreto de 15 cm x 30 cm para la prueba de compresión acorde lo estipulado por la NTP 339.034 (3 testigos por cada dosificación), 12 testigos cilíndricos de concreto de 15 cm x 30 cm para el ensayo de permeabilidad aunque no se especifica en la norma ACI 522R la cantidad de testigos para el ensayo a criterio personal y en referencia de la norma peruana mencionada anteriormente, se consideró una cantidad prudente para obtener resultados confiables y 36 vigas de concreto de 150 mm x 150 mm x 50 cm para ensayo de flexión en tres puntos acorde lo estipulado por la NTP 339.078 (3 testigos por cada dosificación).

Entonces la selección de los componentes no obedece a la probabilidad, sino más bien a causas con relación de las características del presente estudio y los propósitos del investigador en la investigación. Por lo tanto, en el presente estudio tenemos el muestreo no probabilístico, hecho a conveniencia por el investigador. Asimismo, La cantidad de testigos y ensayos está definida por las normas peruanas NTP 339.035 y NTP 339.036, lo que refleja que la selección de los componentes no se fue al azar, sino en criterios preestablecidos por normas.

4.4. Instrumentos

Existen distintas técnicas para la acumulación de la información, las cuales no son exclusivos y por el contrario son complementarias. Principalmente se tiene las técnicas siguientes: La observación, la entrevista, la encuesta y las pruebas estandarizadas. (Borja S., 2016)

Para este estudio la técnica fue la observación, el cual consistió en observar los resultados de los ensayos de compresión, flexión y permeabilidad que se realizaron a los testigos de concreto, el cual se recolectó y procesó para determinar los resultados en la investigación.

Por lo tanto, los instrumentos utilizados fueron: Fichas de observación, cámara fotográfica, datos Senamhi, softwares, equipos de laboratorio (Permeámetro, equipo de compresión, equipo de flexión, cono de habrams, tamiz para granulometría, briquetetas, mezcladora de concreto, horno de laboratorio, etc.).

4.5. Procedimientos

Este estudio se enfocó en investigar cómo el concreto permeable cambia cuando se le agrega microsilíce en diferentes cantidades. El objetivo principal fue observar y describir los resultados en general. Para esto, se recopiló datos de bibliografía, se estudiaron aspectos hidrológicos y de tráfico, se analizaron materiales, se calculó la permeabilidad, se diseñó y calculó la mezcla del concreto permeable con microsilíce en diferentes proporciones, se realizaron ensayos en laboratorio, se analizaron los resultados y finalmente se sacaron conclusiones.

Los datos que se obtuvieron mostraron que los resultados eran muy similares en cada prueba, lo que indica que el material se comporta de manera consistente cuando se le agrega microsilíce en diferentes cantidades. Debido a esto, no fue necesario hacer pruebas estadísticas para comprobar las hipótesis. El propósito de este estudio fue obtener conocimiento básico sobre el material, más que probar teorías específicas. Por lo tanto, los resultados que se obtuvieron son importantes para futuras investigaciones sobre el concreto permeable con microsilíce.

4.6. Análisis de datos

Levin y Rubín (2016) señalan que los análisis de datos son herramientas estadísticas para interpretar e inferir sobre una muestra o población. En la presente

investigación, se utilizaron gráficos y tablas en Excel para facilitar la comprensión de los resultados según los objetivos planteados.

4.7. Consideraciones Éticas

- **Validez científica:** la tesis fue metodológicamente sensata, de forma que se acogerán investigaciones ya realizadas.
- **Evaluación riesgo/ beneficio:** los riesgos de la tesis fueron mínimos y los beneficios resultaron potenciales.
- **Respeto:** se respetó los derechos de autor de otras investigaciones similares y/o antecedentes.

V. Resultados y discusión

5.1. Análisis de Datos y Resultados Procesados

5.1.1. Análisis de tráfico

Para el presente análisis se tomó en cuenta investigaciones anteriores referidas al análisis de tránsito en la zona urbana de Abancay del cual resalta la tesis titulada Análisis del tráfico en el sistema de transporte público en el centro urbano, donde se cuenta con la cuantificación de vehículos que transitan por las principales calles de Abancay donde mencionan que según el cálculo del IMDa para el año 2027 se proyectó una cantidad de vehículos que circularan en la Av. Venezuela de 19,750 vehículos, en la Av. Núñez 17,782 vehículos, en la Jr. Lima 8,605 vehículos y en la Jr. Arequipa una cantidad de 11,502 vehículos (Arcibia & Condori, 2017,p.231). Entonces podemos ver que referimos a un rango de tráfico $\leq 5,000,000.00$ EE el cual refiere a una vía de bajo volumen de tránsito (Tp1 y Tp4) de acuerdo al Manual de carreteras, suelos, geología y geotecnia y pavimentos en la sección suelos y pavimentos (Ministerio de Transporte, 2013, p.269).; además de que la zona urbana esta circulada por vehículos ligeros y menores y teniendo en cuenta que la Resistencia estructural del concreto mínima es de 175 kg/cm de acuerdo al RNE, podemos señalar como resistencia mínima para esta investigación de 210 kg/cm² para el pavimento de concreto permeable en la zona de estudio por ser de bajo transito con circulación de vehículos livianos y menores.

Por lo tanto, se verifica que para tráficos menores de 5 millones de ejes equivalentes se requiere una resistencia menor a de 280kg/cm² por ser tráfico ligero, según el Manual de carreteras, suelos, geología y geotecnia y pavimentos en la sección suelos y pavimentos (Ministerio de Transporte, 2013, p.269); asimismo de acuerdo a la Norma ce.010 del RNE indica que la resistencia mínima para pavimentos es de 175 kg/cm² en ese entender se asumirá para la presente investigación como resistencia mínima 210 kg/cm² para el pavimento de concreto permeable en la zona de estudio.

5.1.2. Análisis hidrológico

Se realizó el estudio hidrológico en función al área delimitada en la investigación y en cumplimiento de la normativa CE.040 Drenaje Pluvial del RNE, del cual resalta que se cuenta con la microcuenca con áreas de aporte de caudal según su clasificación; es decir, en la presente investigación se clasificó las áreas de aporte de precipitación pluvial en área pavimentada, parques, lotes de vivienda o edificios de las cuales se tiene un total de 03 áreas tributarias de aporte con un área total de 30,704.25 metros cuadrados desagregado en las siguientes imágenes:

Figura 4

Áreas tributarias de la microcuenca de estudio



Nota. Áreas delimitadas de aporte hidrológico según el tipo de superficie.

Figura 5

Áreas de aporte delimitadas de la microcuenca

Nº	AREAS TRIBUTARIAS	AREA (M2)	Nº	AREAS TRIBUTARIAS	AREA (M2)
1	A - 001	9,728.175	-	-----	-----
2	A - 002	14,281.061	-	-----	-----
3	A - 003	6,695.015	-	-----	-----
-	-----	-----	-	-----	-----
-	-----	-----	-	-----	-----
-	-----	-----	-	-----	-----
-	-----	-----	-	-----	-----
-	-----	-----	-	-----	-----
-	-----	-----	-	-----	-----
		30704.251	MICROCUENCA DE ESTUDIO		

Nota. Áreas delimitadas de aporte hidrológico según el tipo de superficie.

Se realizó el estudio hidrológico iniciando con el cálculo de la precipitación máxima en 24 hrs con los datos del Senamhi desde el año 1996 al 2019, teniendo como resultado de la máxima precipitación en el año calendario e hidrológico en 24 hrs, el siguiente resultado:

Tabla 2

Precipitaciones máximas por año

AÑO	P24 Calendario	P24 Hidrológico
1996	35.00	37.20
1997	37.20	24.90
1998	24.90	40.20
1999	40.20	26.40
2000	27.30	27.30
2001	27.30	24.40
2002	24.00	35.80
2003	43.70	43.70
2004	28.60	30.60
2005	30.60	30.60
2006	24.60	28.20
2007	32.10	32.10
2008	34.90	35.90
2009	35.90	45.10
2010	45.10	26.50

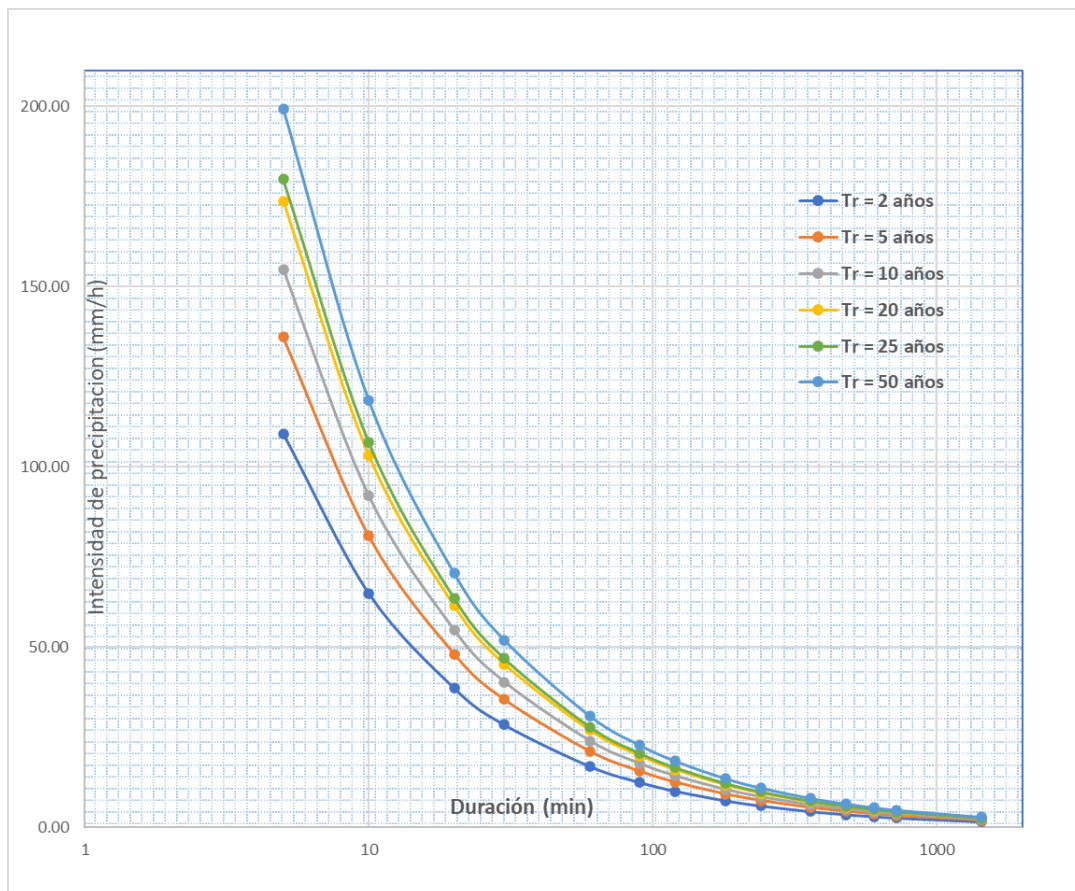
2011	26.50	28.80
2012	28.80	34.50
2013	38.80	54.10
2014	54.10	35.90
2015	58.20	58.20
2016	36.30	32.80
2017	32.80	33.40
2018	33.40	39.50
2019	39.50	0.00
	58.20	58.20

Nota. Elaboración propia a partir de datos Senamhi, verificado con la investigación de

Sánchez (2023).

También, se realizó el análisis de los datos dudosos, así como la determinación de la $P_{\text{máx}}$ en 24 horas con el apoyo del software HIDROESTA.

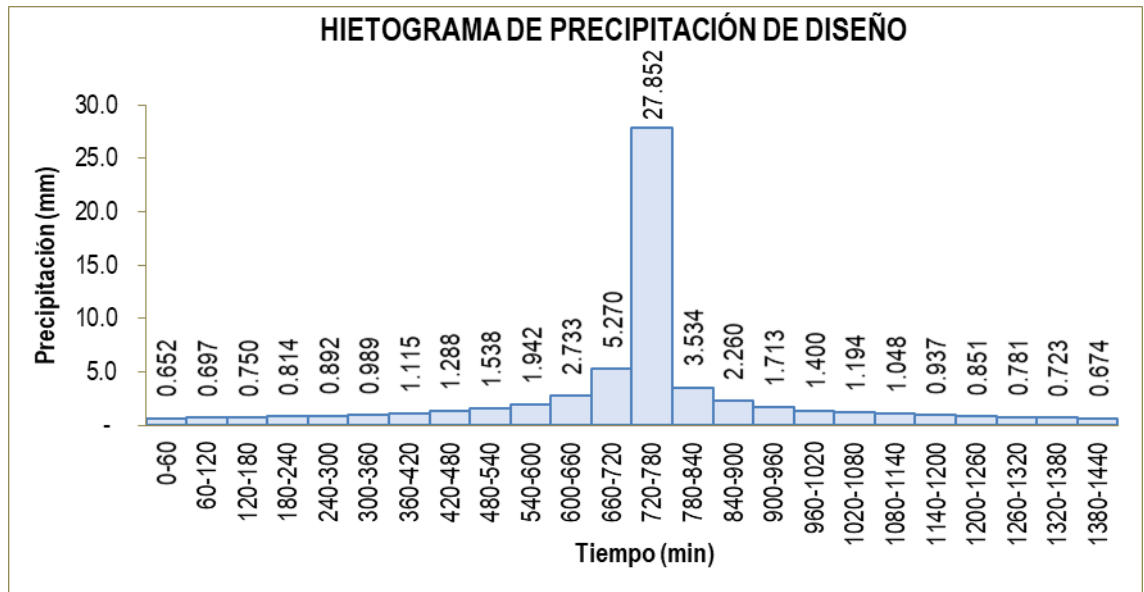
Se halló las curvas IDF para con ello calcular Caudal(Q) de diseño conforme indica en el RNE en la norma CE.040 Drenaje Pluvial, capítulo III “Lineamientos técnicos para el diseño de la infraestructura de drenaje pluvial”, Artículo 11 numeral 11.5 del cual se tiene como resultado la siguiente curva IDF:

Figura 6*Curvas IDF*

Nota. valor de Áreas delimitadas de aporte hidrológico según el tipo de superficie, ratificado por Sánchez (2023).

Así también se calculó el hietograma de precipitación de diseño siguiente:

Figura 7*Hietograma de precipitaciones de diseño*



Nota. valores de precipitación en distintos tiempos (Hietograma) - Elaboración propia, ratificado por Sánchez (2023).

Seguidamente, se obtuvo los caudales de diseño para la microcuenca delimitada resultando en la aplicación de la fórmula ($Q=0.278 \cdot C \cdot I \cdot A$) los siguientes caudales de diseño:

Tabla 3

Cálculo de Caudal de diseño en Microcuenca

	Áreas	Área (km ²)	Características del Cauce (msum)			Desnivel (m)	Pendiente (m/m)	T. C. (horas)	T. C.	t (min)	c	Intensidad mm/hr	Q máx (m ³ /s)
			Long. (m)	Cota Max.	Cota Mín.								
	Área Urbana												
1	Área 1	0.010	512.0	2571	2497	74	0.145	0.083	5.007	10.0	0.70	106.78	0.202
2	Área 2	0.014	531.0	2573	2497	76	0.143	0.086	5.169	10.0	0.95	106.78	0.402
3	Área 3	0.007	551.0	2572	2496	76	0.138	0.090	5.395	10.0	0.70	106.78	0.139
Q (Caudal de diseño)													0.743 m³/s

Nota. Elaboración propia.

Entonces se eligió la intensidad de diseño en un tiempo de concentración mínimo que asciende a 10 mín., teniendo como Intensidad de diseño que asciende a 106.78 mm/hr. Por lo tanto, al convertir dicho dato en un metro cuadrado de análisis, tenemos:

$$\text{Precipitación} = \frac{106 \text{ mm}}{\text{hr}} * \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} * \frac{\text{hr}}{3600 \text{ s}} = 0.0000294 \text{ m/s}$$

Asimismo, existe una relación entre porosidad y coeficiente de permeabilidad descrita en el informe técnico del ACI 211, donde describe la incidencia de la porosidad en la permeabilidad del concreto mediante la fórmula $K = C * n^3$ el cual se menciona como una conexión entre la porosidad y la permeabilidad del concreto, con la constante C dependiendo de la geometría de los poros y la tortuosidad (recorrido con vueltas o sinuoso) del camino de flujo del agua para el cual indica un valor para la constante C que asciende a 0.0001, para el cual teniendo en cuenta los datos anteriores calcularemos la porosidad necesaria a continuación:

$$K = C * n^3 \Rightarrow n = \left(\frac{K}{C}\right)^{1/3}$$

Donde:

K: permeabilidad aparente (mm/s)

C: constante de proporcionalidad (0.0001)

n: índice de porosidad (%)

Entonces reemplazando tenemos:

$$n = \left(\frac{0.0294}{0.0001}\right)^{1/3} = 6.65 \%$$

Por lo tanto, podemos indicar que la porosidad requerida asciende a 7%; sin embargo, para esta investigación asumiremos una porosidad de 12 % con fines de diseño y cálculo de influencias.

5.1.3. *Análisis de materiales*

5.1.3.1. *Propiedades del agregado huso N°8*

En la siguiente tabla se muestra los resultados de las pruebas donde se obtuvo las siguientes propiedades:

Tabla 4

Propiedades del agregado huso N°8 de la cantera

Propiedades	Agregado huso 8
Material Fino que pasa el tamiz N° 200	0 %
Tamaño Máximo Nominal Agregado Grueso	3/8"
Huso	8

MF/MG	5.95
Contenido de humedad del agregado %	4.52
Peso específico (g/cm ³)	2.61
Peso específico de la masa s.s.s. (g/cm ³)	2.65
Peso específico aparente (g/cm ³)	2.73
Porcentaje de absorción (%)	1.62%
Peso unitario suelto seco (kg/m ³)	1485.98
Peso unitario compactado seco (kg m ³)	1561.72
% de desgaste por abrasión	29.86 %

Nota. Elaboración propia.

5.1.4. Diseño y Dosificación para Concreto permeable

Los procedimientos del diseño de mezclas se encuentran anexados al presente informe, cuyos resultados se presentan a continuación en proporciones de volumen por metro cúbico para el diseño patrón y por peso para cada dosificación D1(2.5% microsilice), D2(5% microsilice), D3(10% microsilice):

Tabla 5

Dosificación del concreto permeable por metro cubico

Tipo de mezcla	a/c	Materiales					
		Cemento (kg/m ³)	Ag. Fino (kg/m ³)	Ag. Grueso Huso 8 (kg/m ³)	Agua (l/m ³)	Sp (ml)	Aditivo Microsilice (kg)
DISEÑO PATRON	0.30	383	0.00	1571.00	140	4505	0.00

Nota. Elaboración propia.

Tabla 6

Dosificación de diseños de mezcla de concreto poroso por volumen de testigo de concreto de 15 cm x 30 cm.

Tipo de mezcla	a/c	Materiales					
		Cemento (kg)	Ag. Fino (kg)	Ag. Grueso Huso 8 (kg)	Agua (ml)	Sp (ml)	Aditivo Microsilice (kg)
DISEÑO PATRON	0.3	2.03	0.00	8.33	743.98	23.88	0.00
DISEÑO 1	0.3	1.98	0.00	8.33	743.98	23.29	0.05
DISEÑO 2	0.3	1.93	0.00	8.33	743.98	23.29	0.10
DISEÑO 3	0.3	1.83	0.00	8.33	743.98	23.29	0.20

Nota. Elaboración propia.

5.1.5. Ensayo de compresión

Entonces se presenta a continuación los resultados del ensayo a compresión:

Tabla 7

Resistencia y promedio de resistencia del Diseño patrón a la edad de 7 días

ID PROBETA	CARGA MÁXIMA (P)	DÁMETRO PROBETAS (cm)			ÁREA (cm ²)	f _c (kg/cm ²)	%	TIPO DE FALLA
		1ra Medida	2da Medida	Promedio				
D-P	27,450.00 kg	15.242	15.055	15.149	180.23	152.30	72.53%	CORTE
D-P	26,080.00 kg	15.256	15.274	15.265	183.01	142.50	67.86%	CONO Y CORTE
D-P	27,720.00 kg	15.298	15.364	15.331	184.60	150.16	71.51%	CONO Y CORTE
					f _c PROMEDIO	148.32	70.63%	

Nota. Elaboración propia.

Tabla 8

Resistencia y promedio de Diseño 1 (2.5% microsilice) a la edad de 7 días

ID PROBETA	CARGA MÁXIMA (P)	DÁMETRO PROBETAS (cm)			ÁREA (cm ²)	f _c (kg/cm ²)	%	TIPO DE FALLA
		1ra Medida	2da Medida	Promedio				
D-1	29,413.90 kg	15.242	15.055	15.149	180.23	163.20	77.71%	CORTE
D-1	27,940.00 kg	15.256	15.274	15.265	183.01	152.67	72.70%	CORTE
D-1	29,710.00 kg	15.298	15.364	15.331	184.60	160.94	76.64%	CONO Y CORTE
					f _c PROMEDIO	158.94	75.68%	

Nota. Elaboración propia.

Tabla 9

Resistencia y promedio de resistencia del Diseño 2 (5% microsilice) a la edad de 7 días

ID PROBETA	CARGA MÁXIMA (P)	DÁMETRO PROBETAS (cm)			ÁREA (cm ²)	f _c (kg/cm ²)	%	TIPO DE FALLA
		1ra Medida	2da Medida	Promedio				
D-2	29,410.00 kg	15.242	15.055	15.149	180.23	163.18	77.70%	CORTE
D-2	27,940.00 kg	15.256	15.274	15.265	183.01	152.67	72.70%	CORTE

D-2	29,700.00 kg	15.298	15.364	15.331	184.60	160.89	76.61%	CONO Y CORTE
					$f'_{cPROMEDIO}$	158.91	75.67%	

Nota. Elaboración propia.

Tabla 10

Resistencia y promedio de resistencia del Diseño 3 (10% microsilice) a la edad de 7 días

ID PROBETA	CARGA MÁXIMA (P)	DÁMETRO PROBETAS (cm)			ÁREA (cm ²)	f'_c (kg/cm ²)	%	TIPO DE FALLA
		1ra Medida	2da Medida	Promedio				
D-3	26,450.00 kg	15.242	15.055	15.149	180.23	146.76	48.92%	CORTE
D-3	25,130.00 kg	15.256	15.274	15.265	183.01	137.31	45.77%	CONO Y CORTE
D-3	26,710.00 kg	15.298	15.364	15.331	184.60	144.69	48.23%	CORTE
					$f'_{cPROMEDIO}$	142.92	47.64%	

Nota. Elaboración propia.

Tabla 11

Resistencia y promedio de resistencia del Diseño patrón a los 14 días

ID PROBETA	CARGA MÁXIMA (P)	DÁMETRO PROBETAS (cm)			ÁREA (cm ²)	f'_c (kg/cm ²)	%	TIPO DE FALLA
		1ra Medida	2da Medida	Promedio				
D-P	40,500.00 kg	15.242	15.055	15.149	180.23	224.71	107.01%	CORTE
D-P	38,480.00 kg	15.256	15.274	15.265	183.01	210.26	100.12%	CORTE
D-P	40,910.00 kg	15.298	15.364	15.331	184.60	221.61	105.53%	CONO Y CORTE
					$f'_{cPROMEDIO}$	218.86	104.22%	

Nota. Elaboración propia.

Tabla 12

Resistencia y promedio de Diseño 1 (2.5% microsilice) a la edad de 14 días

ID PROBETA	CARGA MÁXIMA (P)	DÁMETRO PROBETAS (cm)			ÁREA (cm ²)	f'_c (kg/cm ²)	%	TIPO DE FALLA
		1ra Medida	2da Medida	Promedi o				
D-1	48,180.00 kg	15.242	15.055	15.149	180.23	267.32	127.30 %	CORTE

D-1	45,770.00 kg	15.256	15.274	15.265	183.01	250.09	119.09 %	CONO Y CORTE
D-1	48,660.00 kg	15.298	15.364	15.331	184.60	263.60	125.52 %	CORTE
					$f'_{cPROMEDIO}$	260.34	123.97 %	

Nota. Elaboración propia.

Tabla 13

Resistencia y promedio de resistencia del Diseño 2 (5% microsilice) a la edad de 14 días

ID PROBETA	CARGA MÁXIMA (P)	DÁMETRO PROBETAS (cm)			ÁREA (cm ²)	f'_c (kg/cm ²)	%	TIPO DE FALLA
		1ra Medida	2da Medida	Promedi o				
D-2	51,020.00 kg	15.242	15.055	15.149	180.23	283.08	134.80 %	CORTE
D-2	48,470.00 kg	15.256	15.274	15.265	183.01	264.84	126.12 %	CORTE
D-2	51,530.00 kg	15.298	15.364	15.331	184.60	279.14	132.93 %	CONO Y CORTE
					$f'_{cPROMEDIO}$	275.69	131.28 %	

Nota. Elaboración propia.

Tabla 14

Resistencia y promedio de resistencia del Diseño 3 (10% microsilice) a la edad de 14 días

ID PROBETA	CARGA MÁXIMA (P)	DÁMETRO PROBETAS (cm)			ÁREA (cm ²)	f'_c (kg/cm ²)	%	TIPO DE FALLA
		1ra Medida	2da Medida	Promedi o				
D-3	33,750.00 kg	15.242	15.055	15.149	180.23	187.26	89.17%	CONO Y CORTE
D-3	32,060.00 kg	15.256	15.274	15.265	183.01	175.18	83.42%	CONO Y CORTE
D-3	34,090.00 kg	15.298	15.364	15.331	184.60	184.67	87.94%	CORTE
					$f'_{cPROMEDIO}$	182.37	86.84%	

Nota. Elaboración propia.

Tabla 15

Resistencia y promedio de resistencia del D. patrón a la edad de 28 días

ID PROBETA	CARGA	DÁMETRO PROBETAS (cm)			ÁREA	f'_c	%	TIPO DE
---------------	-------	-----------------------	--	--	------	--------	---	---------

	MÁXIMA (P)	1ra Medida	2da Medida	Promedio	(cm ²)	(kg/cm ²)		FALLA
D-P	45,000.00 kg	15.242	15.055	15.149	180.23	249.68	118.90%	CONO Y CORTE
D-P	42,750.00 kg	15.256	15.274	15.265	183.01	233.59	111.23%	CORTE
D-P	45,450.00 kg	15.298	15.364	15.331	184.60	246.21	117.24%	CONO Y CORTE
f'c _{PROMEDIO}						243.16	115.79%	

Nota. Elaboración propia.

Tabla 16

Resistencia y promedio de Diseño 1 (2.5% microsilice) a la edad de 28 días

ID PROBETA	CARGA	DÁMETRO PROBETAS (cm)			ÁREA (cm ²)	f _c (kg/cm ²)	%	TIPO DE FALLA
	MÁXIMA (P)	1ra Medida	2da Medida	Promedio				
D-1	48,220.00 kg	15.242	15.055	15.149	180.23	267.55	127.40%	CORTE
D-1	45,810.00 kg	15.256	15.274	15.265	183.01	250.31	119.19%	CONO Y CORTE
D-1	48,700.00 kg	15.298	15.364	15.331	184.60	263.81	125.63%	CORTE
f'c _{PROMEDIO}						260.56	124.07%	

Nota. Elaboración propia.

Tabla 17

Resistencia y promedio de resistencia del Diseño 2 (5% microsilice) a la edad de 28 días

ID PROBETA	CARGA	DÁMETRO PROBETAS (cm)			ÁREA (cm ²)	f _c (kg/cm ²)	%	TIPO DE FALLA
	MÁXIMA (P)	1ra Medida	2da Medida	Promedio				

D-2	51,070.00 kg	15.242	15.055	15.149	180.23	283.36	134.93%	CORTE
D-2	48,520.00 kg	15.256	15.274	15.265	183.01	265.12	126.25%	CONO Y CORTE
D-2	51,580.00 kg	15.298	15.364	15.331	184.60	279.42	133.05%	CORTE
f_cPROMEDIO						275.96	131.41%	

Nota. Elaboración propia.

Tabla 18

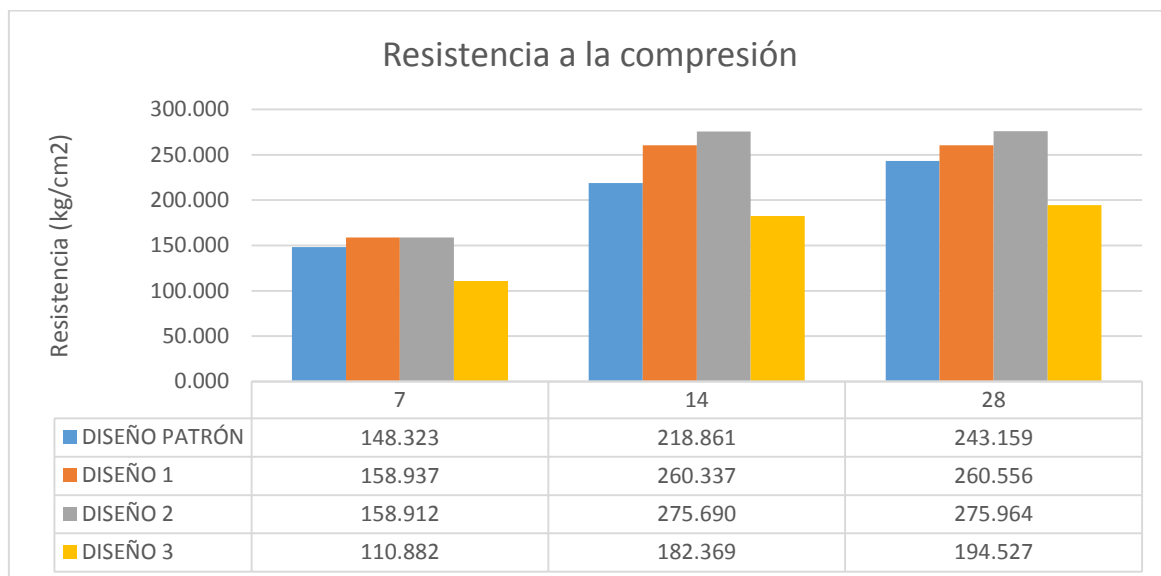
Resistencia y promedio de resistencia del Diseño 3 (10% microsilice) a la edad de 28 días

ID PROBETA	CARGA MÁXIMA (P)	DÁMETRO PROBETAS (cm)			ÁREA (cm ²)	f _c (kg/cm ²)	%	TIPO DE FALLA
		1ra Medida	2da Medida	Promedi o				
D-3	36,000.00 kg	15.242	15.055	15.149	180.23	199.74	95.12%	CORTE
D-3	34,200.00 kg	15.256	15.274	15.265	183.01	186.87	88.99%	CORTE
D-3	36,360.00 kg	15.298	15.364	15.331	184.60	196.97	93.79%	CONO Y CORTE
f_cPROMEDI o						194.53	92.63%	

Nota. Elaboración propia.

Figura 8

Resumen de resistencia a compresión por edades



Nota. Elaboración propia.

El diseño patrón (P), sin incorporación de microsílíce, mostró una resistencia a compresión de 243.16 kg/cm² a los 28 días, superando el diseño (210 kg/cm²) en un 15.79%. El diseño D-1, con 2.5% de microsílíce, alcanzó 260.56 kg/cm², representando un incremento del 24.07% respecto al diseño base, lo que evidencia una mejora notable en la resistencia. Por su parte, el diseño D-2, con 5% de microsílíce, logró la mayor resistencia (275.96 kg/cm²), equivalente a un 31.41% por encima del valor de diseño, confirmando que esta dosificación optimiza significativamente las propiedades mecánicas del concreto. En cambio, el diseño D-3, que incorporó 10% de microsílíce, mostró un descenso en resistencia, con solo 194.53 kg/cm² (92.63% respecto al diseño), quedando por debajo del mínimo esperado.

5.1.6. Ensayo de flexión

Entonces se presenta a continuación los resultados del ensayo a flexión por cada diseño y a los 7, 14 y 28 días de edad:

Tabla 19

Resistencia y promedio de resistencia a flexión del Diseño patrón a la edad de 7 días

ID PROBETA	MEDIDAS (mm)			CARGA MÁXIMA (P)	Mr (kg/cm ²)	Mr (Diseño)	RESISTENCIA (%)	LUGAR DE FALLA
	H	A	L					
D-P	150.000	150.000	450.000	1,870.00 kg	24.93	40	62.33%	Tercio central
D-P	150.000	150.000	450.000	1,890.00 kg	25.20	40	63.00%	Tercio central
D-P	150.000	150.000	450.000	1,780.00 kg	23.73	40	59.33%	Tercio central
					24.62	40.00	61.56%	

Nota. Elaboración propia.

Tabla 20

Resistencia y promedio de resistencia a flexión del Diseño 1 (2.5% microsilice) a la edad de 7 días

ID PROBETA	MEDIDAS (mm)			CARGA MÁXIMA (P)	Mr (kg/cm ²)	Mr (Diseño)	RESISTENCIA (%)	LUGAR DE FALLA
	H	A	L					
D-1	150.000	150.000	450.000	2,010.00 kg	26.80	40	67.00%	Tercio central
D-1	150.000	150.000	450.000	1,910.00 kg	25.47	40	63.67%	Tercio central
D-1	150.000	150.000	450.000	2,030.00 kg	27.07	40	67.67%	Tercio central
					26.44	40.00	66.11%	

Nota. Elaboración propia.

Tabla 21

Resistencia y promedio de resistencia a flexión del Diseño 2 (5% microsilice) a la edad de 7 días

ID PROBETA	MEDIDAS (mm)			CARGA MÁXIMA A (P)	Mr (kg/cm ²)	Mr (Diseño)	RESISTENCIA A (%)	LUGAR DE FALLA
	H	A	L					
D-2	150.000	150.000	450.000	2,060.00 kg	27.47	40	68.67%	Tercio central
D-2	150.000	150.000	450.000	2,080.00 kg	27.73	40	69.33%	Tercio central
D-2	150.000	150.000	450.000	1,960.00 kg	26.13	40	65.33%	Tercio central
					27.11	40.00	67.78%	

Nota. Elaboración propia.

Tabla 22

Resistencia y promedio de resistencia a flexión del Diseño 3 (10% microsilice) a la edad de 7 días

ID PROBETA	MEDIDAS (mm)			CARGA MÁXIMA (P)	Mr (kg/cm ²)	Mr (Diseño)	RESISTENCIA (%)	LUGAR DE FALLA
	H	A	L					
D-3	150.000	150.000	450.000	1,430.00 kg	19.07	40	47.67%	Tercio central
D-3	150.000	150.000	450.000	1,360.00 kg	18.13	40	45.33%	Tercio central
D-3	150.000	150.000	450.000	1,440.00 kg	19.20	40	48.00%	Tercio central
					18.80	40.00	47.00%	

Nota. Elaboración propia.

Tabla 23

Resistencia y promedio de resistencia a flexión del Diseño patrón a los 14 días

ID PROBETA	MEDIDAS (mm)			CARGA MÁXIMA (P)	Mr (kg/cm ²)	Mr (Diseño)	RESISTENCIA (%)	LUGAR DE FALLA
	H	A	L					
D-P	150.000	150.000	450.000	2,720.00 kg	36.27	40	90.67%	Tercio central
D-P	150.000	150.000	450.000	2,750.00 kg	36.67	40	91.67%	Tercio central
D-P	150.000	150.000	450.000	2,580.00 kg	34.40	40	86.00%	Tercio central
					35.78	40.00	89.44%	

Nota. Elaboración propia.

Tabla 24

Resistencia y promedio de resistencia a flexión del Diseño 1 (2.5% microsilice) a la edad de 14 días

ID PROBETA	MEDIDAS (mm)			CARGA MÁXIMA (P)	Mr (kg/cm ²)	Mr (Diseño)	RESISTENCIA (%)	LUGAR DE FALLA
	H	A	L					
D-1	150.000	150.000	450.000	3,230.00 kg	43.07	40	107.67%	Tercio central
D-1	150.000	150.000	450.000	3,070.00 kg	40.93	40	102.33%	Tercio central
D-1	150.000	150.000	450.000	3,260.00 kg	43.47	40	108.67%	Tercio central

42.49 40.00 106.22%

Nota. Elaboración propia.

Tabla 25

Resistencia y promedio de resistencia a flexión del Diseño 2 (5% microsilice) a la edad de 14 días

ID PROBETA	MEDIDAS (mm)			CARGA MÁXIMA A (P)	Mr (kg/cm ²)	Mr (Diseño)	RESISTENCIA A (%)	LUGAR DE FALLA
	H	A	L					
D-2	150.000	150.000	450.000	3,420.00 kg	45.60	40	114.00%	Tercio central
D-2	150.000	150.000	450.000	3,450.00 kg	46.00	40	115.00%	Tercio central
D-2	150.000	150.000	450.000	3,250.00 kg	43.33	40	108.33%	Tercio central
					44.98	40.00	112.44%	

Nota. Elaboración propia.

Tabla 26

Resistencia y promedio de resistencia a flexión del Diseño 3 (10% microsilice) a la edad de 14 días

ID PROBETA	MEDIDAS (mm)			CARGA MÁXIMA (P)	Mr (kg/cm ²)	Mr (Diseño)	RESISTENCIA (%)	LUGAR DE FALLA
	H	A	L					
D-3	150.000	150.000	450.000	2,270.00 kg	30.27	40	75.67%	Tercio central
D-3	150.000	150.000	450.000	2,160.00 kg	28.80	40	72.00%	Tercio central
D-3	150.000	150.000	450.000	2,290.00 kg	30.53	40	76.33%	Tercio central
					29.87	40.00	74.67%	

Nota. Elaboración propia.

Tabla 27

Resistencia y promedio de resistencia a flexión del Diseño patrón a la edad de 28 días

ID PROBETA	MEDIDAS (mm)			CARGA MÁXIMA A (P)	Mr (kg/cm ²)	Mr (Diseño)	RESISTENCIA A (%)	LUGAR DE FALLA
	H	A	L					
D-P	150.000	150.000	450.000	3,020.00 kg	40.27	40	100.67%	Tercio central
D-P	150.000	150.000	450.000	3,050.00 kg	40.67	40	101.67%	Tercio central

D-P	150.000	150.000	450.000	2,870.00 kg	38.27	40	95.67%	Tercio central
					39.73	40.00	99.33%	

Nota. Elaboración propia.

Tabla 28

Resistencia y promedio de resistencia a flexión del Diseño 1 (2.5% microsilice) a la edad de 28 días

ID PROBET A	MEDIDAS (mm)			CARGA MÁXIMA A (P)	Mr (kg/cm ²)	Mr (Diseño)	RESISTENCIA (%)	LUGAR DE FALLA
	H	A	L					
D-1	150.000	150.000	450.000	3,240.00 kg	43.20	40	108.00%	Tercio central
D-1	150.000	150.000	450.000	3,080.00 kg	41.07	40	102.67%	Tercio central
D-1	150.000	150.000	450.000	3,270.00 kg	43.60	40	109.00%	Tercio central
					42.62	40.00	106.56%	

Nota. Elaboración propia.

Tabla 29

Resistencia y promedio de resistencia a flexión del Diseño 2 (5% microsilice) a la edad de 28 días

ID PROBET A	MEDIDAS (mm)			CARGA MÁXIM A (P)	Mr (kg/cm ²)	Mr (Diseño)	RESISTENCI A (%)	LUGAR DE FALLA
	H	A	L					
D-2	150.000	150.000	450.000	3,430.00 kg	45.73	40	114.33%	Tercio central
D-2	150.000	150.000	450.000	3,460.00 kg	46.13	40	115.33%	Tercio central
D-2	150.000	150.000	450.000	3,260.00 kg	43.47	40	108.67%	Tercio central
					45.11	40.00	112.78%	

Nota. Elaboración propia.

Tabla 30

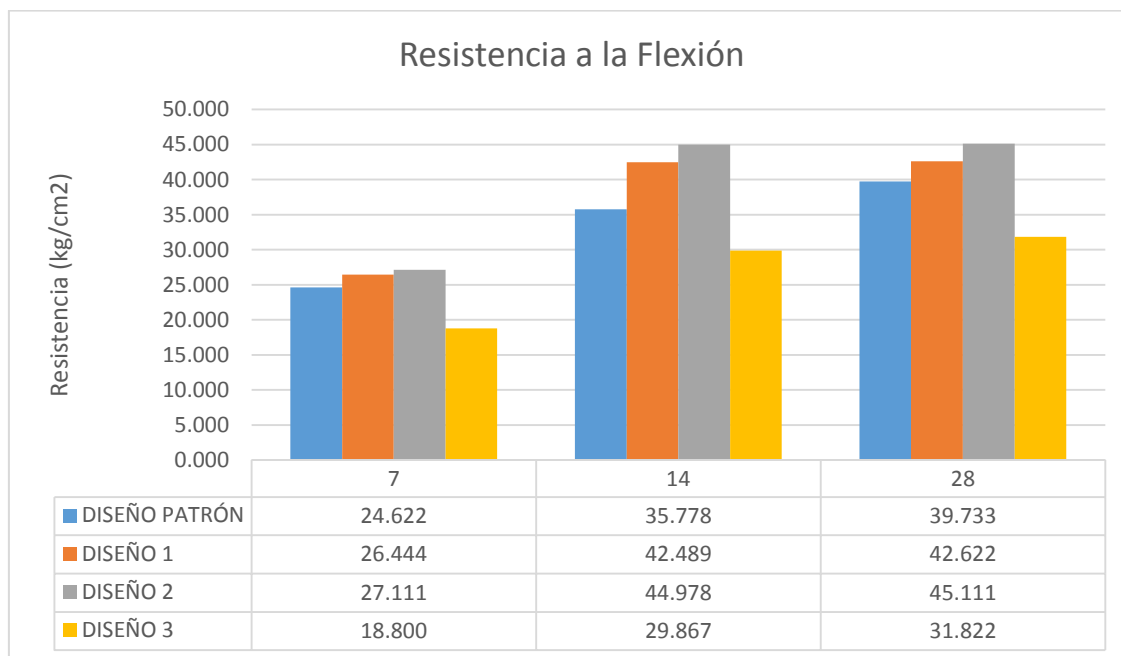
Resistencia y promedio de resistencia a flexión del Diseño 3 (10% microsilice) a la edad de 28 días

ID PROBETA	MEDIDAS (mm)			CARGA MÁXIM A (P)	Mr (kg/cm ²)	Mr (Diseño)	RESISTENCI A (%)	LUGAR DE FALLA
	H	A	L					
D-3	150.000	150.000	450.000	2,420.00 kg	32.27	40	80.67%	Tercio central
D-3	150.000	150.000	450.000	2,300.00 kg	30.67	40	76.67%	Tercio central
D-3	150.000	150.000	450.000	2,440.00 kg	32.53	40	81.33%	Tercio central
					31.82	40.00	79.56%	

Nota. Elaboración propia.

Figura 9

Resumen de resistencia a flexión de testigos de concreto permeable por edades.



Nota. Elaboración propia

El diseño patrón (P), sin microsílíce, alcanzó una resistencia a flexión de 39.73 kg/cm² a los 28 días, lo que representa un 99.33% respecto al valor de diseño (40 kg/cm²), mostrando un desempeño cercano al esperado. El diseño D-1 (2.5% de microsílíce) mejoró esta resistencia a 42.62 kg/cm² (106.56% respecto al diseño), indicando una ligera pero positiva mejora en la capacidad flexional del concreto. El diseño D-2 (5% de microsílíce) presentó la mayor resistencia, alcanzando 45.11 kg/cm² (112.78%), lo que confirma que esta dosificación incrementa notablemente la resistencia a flexión. Sin embargo, al igual que en la compresión, el diseño D-3 (10% de microsílíce) mostró un descenso significativo, con solo 31.82 kg/cm² (79.56%), evidenciando que un exceso de microsílíce reduce la eficiencia estructural.

5.1.7. Ensayo de permeabilidad

En el estudio presente este ensayo fue indispensable debido a que permitió conocer la variación de la propiedad esencial del concreto permeable con la adición del

microsilice, por ello se calculó el coeficiente de permeabilidad para con el apoyo en los alcances de la normatividad estipulada por la ACI 522 R-10, donde se construyó un permeámetro de carga variable para nuestros testigos de concreto de dimensiones de 300 mm de altura por 150 mm de diámetro, según se muestra a continuación:

Figura 10



Equipo para ensayo de permeabilidad

Nota. Permeámetro en referencia del reporte ACI 522R, para ensayo de permeabilidad.

El procedimiento para realizar el ensayo fue el siguiente:

Se construyó un permeámetro según lo indicado en el reporte ACI 522R-10 para muestras de concreto de 30 cm de altura y 15 cm de diámetro.

Luego, para el ensayo de permeabilidad, se envolvió la muestra con polietileno para evitar que el agua fluya por los bordes y obtener datos incorrectos.

A continuación, se colocó la muestra dentro de un tubo móvil y se ajustó con caucho sintético para evitar fugas de agua.

Después, se agregó agua al tubo de carga hasta una altura de 40 cm, que estaba graduada en el tubo.

Se cerró la válvula tipo compuerta y luego se abrió, controlando con un cronómetro el tiempo que tardaba el agua en descender de la altura inicial (h_1) a la altura final (h_2).

Los cálculos se realizaron utilizando la fórmula estipulada en la ley de Darcy.

La fórmula para calcular el coeficiente de permeabilidad es la siguiente:

$$k = \frac{L \cdot a \cdot \ln(h_1/h_2)}{t \cdot A}$$

Donde:

k : Coeficiente de permeabilidad.

L : Longitud de la muestra (cm).

A : Área de la muestra (cm²).

a : Área de la tubería de carga (cm²).

t : Tiempo de demora en pasar de h_1 a h_2 (seg).

h_1 : Altura de agua medida del nivel de referencia, parte superior de la muestra (cm).

h_2 : Altura de tubería de salida del agua con respecto al nivel de referencia (cm).

Entonces, también se cuenta con el grado de permeabilidad señalado en el informe del ACI 522R-10 del cual podemos indicar que para un adecuado funcionamiento de drenaje debería estar dentro de grado de permeabilidad alto con valor de 0.001 m/s (Arcos Mansilla, 2022).

Entonces contamos con los siguientes resultados del ensayo en mención, acorde los procedimientos estipulados en la normativa:

Tabla 31

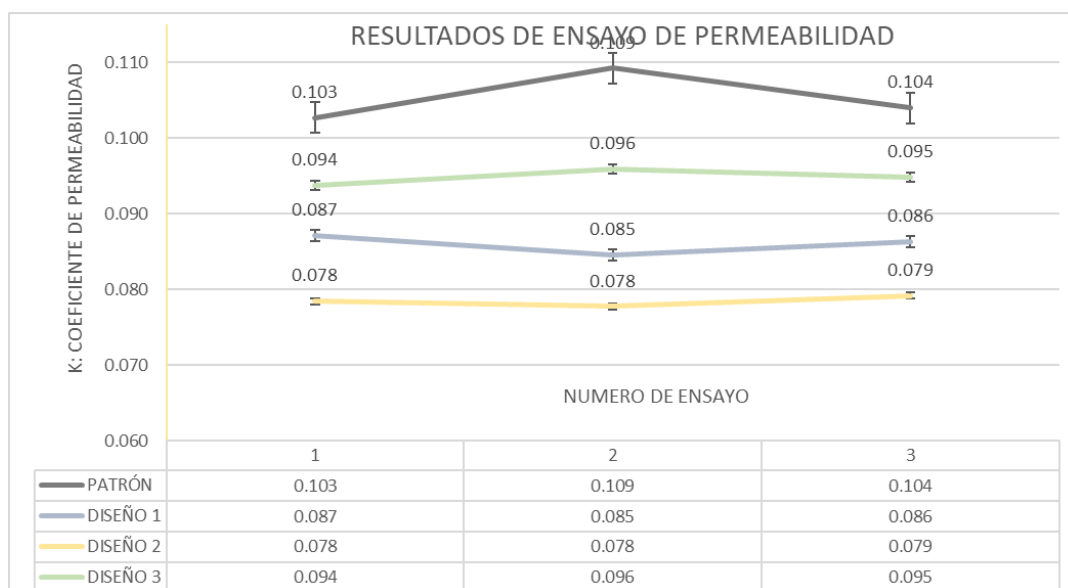
Resultados de ensayo de permeabilidad

Tipo de mezcla	Identificación de probeta	N° ensayo	Características de Muestra (Probeta Cilíndrica)			Características de Tubería		Carga de agua aplicada			Permeabilidad				
			Longitud de probeta L (cm)	Diámetro de la Muestra (cm)	Área de la muestra A (cm ²)	Diámetro (cm)	Área de tubería de carga a (cm ²)	h1 (cm)	h2 (cm)	Carga de agua aplicada (cm)	ln(h1/h2)	Tiempo (s)	k (cm/s)	K Prom. (cm/s)	K Prom. (m/s)
Patrón	P1	1	30	15.0	176.71	15.0	176.71	40	30	40	0.29	84.00	0.103	0.105	0.001
	P2	2	30	15.0	176.71	15.0	176.71	40	30	40	0.29	79.00	0.109		
	P3	3	30	15.0	176.71	15.0	176.71	40	30	40	0.29	83.00	0.104		
Diseño 1	D1	1	30	15.0	176.71	15.0	176.71	40	30	40	0.29	99.00	0.087	0.086	0.001
	D2	2	30	15.0	176.71	15.0	176.71	40	30	40	0.29	102.00	0.085		
	D3	3	30	15.0	176.71	15.0	176.71	40	30	40	0.29	100.00	0.086		
Diseño 2	D1	1	30	15.0	176.71	15.0	176.71	40	30	40	0.29	110.00	0.078	0.078	0.001
	D2	2	30	15.0	176.71	15.0	176.71	40	30	40	0.29	111.00	0.078		
	D3	3	30	15.0	176.71	15.0	176.71	40	30	40	0.29	109.00	0.079		
Diseño 3	D1	1	30	15.0	176.71	15.0	176.71	40	30	40	0.29	92.00	0.094	0.095	0.001
	D2	2	30	15.0	176.71	15.0	176.71	40	30	40	0.29	90.00	0.096		
	D3	3	30	15.0	176.71	15.0	176.71	40	30	40	0.29	91.00	0.095		

Nota. Elaboración propia.

Figura 11

Resultados del ensayo de permeabilidad



Nota. Gráfico de resultados del ensayo de permeabilidad Diseño Patrón, Diseño 1, Diseño 2, Diseño3.

El diseño patrón (P), sin microsílice, presentó la mayor permeabilidad promedio, con un valor de 0.105 cm/s (0.001 m/s), lo cual confirma su alta capacidad de permitir el paso del agua, característica fundamental del concreto permeable.

El diseño D-1 (2.5% de microsílice) mostró una disminución en la permeabilidad promedio a 0.086 cm/s (0.001 m/s), evidenciando que la incorporación de microsílice comienza a reducir la conectividad de los poros, aunque se mantiene dentro de un rango aceptable para aplicaciones de concreto permeable.

El diseño D-2 (5% de microsílice) redujo aún más la permeabilidad a un promedio de 0.078 cm/s (0.001 m/s), lo cual indica un cierre progresivo de la estructura porosa, resultado del efecto densificante de la microsílice, que mejora la resistencia pero sacrifica capacidad de infiltración.

Finalmente, el diseño D-3 (10% de microsílice) mostró una leve recuperación de la permeabilidad con un valor promedio de 0.095 cm/s (0.001 m/s), aunque sigue siendo menor que el patrón. Esto puede deberse a una posible formación de microfisuras o discontinuidades al exceder la cantidad óptima de microsílice, alterando la estructura interna del material.

La adición de microsílice reduce la permeabilidad del concreto permeable de manera progresiva hasta el 5%, lo cual es esperable debido a la mejora en la densidad de la matriz; sin embargo, un exceso (10%) podría generar comportamientos menos predecibles. Para equilibrar resistencia y funcionalidad hidráulica, el diseño con 2.5% o incluso el patrón muestran el mejor desempeño en términos de capacidad de infiltración.

5.2. Discusión de resultados

Los ensayos de permeabilidad realizados a las diferentes mezclas muestran un comportamiento coherente con las tendencias reportadas en la literatura. El diseño patrón alcanzó un coeficiente de permeabilidad promedio de 0.105 cm/s (0.001 m/s), mientras

que las otras mezclas presentaron valores decrecientes: Diseño 1 (0.086 cm/s), Diseño 2 (0.078 cm/s) y Diseño 3 (0.095 cm/s).

El patrón general evidencia que la incorporación de aditivos o ajustes en las mezclas tiende a reducir la permeabilidad, aunque con ciertas variaciones según la composición específica. Este resultado coincide con lo reportado por Abad y Remache (2023), quienes identificaron que la mayor permeabilidad se presentó en el cemento GU (1.69 cm/s), destacando cómo la composición y el tipo de cemento afectan la capacidad de infiltración. Aunque nuestros valores son menores, la relación es similar: las modificaciones para mejorar la resistencia o la densidad suelen disminuir la permeabilidad.

De manera similar, los estudios de Goran y Kevern (2020) y Sanes (2017) remarcan la importancia de la microestructura del concreto (control de huecos y aditivos como la microsílíce) en la optimización simultánea de resistencia y permeabilidad. En nuestro caso, la ligera disminución en permeabilidad en los diseños 1 y 2 podría estar relacionada con un aumento en la compactación o la incorporación de materiales que reducen la porosidad efectiva.

En cuanto a la resistencia a la compresión y a la flexión, los resultados obtenidos muestran una mejora progresiva en las mezclas modificadas respecto al diseño patrón. Esto está en línea con los hallazgos de Chalco y Tuesta (2024) y Sánchez Córdova (2024), quienes observaron que la adición de microsílíce y otros refuerzos incrementa significativamente la resistencia mecánica sin comprometer la funcionalidad hidráulica del concreto permeable. Específicamente, nuestras mezclas con aditivos alcanzaron resistencias a la compresión y flexión superiores a los valores de referencia, lo que reafirma la tendencia de que la incorporación adecuada de aditivos optimiza la durabilidad y capacidad estructural del material.

En la comparación local, los hallazgos de Arcos Mansilla (2022) y Sánchez Córdova (2024) reafirman que un equilibrio entre permeabilidad y resistencia es esencial para aplicaciones urbanas. Por ejemplo, Sánchez Córdova determinó que un 12% de

permeabilidad es óptimo para soportar tráfico urbano y un adecuado drenaje en su zona de estudio. En esta investigación los coeficientes obtenidos (entre 0.078 y 0.105 cm/s) reflejan un rango útil para aplicaciones prácticas en pavimentos permeables, manteniendo buena infiltración sin comprometer en exceso la resistencia estructural.

Asimismo, la investigación de Challco y Tuesta (2024) ofrece un paralelismo interesante, ya que combinando microsílíce y fibras lograron una mejora en resistencia y mantuvieron la permeabilidad adecuada. Aunque en nuestro caso no se evaluaron fibras, los resultados del Diseño 3 (0.095 cm/s) muestran un valor intermedio que podría sugerir un balance similar entre resistencia y capacidad hidráulica.

En resumen, nuestros resultados se alinean con los antecedentes revisados: la modificación de las mezclas tiende a disminuir la permeabilidad, especialmente cuando se busca mejorar otras propiedades mecánicas. Sin embargo, todos los diseños ensayados mantienen niveles de permeabilidad dentro de un rango funcional, lo que sugiere que son aptos para aplicaciones de concreto permeable en contextos urbanos, donde es crucial permitir la infiltración del agua de lluvia para mitigar el riesgo de inundaciones.

5.3. Prueba de hipótesis

La presente investigación tuvo como propósito analizar el efecto de la incorporación de microsílíce en diversas proporciones (2.5%, 5% y 10%) sobre las propiedades del concreto permeable. Dado que los datos experimentales mostraron una baja dispersión entre réplicas, se consideró que una prueba estadística formal no añadiría valor significativo a esta etapa exploratoria. No obstante, se realizó una verificación empírica de las hipótesis en función de los objetivos específicos:

Hipótesis 1 (resistencia a la compresión): Se confirma que la incorporación de 2.5% y 5% de microsílíce mejora la resistencia a la compresión respecto al diseño patrón (sin microsílíce). En cambio, el 10% presenta una disminución de resistencia, lo cual indica una saturación o afectación adversa en la matriz del concreto.

Hipótesis 2 (resistencia a la flexión): Se valida que el uso de 2.5% y 5% de microsílice incrementa la resistencia a la flexión en comparación con el diseño patrón. El 10% nuevamente muestra una caída en desempeño estructural.

Hipótesis 3 (permeabilidad): Se verifica que los porcentajes del 2.5% y 5% reducen la permeabilidad, lo cual es deseable en ciertos contextos, manteniéndose aún dentro del rango funcional para concreto permeable. El diseño con 10% de microsílice se asemeja al patrón, sin aportar mejoras claras.

Entonces, los resultados respaldan las hipótesis planteadas, estableciendo una relación directa entre la proporción óptima de microsílice (2.5%–5%) y el mejoramiento de las propiedades del concreto permeable

VI. Conclusiones

Los resultados obtenidos permiten confirmar la hipótesis general, ya que la incorporación de microsilíce y plastificante en el concreto permeable influyó significativamente en sus propiedades mecánicas e hidráulicas, mejorando su resistencia a la compresión y flexión, así como optimizando su permeabilidad, lo cual demuestra su viabilidad técnica para ser utilizado en pavimentos urbanos de la Av. Tupac Amaru, Tamburco, cumpliendo con el objetivo general planteado.

La incorporación de microsilíce en proporciones de 2.5% y 5% mejora significativamente la resistencia a la compresión del concreto permeable respecto al diseño patrón. Específicamente:

- El diseño D-1 (2.5% de microsilíce) alcanzó una resistencia de 260.556 kg/cm², lo que representa un incremento del 7.15% respecto al patrón y 24.07% por encima del valor de diseño mínimo de 210 kg/cm².
- El diseño D-2 (5%) mostró la mejor respuesta, con 275.964 kg/cm², equivalente a un incremento del 13.5% sobre el patrón y 31.41% por encima del valor de diseño.
- El diseño D-3 (10%) obtuvo una resistencia de 194.527 kg/cm², quedando por debajo del valor de diseño (92.63%), lo que indica que altas proporciones de microsilíce pueden afectar negativamente la resistencia.

En la resistencia a la flexión, los valores obtenidos muestran un comportamiento similar:

- Con 2.5% de microsilíce se incrementó la resistencia en un 6.32% frente al patrón.
- Con 5%, el incremento fue de 12.65%, alcanzando el mejor desempeño.
- Con 10%, la resistencia se redujo en comparación con el patrón, indicando saturación del aditivo.

Respecto a la permeabilidad, los diseños con microsílice también mostraron variaciones:

- El diseño patrón presentó una permeabilidad promedio de 0.105 cm/s.
- Con 2.5% de microsílice (Diseño 1), la permeabilidad disminuyó a 0.086 cm/s, representando una reducción del 18.09% respecto al patrón.
- Con 5% de microsílice (Diseño 2), descendió aún más a 0.078 cm/s, lo que significa una reducción del 25.71%.
- El diseño con 10% de microsílice (Diseño 3) mostró una permeabilidad de 0.095 cm/s, equivalente a una reducción del 9.52% en comparación con el patrón.

En todas las mezclas experimentales se utilizó una cantidad fija de plastificante en proporción de 500 ml por bolsa de cemento (42.5 kg), lo cual mejoró la trabajabilidad del concreto sin afectar su relación agua/cemento.

Se confirma que las dosificaciones con 2.5% y 5% de microsílice son óptimas para mejorar la resistencia mecánica y mantener una adecuada permeabilidad, cumpliendo los objetivos e hipótesis planteadas en la investigación.

VII. Recomendaciones

A partir de los resultados obtenidos y las conclusiones de la investigación, se presentan las siguientes recomendaciones para la implementación del concreto permeable con microsílice y plastificante en pavimentos urbanos, específicamente en la Av. Tupac Amaru, Tamburco:

- Optimización de las proporciones de microsílice: Se recomienda utilizar concentraciones de microsílice de 2.5% y 5% en las mezclas de concreto permeable. Estos porcentajes han demostrado ser los más eficientes en cuanto a la mejora de la resistencia a la compresión y flexión, sin comprometer significativamente la permeabilidad del concreto. Las mezclas con 10% de microsílice, aunque mejoraron la resistencia en términos de compresión, mostraron una disminución en la permeabilidad, lo que podría afectar el desempeño del concreto permeable en términos de evacuación de aguas pluviales. Por lo tanto, se sugiere evitar el uso de microsílice en concentraciones superiores al 5%.
- Control de la permeabilidad: Aunque los diseños con microsílice mostraron una reducción en la permeabilidad en comparación con el patrón, esta disminución es aceptable y aún dentro de los límites permisibles para un concreto permeable. Sin embargo, es crucial monitorear de cerca la relación entre la permeabilidad y la resistencia, especialmente en áreas con alta pluviometría, para asegurar que el concreto mantenga su funcionalidad a largo plazo en términos de drenaje.
- Uso de plastificante: La adición de plastificante a todas las mezclas experimentales mejoró significativamente la trabajabilidad del concreto, lo que facilita su colocación y compactación. Se recomienda mantener el uso de plastificante en una proporción fija de 500 ml por bolsa de cemento (42.5 kg), ya que esta cantidad no afectó negativamente la relación agua/cemento, pero sí optimizó las propiedades de manejo del concreto.

- Seguimiento y control de la calidad: Se sugiere implementar un sistema de control de calidad riguroso durante la producción y colocación del concreto permeable. Esto incluye la verificación constante de la dosificación de microsílice y plastificante, así como de las propiedades mecánicas e hidráulicas del concreto, con el fin de asegurar que las mezclas cumplan con los estándares de diseño y desempeño a lo largo del tiempo.
- Consideraciones para el diseño y ejecución de pavimentos: Los resultados de esta investigación respaldan el uso de concreto permeable con microsílice y plastificante en pavimentos urbanos, específicamente en la Av. Tupac Amaru, Tamburco. No obstante, se recomienda llevar a cabo una evaluación detallada de las condiciones climáticas y el tráfico en la zona, ya que estas variables pueden influir en el comportamiento del concreto a largo plazo. Asimismo, se debe considerar la implementación de un mantenimiento preventivo que garantice la conservación de las propiedades del concreto a medida que pasa el tiempo.
- Investigación futura: Se recomienda continuar con investigaciones adicionales que exploren el uso de otros aditivos y mezclas, así como el estudio de la durabilidad del concreto permeable en condiciones ambientales extremas, como la exposición a ciclos de congelación-descongelación o a condiciones de tráfico pesado. También sería relevante analizar el comportamiento del concreto permeable con microsílice en otros tipos de pavimentos urbanos, como aceras o áreas peatonales.

VIII. Referencias

- Abad Barrera, M. D., & Remache Zuña, M. I. (2023). *Análisis comparativo del comportamiento de mezclas de concreto permeable fabricado con diferentes tipos de cementos*. Azogues: Universidad Católica de Cuenca.
- ACI, C. (2010). *Hormigón permeable, ACI 522R-10*.
- Arcibia Tapia, A., & Condori Olivera, G. (2017). *Analisis del trafico en el sistema de transporte público en el centro urbano de la ciudad de Abancay*. Abancay: Universidad Tecnologica de los Andes.
- Arcos Mansilla, C. C. (2022). *CONCRETO PERMEABLE PARA EL CONROL DE AGUAS PLUVIALES EN VIAS URBANAS DE LA CIUDAD DE ABANCAY, 2019*. Abancay.
- AUTODOC CLUB. (2020). *AUTODOC CLUB*. Obtenido de Hidroplaneo: <https://club.autodoc.es/magazin/aquaplaning-que-es-como-ocurre-y-como-evitarlo>
- Ayala Mas, j. (2024). *Evaluación de la resistencia de un concreto permeable aplicando micro sílice*. Chiclayo: Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.
- Bello de Souza Risson, K. D., Anjo Viana, E., Andrade Mota, L., & Barreto Sandoval , G. F. (2022). Desempeño mecánico e hidráulico de pavimentos permeables de concreto: evaluación experimental. *Ingeniería y Desarrollo*, 138.
- Borja S., M. (2016). *Metodología de la Investigación científica para Ingenieros*. Chiclayo.
- bridgestone. (s.f.). <https://www.bridgestone.com.mx/>. Obtenido de bridgestone: <https://www.bridgestone.com.mx/tips-bridgestone/tecnologia-de-llantas/que-es-el-hidroplaneo-y-como-evitarlo/#>
- Cachay Díaz, L. C. (2022). *Variación de la resistencia a compresión de un concreto permeable de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con aditivo plastificante Sikament® 290N al reemplazar en diferentes porcentajes el agregado grueso por agregado de concreto reciclado*. Cajamarca: UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA.
- Carrasco Días, S. (2006). *Metodologia de la Investigación científica*. Lima: San Marcos.

- Casilla Ccora, Y. W., & Condori Abado, L. (2023). *Influencia de la fibra de vidrio en las propiedades del concreto permeable $f'_c=210\text{kg/cm}^2$ en la ciudad de Juliaca – 2023*. Juliaca.
- Castillo Castillo, L. M., & Trujillo de la Cruz, E. (2019). *Elaboración de concreto permeable con adición de material plástico reciclado para pavimentación en el distrito de Pariacoto - Áncash*. Áncash: Universidad Nacional del Santa.
- Ccarhuas Ruiz, Y., & Huisa Gonzales, R. L. (2019). *Optimización del drenaje pluvial en el casco urbano del distrito de Tamburco – Abancay, 2018*. Tamburco-Abancay-Apurimac: Utea.
- Ccasani Bravo, M. J., & Ferro Moina, Y. I. (2017). *Evaluación y Análisis de pavimentos en la ciudad de Abancay, para proponer una mejor alternativa estructural en el diseño de pavimentos*. Abancay: Universidad Tecnológica de los Andes.
- Challco Estrada, B. F., & Tuesta Gonzales Zuñiga, L. R. (2024). *Propuesta de diseño de concreto permeable con microsílice reforzado con fibras de basalto para incrementar su resistencia, posibilitar su uso en el pavimento y mitigar las deficiencias del alcantarillado existente durante la época de lluvias en el distrit*. Cusco: Universidad peruana de ciencias aplicadas.
- Choque Ccaritayna, H., & Ccana Sicos, J. C. (2016). *EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y PERMEABILIDAD DEL CONCRETO POROSO ELABORADO CON AGREGADO DE LAS CANTERAS VICHO Y ZURITE, ADICIONANDO ADITIVO SÚPER PLASTIFICANTE DE DENSIDAD 1.2 kg/l PARA UNA RESISTENCIA 210 kg/cm²*. CUSCO: UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO.
- Comun Mendoza, R., & Tito Ore, E. Z. (2023). *Propiedades del concreto permeable para pavimentos con adición de fibra de carbono reciclado*. Huancayo.
- CONSTRUCCIÓN Y TECNOLOGIA DE CONCRETO. (2010). *CONSTRUCCIÓN Y TECNOLOGIA EN CONCRETO*. Obtenido de <https://www.imcyc.com/revistacyt/jun11/arttecnologia.htm>
- DIFICONSA. (s.f.). *DIFICONSA*. Obtenido de <https://www.dificonsa.com/portfolio/microsilica/>

- ECOCRET (CONCRETOS Y PREFABRICADOS). (s.f.). *ECOCRET (CONCRETOS Y PREFABRICADOS)*. Obtenido de <https://www.ecocret.com.pe/tipos-de-concreto/concreto-permeable>
- Escudero Cueva, C. S., & Perez Taype, G. J. (2019). *ANÁLISIS HIDROLÓGICO PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO EN EL SECTOR PARCO CHICO, CIUDAD DE POMABAMBA, ÁNCASH - PERÚ*. ÁNCASH: UNIVRSIDAD SAN MARTIN DE PORRES.
- ESTUDIO MUÑIZ. (24 de MARZO de 2022). *ESTUDIO MUÑIZ*. Obtenido de <file:///C:/Users/ASUS%20ROG%20STRIX/Downloads/normas-teacutecnicas-peruanas-sobre-cemento-concreto-y-agregados.pdf>
- Flores Alvarez, C. A., & Blas Castro, A. D. (2014). *Influencia de la Adición de Microsílice y Superplastificante en las Propiedades de un Concreto de Alta Resistencia en la Ciudad de Arequipa*. Arequipa: Universidad Catolica de Santa Maria.
- Garcia Leyva, I. E., & Gutierrez Roldan, L. R. (2022). *Adición de microsílice en la resistencia del concreto en Trujillo, 2022*. Trujillo: Universidad Cesar Vallejo.
- García Ochoa, C. D., & Córdova Vásquez, K. J. (2021). *Evaluación del concreto permeable con incorporación de fibra de polipropileno para pavimento de tránsito ligero - Ucayali*. Ucayali: Universidad Nacional de Ucayali.
- Goran, A., & Kevern, J. (2020). Influencia del humo de sílice en las propiedades mecánicas y la durabilidad del hormigón permeable. *Construcción y materiales de construcción*, 4.
- Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2006). *Metodología de la Investigación*. Mexico: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Instituto Nacional de Calidad. (2020). *Aprueban Normas Técnicas Peruanas sobre (Resolución directoral N°036-2020-INACAL/DN)*. Lima: Diario el Peruano.
- Llerena Torrejón, L. F., & Ticlla Sánchez, J. C. (2020). *Estudio y Evaluación del concreto permeable en un pavimento rigido segun la norma ACI 522R-10*. LIMA: UNIVERSIDAD PERUANA UNION.
- Marketizer.com,elIndustria.com, QuimiNet.com . (4 de setiembre de 2023). *QuimiNet.com*. Obtenido de <https://www.quiminet.com/articulos/micro-silice-produccion-y-uso-808.htm>

- Ministerio de Transporte, y. C. (2013). *MANUAL DE CARRETERAS SUELOS, GEOLOGÍA, GEOTECNICA Y PAVIMENTOS*. Lima: RESOLUCIÓN DIRECTORAL N°05-2013-MTC/14.
- Ministerio de Vivienda, C. y. (2006). *REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES (1ra Edición, DS N°011-2006-VIVIENDA)*. Lima: Diario El Peruano.
- Ministerio de Vivienda, C. y. (2021). *Modificación de la Norma Técnica OS.060 Drenaje Pluvial Urbano a Norma Técnica CE.040 Drenaje Pluvial del Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima: DIARIO EL PERUANO.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento . (2021). *Modificación de la Norma tecnica OS.060 DRENAJE PLUVIAL URBANO A NORMA TÉCNICA CE.040 DRENAJE PLUVIAL DEL REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES*. En C. y. Ministerio de Vivienda, *CE.040 DRENAJE PLUVIAL* (pág. 7). Lima: Diario el Peruano.
- Moya Flores, A. A. (2023). *Análisis de las propiedades de un concreto permeable con fibras de polipropileno para una resistencia de 210 kg/cm² en la ciudad de Huancayo-Junín*. Huancayo.
- National Ready Mixed Concrete Association . (s.f.). CIP16-RESISTENCIA A FLEXIÓN DEL CONCRETO. *National Ready Mixed Concrete Association* , 2.
- Porras Morales, J. M. (2017). *Metodología de diseño para concretos permeables y sus respectivas correlaciones de permeabilidad*. COSTA RICA: INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA.
- Ramos, S. C. (2019). *Mejoramiento al concreto absorbente con inserción de fibra de vidrio para aumentar su resistencia a la compresión en la ciudad de Tarma*. TARMA-PERU.
- REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. (s.f.). RAE. Obtenido de <https://dle.rae.es/cemento>
- Rondan, R. D. (2018). *“Mejoramiento de la mezcla del concreto permeable adicionando polipropileno en el Jirón La Libertad provincia de Recuay, Ancash - 2017”*. Recuay, Ancash.
- SANCHHEZ CORDOVA, E. J. (2024). *Influencia de la incorporación del microsilice en la resistencia del concreto permeable, para los pavimentos urbanos de la ciudad de Abancay-Apurímac 2023*. Abancay: UTEA.

- SANES LAGARES, D. A. (2017). *INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI*. COLOMBIA: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLIVAR.
- SIKA . (s.f.). <https://mbcc.sika.com/es-mx>. Obtenido de Master Builders Solutions: <https://mbcc.sika.com/es-mx/funciones-y-aplicaciones/producci%C3%B3n-de-concreto/tecnolog%C3%ADa-para-concreto-permeable>
- SikaFume®. (s.f.). per.sika.com. Obtenido de <https://per.sika.com/es/construccion/aditivos-concreto/aditivos-concreto-premezclado/adiciones-concreto/sikafume.html>
- Torre, A., Espinoza, P., & Matias, J. (2024). Uso de las redes neuronales artificiales en el estudio del coeficiente de permeabilidad de concretos adicionados con microsilíce, metacaolín y puzolana. *Soluciones innovadoras de infraestructura*, 81.
- Tovar, G. L. (1986). *El asentamiento y la segregación de los Blancos y Mestizos*. Bogotá: Cengage.

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